ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 8

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	«Требования к защитным и технологическим свойствам ингибиторов коррозии для условия транспорта газа, содержащего коррозионные компоненты – серовод и диоксид углерода» *Д. С. Закиров* *В. В. Слученкова* *Ш. Д. Туляганов*	9
2	O‘zbekistonda raqamli transformatsiya jarayonlarida kiberxavfsizlik muammolari va ularni hal etishda sun`iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish *Salimov Nurali Ramazon o`g`li*	18
3	Maktabgacha va boshlang‘ich ta’limda uzviylikni ta’minlashda xalqaro baholash dasturlarining o‘rni *Tilavova Matlab Muhamedovna* *Jo‘rayeva Umida Axtamovna*	28
4	Конструктивные и технологические решения универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин *Турахужаева Нилуфар Назиржановна*	35
5	Электрические потери энергии, возникающие в результате несимметрии и несинусоидальности *Ештемиров Жамшидбек Олимжон ўғли*	48
6	Медикаментозное лечение при переломах нижней челюсти на различных стадиях репаративной регенерации костной ткани *Якубов Ш.Н.* *Рузикулов Н.Ё*	60
7	Исследование возможностей получения железосодержащего пигмента из раствора biox и очистки пигмента от мышьяка *Тошкодирова Рано Эркинжоновна* *Кенжаева Севара Абсаматовна* *Караева Рузанна Серверовна,* *Ниёзмамадова Нигина Саид кизи*	68
8	Опытно-экспериментальная работа по развитию личностно-креативной компетентности студентов начального образования: содержание и результаты *Солиев Илхомжон Собирович* *Назирова Севара Бахтиер кизи*	76
9	Болаларда ўткир ревматик иситманинг диагностик мезонлари *Мухамадиева Лола Атамуродовна* *Умарова Саодат Сулаймоновна* *Шовдирова Малохат*	83
10	Avtomobil sanoatida ekologik xavflarni boshqarishda iso 14001 va haccp tamoyillarini integratsiya qilish imkoniyatlari *Sativaldiev Aziz* *Madaminova Diyora*	91
11	Гидрофильная TiO_2–SiO_2-модификация полиамидных мембран обратного осмоса для повышения устойчивости к фулингу и солеотложению в системах водоподготовки тэс *Юлдашев Данияр Маратович* *Юсупалиев Рисбек Маматович*	99
12	Polivinilxlorid sanoati chiqindilarini qayta ishlash *Xalibekova Almagul Kenjebayevna*	114
13	Smart construction management: integrating artificial intelligence, bim, and digital twins for sustainable infrastructure *Salimboev Ziynatullo Ziyodullo o‘g‘li* *Nicola Nistico*	119
14	Surkov materiallari qovushqoqligini polimer qo‘shimchalar orqali boshqarish mexanizmlari *Xo‘jaqulov Kamoliddin Ramazanovich* *Safarov Ozodbek Farxod o‘g‘li*	132

ISSN 3030-3907

15	Математическое моделирование результатов экспериментальных исследований процессов рекультивационных работ на радиационно-загрязнённых территориях добычи урана *Киличев Х. А* *Курбанов Ж. С* *Ёркулов Б .А* *Музафаров А. М*	144
16	Analysis of models for organizing market relations in electric power systems *O‘rolov Dilshod Baxriddin o‘g‘li*	151
17	Yo‘l harakati xavfsizligi indikatorlari tizimining konseptual modelini ishlab chiqish va inson omili asosida operatsion taxlil etish *Baynazarov Xayrullo Raximovich* *Xalimjonov Elmurod Xalilbek o‘g‘li*	160
18	Mastering hydraulic latency: a physics-informed drl approach for intelligent flow forecasting and gate control in the parkent canal *Abdumannopova Mamura* *Seytov Aybek Jumabayevich* *Asretdinova Mukhabbat* *Asretdinova Lobar*	166
19	Determination of the participation degree of participants in a liberalized electricity market for cost allocation purposes *Kurbanova Munisakhon Sandjar qizi*	179
20	KOH–DMSO superasosli muhitida mentol, timol va α-naftolning asetilen bilan vinillanish jarayoni qonuniyatlari *Soliyev Maxammadjon Ismatullayevich* *Nurmanov Suvankul Erxanovich*	189
21	Evaluation of the operational characteristics of third-generation adsorption heat pumps *Buxorov Habibullo Jahongir o‘g‘li*	199
22	Determination of vitamin content in extracts of selected medicinal plants grown under the conditions of uzbekistan *Ibrokhimjon Rakhmonovich Askarov* *Umid Mukhtaraliyevich Turdialiev* *Feruzaxon Yuldashevna Sultonova*	214
23	Sun’iy intellekt texnologiyalari orqali talabalarda mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirish *Behruz Quvvatov Ulug‘bek o‘g‘li*	226
24	Multi-factor energy consumption prediction model based on 12 types of heterogeneous iot sensors *Bobur Qutlimurot o‘g‘li Matyaqubov*	237
25	Control algorithms for optimizing oil and gas well processes *Zaripov Oripjon Olimovich* *Odilov Fuzayl Fozil o‘g‘li*	248
26	Alytical review of apigenin and its properties, obtainance and applications *Kumush Razzaqova* *Tursunali Kholikov*	255
27	Dorivor bo‘ymadaron (achillea millefolium l.) O‘ti polifenollarining fitokimyoviy matritsasi va ularning gemostatik hamda antiyallig‘lanish samaradorligi *Usmonova Marxabo Balxiyevna* *Boymuradova Nilufar Rahmatovna* *Amangeldiyeva Sevinch Davlat qizi*	268
28	Dorivor ituzum (*solanum nigrum l.*) Glikoalkaloidlarining ekstraksiyasi va ulurning bakteriotsid xususiyatlari *Usmonova Marxabo Balxiyevna* *Boymuradova Nilufar Rahmatovna*	273
29	Dunyo bo‘yicha mis rudasi zaxiralari va ularni qayta ishlash usullari tahlili *Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich* *Boltayev Olmos Najmidinovich*	279

ISSN 3030-3907

	Elchiyeva Mohinur Dilshod qizi *Eraliyev Xusniddin Muhammadali o'g'li* *Karayeva Ruzanna Serverovna*	
30	Uran bilan ifloslangan mahsuldor hovuz tuproqlarni rekultivatsiya qilishda kimyoviy dezaktivatsiya usulining samaradorligini baholash *Farmanova Mohigul Azamat qizi*	298
31	Периодатное окисление гиалуроновой кислоты: от тканевой экстракции к охарактеризованному прекурсору гидрогеля *Хуршида Шухратовна Давлетова* *Алишер Хамидович Хайтбаев*	303
32	Адсорбционные свойства композитов поверхностно-активное вещество–полиакриламид–монтмориллонит: обзор литературы. *Атаниязова Амина Сейтниязовна*	322
33	Gidrovoltaika: energiya, ekologiya va aqlli tizimlar uchun innovatsion yondashuv *Paxirdinov X.Z.* *Ergashev I.O.*	331
34	Qatlamni depressiyada va repressiyada ochishning dolzarbligi *Sharipov Qaxramon Qandiyorovich* *Rahimov Bobomurod Rustamovich* *Hodiyev Nodirjon Nusrat o'g'li*	338
35	Mahsuldor qatlamni ochishda qo'llaniladigan eritmalarni tanlash tahlili *Sharipov Qaxramon Qandiyorovich* *Rahimov Bobomurod Rustamovich* *Hodiyev Nodirjon Nusrat o'g'li*	344
36	Python dasturlash asosidagi o'quv loyihalari orqali talabalarning kreativ fikrlash qobiliyatini rivojlantirish *Azamatova Azizabonu Jamshid qizi*	350
37	Sanoat 4.0 texnologiyalari asosida smi (standartlarga moslik indeksi) metodikasiga tayangan raqamli metrologik kalibrlash tizimi tahlili. *Sharipov G'iyosjon Nuriddin o'g'li* *Rajabov Farxat Farmanovich* *Qosimov Axtamxon Akramovich*	357
38	Pnevmomexanik yigirish mashinasi diskretlovchi barabanchasi garnitura tishlarining tolalarga ta'sir parametrlarini hisoblash *Urakov Nuriddin Abramatovich* *Abdixamidov Nurbek Ural o'g'li* *Xakimjonov Avazbek Baxriddinovich*	365
39	Nitron asosidagi ppf tolasi yordamida qo'rg'oshin, rux va kadmiy ionlarini sorbsion-fotometrik aniqlash *Saidova Dildora Olimovna*	376
40	Совершенствование технологии бурения скважин с аномальными низкими пластовыми давлениями на месторождении шоркум *Алланова А.А.* *Эралиев С.Х.* *Каримжонов И.И.* *Джамолова К.Р.* *Надолинский Н.А.* *Каримов У.А.*	381
41	O'zbekiston sanoat korxonalarida "yashil ekotizim" va resurs samaradorligini (recp) joriy etishning metodologik asoslari va emissiyalarni kamaytirish samaradorligi *U. I. Do'stqobilov*	395
42	Tijorat banklarida raqamli transformatsiya jarayoni va uning bank xizmatlari samaradorligiga ta'siri *Sharipova Nigina Djurakulovna* *Xayitov Oxunjon* *Barnayev Sherali*	400

ISSN 3030-3907

43	Taklif etilayotgan masofa–transformatsiya asosidagi markerlash *Sadullaeva Shahlo Azimbaevna* *Rayimqulov O'ral Mavlonivich*	407
44	Tubektomiya amaliyoti o'tkazilgan ayollarda kompleks reabilitatsiya yondashuvining samaradorligi *Tugizova Dildora Ismoilovna* *Fayzullayeva Munira Alisher qizi*	418
45	Raqamli bank xizmatlari orqali mijozlarga xizmat ko'rsatish sifatini oshirish masalalari *Sharipova Nigina Djurakulovna* *Zarmasov Muhammad* *Xashimov Abdurahmon.*	425
46	Farg'ona viloyati sharoitida chorvachilikda paramfistomatidozlarning iqtisodiy ahamiyati *O'rinboyev Olimjon Yusufjon o'g'li* *Jabborov Shuhrat Abdumajidovich*	432
47	Очиқ каналларда сув ва қаттиқ зарралардан иборат икки фазали оқимнинг ҳаракати. *Н. М. Норметова*	437
48	Masofa–transformatsiyasining matematik modeli *Rayimqulov O'ral Mavlonivich*	443
49	Kofirun tog'rayhoni (*origanum vulgare l.*) Efir moyining biologik faol xususiyatlari va zamonaviy tibbiyotda qo'llanilishi *Usmonova Marxabo Balxiyevna* *Amangeldiyeva Sevinch Davlat qizi*	454
50	Zamonaviy ta'limda innovatsion pedagogik texnologiyalarning o'rni *Karimova Mukaddas Otajonovna* *Axmedbekova Maxpuzaxon Qaxarovna*	460

ISSN 3030-3907

«ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТНЫМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ ДЛЯ УСЛОВИЯ ТРАНСПОРТА ГАЗА, СОДЕРЖАЩЕГО КОРРОЗИОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ – СЕРОВОД И ДИОКСИД УГЛЕРОДА»

Д. С. Закиров
ООО «ЛУКОЙЛ Узбекистан Оперейтинг Компани» (Ташкент, Узбекистан)
E-mail: Djalil_63@inbox.ru
В. В. Слученкова
ООО «ЛУКОЙЛ Узбекистан Оперейтинг Компани» (Ташкент, Узбекистан),
E-mail: valeriya7788@mail.ru
Ш. Д. Туляганов
PhD, ООО РПИ ООО «UzEngineering» (Ташкент, Узбекистан),
E-mail: shtulyaganov1983@gmail.com

Annotation. The transportation of gas containing hydrogen sulfide and carbon dioxide poses a serious challenge to the longevity of pipeline systems. Both components—H_2S and CO_2—have a destructive effect on metals, causing corrosion damage that significantly degrades the performance of pipes and equipment. This article discusses the requirements for corrosion inhibitors used to protect transportation systems, including protection against corrosion caused by hydrogen sulfide and carbon dioxide. It presents recent advances in inhibitor development, their mechanisms of action, and key characteristics that influence protection effectiveness.

Keywords: Inhibitors, hydrogen sulfide (H_2S), carbon dioxide (CO_2), corrosion, pipeline protection, gas pipelines, chemical protection, polymeric inhibitors, hydrogen cracking.

Annotatsiya. Gidrogen sulfid va karbon dioksidni o‘z ichiga olgan gazni tashish quvur tizimlarining xizmat muddatiga jiddiy tahdid soladi. Ikkala komponent — H_2S va CO_2 — metallarga vayronkor ta'sir ko‘rsatib, korroziy shikastlanishlarga olib keladi va bu quvurlar hamda uskunalarning ish faoliyatini sezilarli darajada pasaytiradi. Ushbu maqolada transport tizimlarini, jumladan vodorod sulfid va karbon dioksid ta'siridan kelib chiqadigan korroziyadan himoya qilish uchun ishlatiladigan korroziyaga qarshi inhibitori talablari ko‘rib chiqiladi. Unda inhibitori rivojlantirishdagi so‘nggi yutuqlar, ularning ta'sir mexanizmlari hamda himoya samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy xususiyatlar taqdim etiladi.

Kalit so‘zlar: inhibitori, vodorod sulfidi (H_2S), karbon dioksid (CO_2), korroziya, quvurlarni himoya qilish, gaz quvurlari, kimyoviy himoya, polimerik inhibitori, vodorod yoriqlanishi.

Аннотация. Транспортировка газа, содержащего сероводород и углекислый газ, представляет собой серьёзную проблему для долговечности трубопроводных систем. Оба компонента — H_2S и CO_2 — оказывают разрушительное воздействие на металлы, вызывая коррозионные повреждения, которые значительно ухудшают эксплуатационные характеристики труб и оборудования. В статье рассматриваются требования к ингибиторам коррозии, используемым для защиты транспортных систем, включая защиту от коррозии сероводородом и углекислым газом. Представлены современные достижения в области разработки ингибиторов, их механизмы действия и ключевые характеристики, влияющие на эффективность защиты.

Ключевые слова: Ингибиторы, сероводород (H_2S), углекислый газ (CO_2), коррозия, защита трубопроводов, газопроводы, химическая защита, полимерные ингибиторы, водородное растрескивание.

ВВЕДЕНИЕ.

Сероводород (H_2S) является одним из наиболее опасных коррозионных агентов, поскольку он не только инициирует коррозию, но и способствует образованию сульфидов металлов, что может привести к разрушению структурных элементов [1]. В присутствии воды H_2S может активно реагировать с металлами, образуя серные и сернистые соединения, что ведет к локальному разрушению и усталости металла. В условиях повышенной влажности и высоких температур H_2S может способствовать растрескиванию металлов под воздействием напряжений, что является серьёзной угрозой для долговечности трубопроводов. Этот процесс разрушает металлические структуры, образуя трещины, что ускоряет процесс разрушения труб [2].

Влияние сероводорода на материалы трубопроводов зависит от химического состава стали, её прочности и вязкости. Высокое содержание углерода, а также наличие неметаллических включений в металле, может существенно снижать его устойчивость к сероводородной коррозии [3]. Диоксид углерода, в свою очередь, образует угольную кислоту (H_2CO_3) в присутствии воды, что вызывает так называемую «угольную» коррозию [4]. CO_2 в высокой концентрации может активно реагировать с металлами, образуя углекислые соли и разрушая защитные слои. Угольная коррозия приводит к образованию углекислых солей, которые ускоряют разрушение металлических труб. В условиях высоких температур и давлений угольная кислота становится особенно агрессивной, что приводит к ухудшению свойств материала трубопроводов.

Для защиты от коррозии сероводородосодержащих месторождений используются ингибиторы, представляющие собой азотосодержащие

ISSN 3030-3907

соединения, обеспечивающие защиту металла за счёт пленок, адсорбированных на поверхности металла. Нанесение ингибитора на внутреннюю поверхность трубопроводов и оборудования в зависимости от конкретных условий и периодичности осуществляется:

1. Заполнение трубопроводов раствором ингибитора: Этот метод предполагает заполнение трубопроводов раствором ингибитора, что позволяет обеспечить длительную защиту в системах, где постоянно транспортируется газ [6].

2. Пропускание ингибиторных пробок (поршневые): Использование ингибиторных пробок позволяет вводить ингибитор в систему без необходимости её остановки, что является удобным для эксплуатации [7]. (см. рис 1)



Рис 1. Пропускание ингибиторных пробок (поршневые)

3. Форсуночное распыление: Этот метод используется для применения ингибитора на внутренней поверхности трубопроводов и оборудования, позволяя обеспечить равномерное распределение защитной плёнки [8]. (см. рис 2)

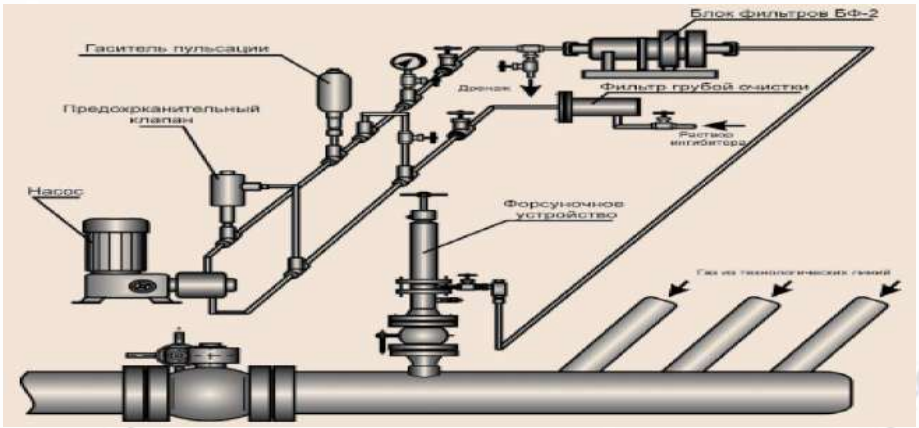


Рис 2. Форсуночное распыление

ISSN 3030-3907

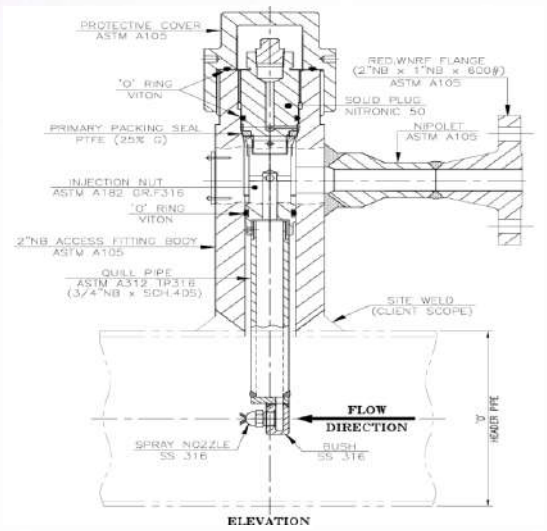


Рис 3. Форсуночное распыление

4. Обмазка поверхности: Этот метод применяется для емкостного оборудования, где необходимо локальное нанесение ингибитора [9].

Технологические меры для предотвращения коррозионно-эрозионного износа

Оптимизация скорости и режима потока газа

Недостаточная скорость газа приводит к скоплению жидкости и образованию гидратов, что усиливает локальную коррозию и эрозию. Чрезмерная скорость, в свою очередь, может вызвать механическую эрозию стенок трубопровода и разрушение защитных плёнок ингибиторов [10]. Рекомендуется обеспечивать скорость транспорта газа не ниже 2,5 м/с, но, учитывая опыт эксплуатации аналогичных месторождений, не более 11 м/с, для обеспечения стабильного удаления конденсата и равномерного распределения ингибитора по всей длине трубопровода.

Контроль давления и температуры

Избыточное давление и высокая температура усиливают агрессивное воздействие H_2S и CO_2 на металл. Оптимизация давления и поддержание температурного режима предотвращают образование коррозионно-активных фаз и обеспечивают стабильность защитной плёнки ингибитора [11].

Удаление конденсата и защита от жидкости

Скопление влаги и жидких фаз является одним из главных факторов локальной коррозии. Для предотвращения коррозии рекомендуется использование дренажных и сливных систем, сепараторов жидкости и регулярный контроль состояния трубопроводов [12]. Конкретные методы, средства и технология защиты от коррозии могут быть определены на стадии разработки проекта обустройства.

Для контроля коррозии в реальном времени и оценки эффективности защиты на «критичных» участках трубопроводов рекомендуется

ISSN 3030-3907

устанавливать устройства для помещения образцов-свидетелей. Эти устройства позволяют отслеживать уровень общей коррозии и растрескивание, вызванное сероводородом. Также на участках с высокой потенциальной опасностью для коррозии следует устанавливать металлические купоны и зонды, которые позволяют измерять скорость коррозии и степень абсорбции водорода, что критично для оценки стойкости металлов против водородного растрескивания (BP/HIC) [13]. Водородные зонды используются для контроля за количеством абсорбированного водорода, что имеет важное значение для оценки устойчивости металлов к водородному растрескиванию, особенно при высоком содержании H_2S в газе.

Требования к ингибиторам коррозии.

Ингибиторы коррозии играют ключевую роль в защите трубопроводов, подвергающихся воздействию H_2S и CO_2. Требования к таким ингибиторам включают:

- *Высокая эффективность при низких концентрациях*: ингибиторы должны эффективно защищать металл даже при низких дозах, что важно для экономической целесообразности применения [14].
- *Устойчивость к высоким давлениям и температурам:* большинство трубопроводных систем работают при высоких давлениях и температурах, что требует от ингибиторов коррозии стойкости к агрессивной среде [15].
- *Совместимость с другими химическими веществами:* ингибиторы должны быть совместимы с другими добавками и компонентами, такими как аминовая очистка и средства для удаления воды [16] .
- *Отсутствие токсичности и низкое экологическое воздействие:* экологические и токсикологические характеристики ингибиторов имеют важное значение, поскольку химические добавки не должны оказывать вредного воздействия на окружающую среду или здоровье людей [17].
- *Механизм действия:* ингибиторы должны предотвращать коррозию путем образования защитной пленки на поверхности металла, что снижает реакцию металла с агрессивной средой.

Современные разработки ингибиторов коррозии.

Современные исследования и разработки в области ингибиторов коррозии для условий, содержащих H_2S и CO_2, фокусируются на улучшении их эффективности и устойчивости в экстремальных условиях. Рассмотрим несколько типов ингибиторов:

1. *Органические ингибиторы:* Одним из наиболее перспективных типов ингибиторов являются органические добавки, такие как амиды, аминополифосфонаты и тиоловые соединения [18]. Эти вещества образуют на поверхности металла защитную пленку, предотвращая контакт металла с

ISSN 3030-3907

агрессивными компонентами газа. Например, амиды обладают высокой адгезией к металлическим поверхностям и хорошей устойчивостью к агрессивным условиям.

2. *Ингибиторы на основе полиэфиров и полимеров:* Полиэфиры и полимеры с функциональными группами, такими как карбоксильные и аминогруппы, являются эффективными ингибиторами при воздействии CO_2 [19]. Они образуют на поверхности металлов защитную пленку, которая препятствует образованию угольной кислоты и углекислых солей, тем самым предотвращая коррозию.

3. *Микробные ингибиторы:* Современные исследования также включают использование микробных ингибиторов, которые могут предотвращать коррозию, вызванную микробной активностью, особенно в условиях сероводородных загрязнений. Это является важным направлением для защиты трубопроводных систем в экологически чувствительных районах.

Несмотря на достижения в разработке ингибиторов коррозии для транспортировки газа, содержащего агрессивные компоненты, существуют ещё несколько ключевых проблем, которые требуют решения. Среди них:

- *Высокая стоимость ингибиторов:* несмотря на их эффективность, многие ингибиторы имеют высокую стоимость, что ограничивает их широкое применение, особенно в развивающихся странах.
- *Необходимость в комплексном подходе:* защиту трубопроводных систем следует проводить не только с использованием ингибиторов, но и в сочетании с техническими решениями, такими как применение специальных покрытий и регулярный мониторинг состояния труб.
- *Разработка новых, экологически безопасных материалов:* современные исследования направлены на создание более экологически чистых и безопасных для человека ингибиторов.

Хотелось бы обратить внимание на ингибиторы коррозии на основе отходов производства хлопкового масла (типа СКТ-10) представляющие собой класс природных пленкообразующих соединений, которые успешно применялись в газовой промышленности в период с 1980-х до начала 2000-х годов (в том числе на территории Узбекистана для защиты магистрального газопровода диаметром до 1020 мм транспортирующего среду с низким содержанием сероводорода длиной до 600 км.). Их защитный эффект обусловлен адсорбцией полярных компонентов масла на поверхности металла, формированием устойчивой гидрофобной пленки, препятствующей контакту, стали с водной фазой и коррозионно-активными газами (H_2S и CO_2), а также снижением скорости электрохимических реакций коррозии.

ISSN 3030-3907

Особо важно, что в средах с низким содержанием сероводорода такие ингибиторы эффективно ограничивают процессы катодного восстановления и уменьшают поступление водорода в металл, тем самым снижая риск водородного повреждения.

Современные условия эксплуатации газотранспортных систем показывают, что универсальные ингибиторы высокой стоимости не всегда являются технически и экономически оправданными. В таких случаях использование проверенных ингибиторов на основе хлопкового масла позволяет обеспечить требуемый уровень антикоррозионной защиты, снизить эксплуатационные затраты а также минимизировать экологические риски за счёт природного происхождения реагента. Дополнительным аргументом в пользу применения данных ингибиторов является возможность их модификации. Современные подходы позволяют вводить функциональные добавки для повышения устойчивости к H_2S, улучшать адгезию защитной пленки, а также расширять температурный диапазон применения. В виду вышесказанного, ингибиторы на основе хлопкового масла могут рассматриваться не как устаревшее решение, а как основа для разработки адаптированных ингибиторных композиций, отвечающих современным требованиям газовой промышленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Основная цель применения ингибитора – это защита от общей коррозии и частично от наводороживания, приводящего к охрупчиванию металла. Для защиты от водородного охрупчивания следует применять стали в сероводородостойком исполнении. Ингибитор может обеспечивать дополнительную степень защиты от проникновения водорода в сталь. Для этого необходимо на стадии подбора ингибитора проверять его эффективность защиты, как от общей коррозии, так и от наводороживания. Согласно СТО Газпром 029-2007 «Положение о допуске ингибиторов коррозии к применению в ОАО «Газпром» ингибитор должен обеспечивать защиту от коррозии не менее 85%, а от наводороживания – не менее 70%.

Ингибиторы коррозии, применяемые для защиты трубопроводных систем, транспортирующих газ, содержащий сероводород и диоксид углерода, являются важным инструментом для обеспечения долговечности и надёжности инфраструктуры. Современные разработки ингибиторов продолжают совершенствоваться, улучшая их эффективность, экологическую безопасность и стоимость, что способствует более эффективному решению проблемы коррозии в нефтегазовой отрасли.

ISSN 3030-3907

ЛИТЕРАТУРА

1. Федорова, М. А., & Павлов, С. В. (2010). Ингибиторы коррозии в газопроводных системах: теория и практика применения. Санкт-Петербург: Невский проспект.
2. Петров, А. Н., & Крылов, И. Л. (2017). Современные ингибиторы коррозии для нефтегазовой отрасли. Москва: Научный мир.
3. Савельев, И. П., & Черняев, В. Г. (2005). Коррозия и защита материалов в газовой промышленности. М.: Энергия.
4. Taha, M. R., & Zaki, M. (2018). Carbon Dioxide Corrosion of Carbon Steel: Mechanisms and Inhibition Methods. Electrochemical Society Transactions, 88(5), 1131–1137.
5. Prakash, S., & Singh, R. (2013). Corrosion Inhibition in the Oil and Gas Industry: A Review. Materials and Corrosion, 64(12), 1100–1113.
6. Ушаков, В. В. (2012). Технологии защиты трубопроводов от коррозии в условиях сероводородных газов. Журнал "Нефтегазовое дело", 42(6), 125–130.
7. Raja, V. S., & Sankara, S. (2008). Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Solutions by New Polymeric Compounds. Corrosion Science, 50(5), 1535–1544.
8. Kordos, P. (2015). Development of New Corrosion Inhibitors for Pipelines Transporting Sour Gas. Journal of Industrial Chemistry, 53(3), 1052–1061.
9. Бойко, В. П. (2009). Антикоррозионные покрытия и ингибиторы в газовой промышленности. М.: ГОССТРОЙ.
10. Olsson, C. O. A., & Chatterjee, S. (2007). Corrosion Control for the Oil and Gas Industry. CRC Press.
11. Косов, М. А. (2014). Влияние агрессивных газов на коррозию углеродистых сталей трубопроводов и методы их защиты. Открытая система "Нефтегаз", 11(7), 72–81.
12. Михайлов, Ю. И., & Зайцев, Р. А. (2016). Методы и технологии предотвращения коррозии в трубопроводах и резервуарах газовых компаний. Экологический журнал, 22(4), 123–130.
13. Березкин, А. В. (2018). Методология контроля за коррозией в газопроводах и трубопроводных системах. Техника и технологии в промышленности, 34(2), 145–151.
14. Choi, J., & Kim, D. (2011). Corrosion Inhibition of Steel by Organic Compounds in Sour Gas Environments. Corrosion Engineering, Science and Technology, 46(4), 263–268.
15. Kim, S. H., & Lee, J. (2012). Effects of Temperature and Pressure on the Performance of Corrosion Inhibitors for Gas Pipelines. Journal of Applied Electrochemistry, 42(3), 247–255.

ISSN 3030-3907

16. Торопкин, И. И., & Семенова, Л. К. (2009). Коррозия и защита металлов в нефтегазовой промышленности. М.: Стройинжиниринг.
17. Захарова, Е. Г., & Гребнев, И. С. (2014). Экологические характеристики ингибиторов коррозии для газовой промышленности. Технологии и химия, 26(3), 91–96.
18. Ravichandran, V., & Senthilkumar, S. (2010). Recent Advances in Organic Corrosion Inhibitors for Carbon Steel in Sour Gas Environments. Journal of Materials Science, 45(9), 2419–2427. O‘Reilly, J. J., & Murphy, M. S. (2013). Polymeric and Organophosphonate Inhibitors for Corrosion in CO_2 Environments. International Journal of Corrosion, 2013, Article ID 654108.
19. Агамалиева Д. Б., Мамедова Н. А. (2022). Ингибиторы коррозии на основе хлопкового масла УДК 547.541.2 Институт нефтехимических процессов Национальной академии наук Азербайджана

ISSN 3030-3907

O‘ZBEKISTONDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA JARAYONLARIDA KIBERXAVFSIZLIK MUAMMOLARI VA ULARNI HAL ETISHDA SUN`IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISH

Salimov Nurali Ramazon o`g`li
Toshkent Davlat Iqtisodiyot universiteti davlat muassasasi tayanch doktoranti

Annotatsiya. Mazkur maqolada O‘zbekistonda raqamli transformatsiya jarayonlarida yuzaga kelayotgan kiberxavfsizlik muammolari hamda ularni bartaraf etishda sun’iy intellekt texnologiyalarining imkoniyatlari tahlil qilingan. Raqamli infratuzilmaning kengayishi natijasida axborot tizimlariga qaratilgan tahdidlar soni va murakkabligi ortib borayotgani asoslab berilgan. Xalqaro va mahalliy ilmiy adabiyotlar asosida mashinaviy o‘qitish, chuqur o‘rganish, xulq-atvor tahlili va avtomatlashtirilgan xavfsizlik platformalarining kiberhujumlarni aniqlash hamda oldini olishdagi samaradorligi baholangan. Shuningdek, O‘zbekiston sharoitida sun’iy intellekt asosidagi kiberxavfsizlik tizimlarini joriy etish istiqbollari, mavjud muammolar va rivojlantirish yo‘nalishlari yoritilgan. Tadqiqot natijalari milliy raqamli ekotizim barqarorligini ta’minlash va zamonaviy axborot xavfsizligi mexanizmlarini takomillashtirish uchun ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: kiberxavfsizlik, transformatsiya, intellekt, algoritm, monitoring, autentifikatsiya, tahdid, himoya, avtomatlashtirish, prognozlash.

Аннотация. В данной статье исследуются проблемы кибербезопасности, возникающие в процессе цифровой трансформации Узбекистана, а также возможности использования технологий искусственного интеллекта для их решения. Обосновано, что расширение цифровой инфраструктуры сопровождается ростом количества и сложности киберугроз, направленных на информационные системы. На основе анализа международных и отечественных научных исследований рассмотрена эффективность методов машинного обучения, глубокого обучения, анализа поведения пользователей и автоматизированных платформ безопасности при обнаружении и предотвращении кибератак. Кроме того, определены перспективы внедрения систем кибербезопасности на основе искусственного интеллекта в условиях Узбекистана, существующие проблемы и направления их дальнейшего развития. Полученные результаты имеют научно-практическое значение для повышения устойчивости национальной цифровой экосистемы и совершенствования механизмов информационной безопасности.

Ключевые слова: кибербезопасность, трансформация, интеллект, алгоритм, мониторинг, аутентификация, угроза, защита, автоматизация, прогнозирование.

ISSN 3030-3907

Abstract. This article examines cybersecurity challenges emerging during the digital transformation of Uzbekistan and explores the potential of artificial intelligence technologies for addressing these issues. The expansion of digital infrastructure has significantly increased both the number and complexity of cyber threats targeting information systems. Based on international and national scientific literature, the study evaluates the effectiveness of machine learning, deep learning, behavioral analytics, and automated security platforms in detecting and preventing cyberattacks. Furthermore, the paper discusses the prospects of implementing AI-based cybersecurity systems in Uzbekistan, identifies existing challenges, and outlines future development directions. The findings contribute to strengthening the resilience of the national digital ecosystem and improving modern information security mechanisms through intelligent technologies.

Keywords: cybersecurity, transformation, intelligence, algorithm, monitoring, authentication, threat, protection, automation, prediction.

KIRISH.

So‘nggi yillarda dunyo miqyosida raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi, davlat boshqaruvi, moliya, sog‘liqni saqlash, ta’lim va sanoat tarmoqlarining raqamlashtirilishi axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jamiyat hayotidagi o‘rnini tubdan o‘zgartirdi. Mazkur jarayonlar bilan bir qatorda kiberxavfsizlik masalalari ham strategik ahamiyat kasb etib, axborot resurslari, ma’lumotlar bazalari va raqamli infratuzilmani turli xil kiberhujumlardan himoya qilish dolzarb vazifalardan biriga aylandi. Zamonaviy axborot tizimlarining murakkablashuvi, bulutli texnologiyalar, IoT qurilmalari, 5G tarmoqlari va katta hajmdagi ma’lumotlar almashinuvining kengayishi kiberjinoyatchilik usullarining ham takomillashishiga olib kelmoqda. Natijada an’anaviy himoya mexanizmlari murakkab va tez o‘zgaruvchan tahdidlarga qarshi yetarli samaradorlikni ta’minlay olmayotgani ilmiy tadqiqotlarda keng e’tirof etilmoqda. O‘zbekistonda ham raqamli transformatsiya davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda. Davlat xizmatlarini elektron shaklga o‘tkazish, elektron hukumat tizimlarini rivojlantirish, raqamli bank xizmatlari, elektron tijorat platformalari hamda sanoatda Industry 4.0 elementlarini joriy etish bo‘yicha amalga oshirilayotgan islohotlar axborot tizimlari sonining keskin ortishiga sabab bo‘lmoqda. Shu bilan birga, mazkur tizimlarning xavfsizligini ta’minlash, shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilish, davlat axborot resurslarining uzluksiz ishlashini kafolatlash va milliy kiberbarqarorlikni mustahkamlash muhim ilmiy-amaliy muammolardan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Respublikada qabul qilinayotgan normativ-huquqiy hujjatlar va milliy kiberxavfsizlik strategiyalarida ham axborot xavfsizligini ta’minlashning zamonaviy texnologiyalariga alohida e’tibor qaratilayotgani ushbu yo‘nalishning dolzarbligini yanada oshirmoqda [1].

ISSN 3030-3907

Bugungi kunda kiberhujumlarning xarakteri sezilarli darajada o‘zgarmoqda. Avvallari asosan viruslar va oddiy zararli dasturlar orqali amalga oshirilgan tahdidlar endilikda sun’iy intellekt yordamida avtomatlashtirilgan fishing kampaniyalari, adaptiv zararli dasturlar, nol kunlik zaifliklardan foydalanish va murakkab ijtimoiy muhandislik usullari orqali amalga oshirilmoqda. Bunday tahdidlarni an’anaviy imzo asosidagi himoya tizimlari yordamida aniqlash tobora qiyinlashib bormoqda. Shu sababli real vaqt rejimida tahdidlarni aniqlash, ularga tezkor javob qaytarish va kiberhujumlarning oldini olishda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanishga bo‘lgan ehtiyoj ortib bormoqda. Sun’iy intellekt texnologiyalari katta hajmdagi tarmoq trafiklarini avtomatik tahlil qilish, anomal holatlarni aniqlash, zararli faoliyatni bashorat qilish, foydalanuvchi xatti-harakatlarini modellashtirish hamda xavfsizlik hodisalarini tezkor klassifikatsiyalash imkoniyatlarini yaratmoqda. Ayniqsa, mashinaviy o‘qitish va chuqur o‘rganish algoritmlari yordamida ilgari noma’lum bo‘lgan tahdidlarni aniqlash, xavf darajasini baholash va avtomatlashtirilgan javob mexanizmlarini shakllantirish kiberxavfsizlik tizimlarining samaradorligini sezilarli darajada oshirmoqda. Xalqaro ilmiy tadqiqotlarda SI asosidagi Security Operation Center (SOC), Extended Detection and Response (XDR) hamda User and Entity Behavior Analytics (UEBA) platformalari istiqbolli yechim sifatida baholanmoqda [2].

O‘zbekiston olimlari tomonidan ham raqamli transformatsiya, axborot xavfsizligi va sun’iy intellekt texnologiyalarini milliy axborot tizimlariga integratsiyalash masalalari bo‘yicha qator ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Mahalliy tadqiqotlarda elektron hukumat infratuzilmasi, davlat axborot resurslari xavfsizligi, kriptografik himoya usullari, sun’iy intellekt asosida tahdidlarni monitoring qilish va milliy CERT tizimlarini rivojlantirish bo‘yicha ilmiy tavsiyalar ishlab chiqilmoqda. Biroq mamlakatda raqamli transformatsiya sur’atlarining ortib borishi sun’iy intellektdan foydalanish orqali kiberxavfsizlikni ta’minlashning yangi konseptual yondashuvlarini ishlab chiqishni talab etmoqda. Shu nuqtai nazardan, O‘zbekistonda raqamli transformatsiya sharoitida yuzaga kelayotgan kiberxavfsizlik muammolarini kompleks tahlil qilish, ularning asosiy tahdidlarini aniqlash hamda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish orqali xavfsizlikni ta’minlashning samarali mexanizmlarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi. Mazkur tadqiqot ushbu yo‘nalishdagi zamonaviy yondashuvlarni tahlil qilish, xalqaro tajriba va milliy amaliyotni solishtirish hamda O‘zbekistonning raqamli ekotizimida sun’iy intellekt asosidagi kiberxavfsizlik yechimlarini qo‘llash istiqbollarini ilmiy jihatdan asoslashga qaratilgan [3].

Adabiyotlar tahlili. Raqamli transformatsiya jarayonlarining jadallashuvi bilan bir qatorda kiberxavfsizlik muammolari ham yangi bosqichga ko‘tarildi. Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda axborot tizimlarining barqaror ishlashi nafaqat

ISSN 3030-3907

texnik infratuzilmaga, balki intellektual tahlil vositalari yordamida tahdidlarni oldindan aniqlash va ularga avtomatik javob qaytarish imkoniyatlariga ham bog‘liq ekanligi ta’kidlanmoqda. Xalqaro ilmiy manbalarda raqamli iqtisodiyot rivojlanishi sharoitida sun’iy intellekt kiberxavfsizlik tizimlarining ajralmas komponentiga aylanayotgani qayd etilgan. Ayniqsa, tarmoq trafigining keskin ortishi, bulutli hisoblash texnologiyalari, IoT qurilmalari va sanoat interneti platformalarining keng qo‘llanilishi an’anaviy xavfsizlik mexanizmlarining imkoniyatlarini cheklab qo‘ymoqda. So‘nggi yillardagi ilmiy izlanishlarda mashinaviy o‘qitish algoritmlari yordamida kiberhujumlarni aniqlash samaradorligini oshirish masalalari keng yoritilgan. Tadqiqotchilar nazorat ostida o‘qitish (Supervised Learning), nazoratsiz o‘qitish (Unsupervised Learning) hamda mustahkamlovchi o‘qitish (Reinforcement Learning) algoritmlaridan foydalanish orqali zararli trafikni klassifikatsiyalash, noma’lum tahdidlarni aniqlash va xavf darajasini baholash mumkinligini ko‘rsatganlar. Ayniqsa, chuqur neyron tarmoqlari va konvolyutsion modellar tarmoq paketlarining murakkab xususiyatlarini aniqlashda yuqori aniqlik ko‘rsatishi ilmiy tajribalarda isbotlangan [4].

Xalqaro adabiyotlarda SI asosidagi Intrusion Detection System (IDS) va Intrusion Prevention System (IPS) texnologiyalari alohida ilmiy yo‘nalish sifatida shakllanmoqda. Ushbu tizimlar millionlab tarmoq hodisalarini real vaqt rejimida qayta ishlash imkoniyatiga ega bo‘lib, an’anaviy signatura asosidagi tizimlarga nisbatan yangi turdagi hujumlarni aniqlashda samaraliroq ekanligi qayd etilgan. Tadqiqotlarda Random Forest, Support Vector Machine, Gradient Boosting hamda Deep Neural Network algoritmlarining aniqlik darajasi yuqori bo‘lishi ko‘plab eksperimental sinovlar orqali tasdiqlangan. Shuningdek, ilmiy adabiyotlarda generativ sun’iy intellekt texnologiyalarining rivojlanishi bilan bog‘liq yangi xavflar ham tahlil qilinmoqda. Generativ modellar yordamida fishing xabarlarini avtomatik yaratish, ijtimoiy muhandislik hujumlarini shaxsiylashtirish, zararli kodlarni avtomatlashtirilgan ishlab chiqish va deepfake texnologiyalari orqali firibgarliklarni amalga oshirish imkoniyatlari kiberxavfsizlik tizimlari oldiga yangi vazifalarni qo‘ymoqda. Shu sababli ko‘plab olimlar himoya tizimlarida ham generativ sun’iy intellekt asosidagi xavf monitoringi va xulq-atvor tahlili vositalaridan foydalanishni taklif etmoqdalar [5].

Bulutli hisoblash infratuzilmasida sun’iy intellektdan foydalanish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar ham alohida e’tiborga loyiqdir. Mazkur ishlarda virtual serverlar, konteyner texnologiyalari va mikroxizmatlar arxitekturasida yuzaga keladigan xavflarni avtomatik aniqlash, resurslardan foydalanishdagi anomal holatlarni monitoring qilish va xizmat ko‘rsatishni rad etish hujumlarini prognozlash imkoniyatlari keng o‘rganilgan. SI algoritmlari yordamida tarmoq

ISSN 3030-3907

yuklamalarining normal modeli shakllantirilib, undan og‘ishlar asosida kiberhujumlarni erta bosqichda aniqlash mumkinligi ko‘rsatilgan. Mahalliy ilmiy tadqiqotlarda ham raqamli transformatsiya jarayonlari bilan bog‘liq axborot xavfsizligi masalalariga tobora ko‘proq e’tibor qaratilmoqda. O‘zbekiston olimlari elektron hukumat infratuzilmasini himoyalash, davlat axborot tizimlari xavfsizligini ta’minlash, milliy kriptografik vositalarni rivojlantirish hamda sun’iy intellekt yordamida kiberxavflarni monitoring qilish masalalarini o‘rganib kelmoqdalar. Tadqiqotlarda davlat axborot resurslarini himoyalashda avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish, foydalanuvchilarning xulq-atvorini tahlil qilish va xavfsizlik hodisalarini markazlashgan boshqaruv platformalarida qayta ishlash zarurligi asoslangan [6].

Respublikada raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish bo‘yicha olib borilayotgan islohotlar bank sektori, soliq tizimi, bojxona, elektron tijorat va davlat xizmatlari sohalarida axborot almashinuvi hajmini sezilarli oshirdi. Shu sababli mahalliy ilmiy ishlarda ma’lumotlar maxfiyligi, shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilish, elektron identifikatsiya tizimlari xavfsizligi hamda raqamli identifikatsiya platformalarining zaif tomonlarini bartaraf etish bo‘yicha yangi yondashuvlar taklif etilgan. Ayrim tadqiqotlarda SI asosida biometrik autentifikatsiya va ko‘p omilli identifikatsiya tizimlarini qo‘llash istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rsatib o‘tilgan. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, SI texnologiyalari kiberxavfsizlikning deyarli barcha bosqichlarida qo‘llanilishi mumkin. Tahdidlarni prognozlash, zararli trafikni filtrlash, foydalanuvchi xatti-harakatlarini tahlil qilish, avtomatlashtirilgan javob choralarini ishlab chiqish va xavfsizlik siyosatini optimallashtirish kabi vazifalar sun’iy intellekt yordamida samarali amalga oshirilmoqda. Shu bilan birga, SI modellarining noto‘g‘ri o‘qitilishi, ma’lumotlar sifati pastligi yoki adversarial hujumlarga moyilligi kabi muammolar ham mavjud bo‘lib, ular alohida ilmiy izlanishlarni talab qiladi [7].

Bugungi kunda xalqaro tajriba va mahalliy ilmiy ishlarda SI asosidagi Security Information and Event Management (SIEM), Security Orchestration Automation and Response (SOAR), Extended Detection and Response (XDR) hamda User and Entity Behavior Analytics (UEBA) platformalari istiqbolli texnologiyalar sifatida baholanmoqda. Ushbu platformalar katta hajmdagi hodisalarni avtomatik qayta ishlash, tahdidlarni ustuvorlashtirish va xavfsizlik operatorlarining yuklamasini kamaytirishga xizmat qilmoqda. O‘zbekiston sharoitida ham davlat va xususiy sektor axborot tizimlarida mazkur texnologiyalarni bosqichma-bosqich joriy etish milliy kiberbarqarorlikni oshirishga xizmat qilishi mumkin. Umuman olganda, mavjud ilmiy adabiyotlar raqamli transformatsiya sharoitida kiberxavfsizlikni ta’minlashning an’anaviy yondashuvlari tobora yetarli emasligini, sun’iy intellekt texnologiyalari esa yangi

ISSN 3030-3907

avlod himoya vositalarini yaratish uchun muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qilayotganini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, O‘zbekistonning raqamli infratuzilmasi uchun milliy xususiyatlarni hisobga olgan SI asosidagi kiberxavfsizlik modellarini ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar soni hali yetarli emasligi kuzatiladi. Mazkur holat ushbu yo‘nalishda kompleks ilmiy izlanishlar olib borish zaruratini yanada kuchaytiradi [8].

1-Jadval.

Raqamli transformatsiya sharoitida kiberxavfsizlikni ta'minlashda sun'iy intellekt texnologiyalarining qo‘llanilish yo‘nalishlari.

Kiberxavfsizlik yo‘nalishi	Qo‘llanilayotgan SI texnologiyasi	Asosiy vazifasi	Kutilayotgan samaradorlik
Tarmoq monitoringi	Mashinaviy o‘qitish (ML)	Anomal trafikni aniqlash	Hujumlarni erta aniqlash
IDS/IPS tizimlari	Deep Learning	Noma'lum hujumlarni klassifikatsiyalash	Aniqlik darajasini oshirish
Fishing hujumlarini aniqlash	NLP va Generativ AI tahlili	Shubhali xabarlarni tahlil qilish	Firibgarliklarni kamaytirish
Foydalanuvchi xatti-harakatlarini tahlil qilish	UEBA algoritmlari	Ichki tahdidlarni aniqlash	Insayder xavflarini kamaytirish
SIEM platformalari	AI Analytics	Xavfsizlik hodisalarini avtomatik tahlil qilish	Operator yuklamasini kamaytirish
SOAR platformalari	AI Automation	Avtomatik javob choralarini ishlab chiqish	Javob berish vaqtini qisqartirish
Bulutli infratuzilma himoyasi	Predictive AI	Resurslardan foydalanishni monitoring qilish	DDoS va anomal yuklamalarni aniqlash
IoT qurilmalarini himoyalash	Edge AI	Qurilmalar xatti-harakatini nazorat qilish	IoT zaifliklarini kamaytirish

ISSN 3030-3907

Biometrik autentifikatsiya	AI Recognition	Shaxsni identifikatsiyalash	Kirish xavfsizligini oshirish
Kiberxavflarni prognozlash	Big Data + AI	Kelajakdagi tahdidlarni bashorat qilish	Proaktiv himoyani shakllantirish

Jadval ma'lumotlari shuni ko‘rsatadiki, sun'iy intellekt texnologiyalari kiberxavfsizlikning barcha asosiy yo‘nalishlarida qo‘llanilishi mumkin. Ayniqsa, real vaqt rejimida tahdidlarni aniqlash, xavflarni prognozlash va avtomatlashtirilgan javob mexanizmlarini shakllantirish imkoniyatlari raqamli transformatsiya sharoitida axborot tizimlari barqarorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi. O‘zbekistonning raqamli infratuzilmasida ham ushbu texnologiyalarni bosqichma-bosqich joriy etish milliy kiberxavfsizlik tizimining samaradorligini oshirishning muhim omili bo‘lishi mumkin [9].

Tadqiqot muhokamasi. O‘tkazilgan ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, raqamli transformatsiya jarayonlarining jadallashuvi bilan kiberxavfsizlik masalalari davlat va xususiy sektor faoliyatining eng muhim strategik yo‘nalishlaridan biriga aylangan. O‘zbekiston sharoitida elektron hukumat, raqamli bank xizmatlari, elektron tijorat, sanoatni raqamlashtirish va bulutli texnologiyalarning keng joriy etilishi axborot tizimlarining samaradorligini oshirayotgan bo‘lsa-da, ular bilan bog‘liq kiberxavflar soni va murakkabligi ham ortib bormoqda. Shu sababli an’anaviy xavfsizlik vositalari bilan bir qatorda sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish zarurati yuzaga kelmoqda. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy intellekt asosidagi algoritmlar katta hajmdagi tarmoq ma’lumotlarini qisqa vaqt ichida qayta ishlash, normal va anomal holatlarni farqlash hamda ilgari uchramagan kiberhujumlarni aniqlash imkoniyatiga ega. Ayniqsa, mashinaviy o‘qitish va chuqur o‘rganish modellarining qo‘llanilishi zararli trafikni aniqlash aniqligini oshirish, noto‘g‘ri signal berish holatlarini kamaytirish va xavfsizlik hodisalariga tezkor javob qaytarish imkonini bermoqda. Bu esa zamonaviy kiberxavfsizlik tizimlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi [10].

Biroq sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish bilan bog‘liq ayrim muammolar ham mavjud. Birinchidan, yuqori sifatli va ishonchli ma’lumotlar bazasining yetishmasligi SI modellarining aniqligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Ikkinchidan, sun’iy intellektning o‘zi ham adversarial hujumlar va model manipulyatsiyasi kabi yangi turdagi xavflarga duch kelmoqda. Uchinchidan, SI asosidagi tizimlarni joriy etish yuqori texnologik infratuzilma, malakali mutaxassislar va doimiy yangilanib boruvchi algoritmlarni talab qiladi. Bu esa rivojlanayotgan davlatlarda, jumladan O‘zbekistonda ham mazkur

ISSN 3030-3907

texnologiyalarni keng joriy etishda muayyan cheklovlarni yuzaga keltiradi. Shu bilan birga, xalqaro tajriba va mahalliy ilmiy tadqiqotlar sun'iy intellektni SIEM, SOAR, XDR va UEBA kabi zamonaviy kiberxavfsizlik platformalari bilan integratsiyalash yuqori samaradorlik berishini ko'rsatmoqda. O'zbekistonning raqamli transformatsiya strategiyasi doirasida ham davlat axborot tizimlari, bank sektori va muhim infratuzilma obyektlarida sun'iy intellekt asosidagi monitoring va tahdidlarni prognozlash tizimlarini bosqichma-bosqich joriy etish milliy kiberbarqarorlikni oshirishga xizmat qilishi mumkin. Shuningdek, milliy ma'lumotlar bazalarini shakllantirish, SI modellarini mahalliy sharoitga moslashtirish va mutaxassislar tayyorlash ushbu yo'nalishning ustuvor vazifalari sifatida qaralishi lozim [11].

XULOSA. Raqamli transformatsiya jarayonlari axborot tizimlari va raqamli xizmatlar ko'lamining kengayishiga olib kelishi bilan birga, kiberxavfsizlikni ta'minlash masalasini yanada dolzarb qilmoqda. Ilmiy adabiyotlar tahlili sun'iy intellekt texnologiyalarining kiberhujumlarni erta aniqlash, xavflarni prognozlash, tarmoq faoliyatini monitoring qilish va avtomatlashtirilgan himoya mexanizmlarini shakllantirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, SI modellarining ishonchliligi, ma'lumotlar sifati va yangi turdagi tahdidlarga moslashuvchanligi bilan bog'liq muammolar ham mavjud. O'zbekiston sharoitida raqamli transformatsiyaning muvaffaqiyatli amalga oshirilishi uchun sun'iy intellekt asosidagi kiberxavfsizlik tizimlarini milliy axborot infratuzilmasiga integratsiyalash, mahalliy ma'lumotlar bazalarini rivojlantirish hamda yuqori malakali mutaxassislarni tayyorlash muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu yondashuv milliy raqamli ekotizimning barqarorligi va axborot xavfsizligini ta'minlashda samarali ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.
2. Stallings, W., & Brown, L. (2024). Computer Security: Principles and Practice (6th ed.). Pearson.
3. Russell, S., & Norvig, P. (2022). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson.
4. Aggarwal, C. C. (2023). Neural Networks and Deep Learning: A Textbook (2nd ed.). Springer.
5. Kshetri, N. (2024). Artificial intelligence in cybersecurity: Opportunities and challenges. IT Professional, 26(2), 15–23.
6. Karimov, B. A., & Tursunov, A. X. (2023). O'zbekistonda raqamli transformatsiya va axborot xavfsizligini ta'minlashning zamonaviy yo'nalishlari. Muhammad al-Xorazmiy Avlodlari Ilmiy-Amaliy Jurnali, 4(22), 52–59.

ISSN 3030-3907

7. Alimuhamedov, A. A., & Raximov, S. R. (2024). Sun’iy intellekt texnologiyalarini axborot xavfsizligi tizimlarida qo‘llash istiqbollari. Axborot Texnologiyalari va Telekommunikatsiyalar Muammolari, 1(17), 31–39.
8. ENISA. (2024). ENISA Threat Landscape 2024. European Union Agency for Cybersecurity.
9. National Institute of Standards and Technology. (2024). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). U.S. Department of Commerce.
10. Cisco Systems. (2025). Cisco Cybersecurity Readiness Index 2025. Cisco Research.
11. O‘zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalar vazirligi. (2024). O‘zbekistonda raqamli transformatsiya va kiberxavfsizlikni rivojlantirish istiqbollari. Toshkent.

ISSN 3030-3907

MAKTABGACHA VA BOSHLANG‘ICH TA’LIMDA UZVIYLIKNI TA’MINLASHDA XALQARO BAHOLASH DASTURLARINING O‘RNI

Tilavova Matlab Muhamedovna
Buxoro davlat pedagogika instituti professori
Jo‘rayeva Umida Axtamovna
Buxoro davlat pedagogika instituti 1-kurs magistranti
E-mail: mardonov-95xk@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim bosqichlari o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlashning nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilingan. Ta’lim jarayonida uzluksizlikni ta’minlash orqali bolalarning bilim, ko‘nikma va kompetensiyalarini izchil rivojlantirish masalalari yoritilgan. Shuningdek, xalqaro baholash dasturlari, xususan PISA, PIRLS va TIMSS dasturlarining ta’lim sifatini oshirishdagi o‘rni ochib berilgan. Mazkur dasturlar asosida ta’lim mazmunini takomillashtirish, kompetensiyaviy yondashuvni rivojlantirish hamda pedagogik faoliyat samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko‘rsatib o‘tilgan. Maqolada uzviylikni ta’minlash bo‘yicha amaliy tavsiyalar ham berilgan.

Kalit so‘zlar: maktabgacha ta’lim, boshlang‘ich ta’lim, uzviylik, uzluksizlik, ta’lim jarayoni, bilim va ko‘nikmalar, kompetensiyalar, ta’lim sifati, kompetensiyaviy yondashuv, pedagogik faoliyat, xalqaro baholash dasturlari, PISA, PIRLS, TIMSS, ta’lim mazmuni, pedagogik integratsiya.

Annotation.This article analyzes the theoretical and practical aspects of ensuring continuity between preschool and primary education stages. It highlights the issues of the consistent development of children’s knowledge, skills, and competencies through continuity in the educational process. In addition, the role of international assessment programs, particularly PISA, PIRLS, and TIMSS, in improving the quality of education is discussed. Based on these programs, opportunities for improving educational content, developing a competency-based approach, and enhancing the effectiveness of pedagogical activities are identified. The article also provides practical recommendations for ensuring educational continuity.

Keywords: preschool education, primary education, continuity, lifelong learning, educational process, knowledge and skills, competencies, education quality, competency-based approach, pedagogical activity, international assessment programs, PISA, PIRLS, TIMSS, educational content, pedagogical integration.

Аннотация. В данной статье анализируются теоретические и практические аспекты обеспечения преемственности между дошкольным и начальным образованием. Рассматриваются вопросы последовательного развития знаний, умений и компетенций детей через обеспечение непрерывности образовательного процесса. Также раскрывается роль международных оценочных программ, в частности PISA, PIRLS и TIMSS, в повышении

качества образования. На основе данных программ определяются возможности совершенствования содержания образования, развития компетентностного подхода и повышения эффективности педагогической деятельности. В статье также представлены практические рекомендации по обеспечению преемственности в образовании.

Ключевые слова: дошкольное образование, начальное образование, преемственность, непрерывность, образовательный процесс, знания и умения, компетенции, качество образования, компетентностный подход, педагогическая деятельность, международные оценочные программы, PISA, PIRLS, TIMSS, содержание образования, педагогическая интеграция.

KIRISH.

Bugungi globallashuv jarayonida ta’lim tizimini modernizatsiya qilish, uning sifatini oshirish va xalqaro standartlarga moslashtirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim bosqichlari o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlash bolalarning keyingi ta’lim jarayonida muvaffaqiyatli rivojlanishi uchun muhim pedagogik asos bo‘lib xizmat qiladi. Chunki aynan shu davrda bola shaxsining asosiy bilim, ko‘nikma va kompetensiyalari shakllanadi.Maktabgacha ta’limda egallangan dastlabki bilim va hayotiy ko‘nikmalar boshlang‘ich ta’limda izchil davom ettirilmasa, bolalarda moslashuv qiyinchiliklari, o‘qishga qiziqishning pasayishi va bilimdagi uzilishlar yuzaga kelishi mumkin. Shu sababli ta’lim bosqichlari o‘rtasida uzluksizlikni ta’minlash muhim pedagogik vazifalardan biridir.O‘zbekiston Respublikasining 2019-yil 16-dekabrda qabul qilingan “Maktabgacha ta’lim va tarbiya to‘g‘risida”gi O‘RQ-595-son Qonunida maktabgacha ta’lim va tarbiyaning asosiy prinsiplari, bolalarni har tomonlama rivojlantirish hamda ularni boshlang‘ich ta’limga sifatli tayyorlash masalalari belgilab berilgan. Mazkur qonunda ta’limning uzluksizligi va izchilligini ta’minlash muhim vazifalardan biri sifatida ko‘rsatib o‘tilgan.Bugungi kunda pedagogik jarayonlarni takomillashtirish, uzviylikni yaratish va o‘quv jarayonini optimallashtirish masalalari dolzarbdir. Shu nuqtai nazardan, metodik vositalar, integratsiyalashgan yondashuv va ilg‘or pedagogik texnologiyalarni qo‘llash orqali ta’lim jarayonida uzviylikni oshirish mumkin. Bugungi kunda ta’lim tizimining eng muhim yo‘nalishlaridan biri uzluksiz ta’lim tizimini takomillashtirish, uning bosqichlari o‘rtasida izchillik va uzviylikni ta’minlashdan iboratdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Maktabgacha ta’lim va boshlang‘ich ta’lim bosqichlari o‘rtasidagi uzviylik bola shaxsining har tomonlama rivojlanishida, uning bilim olishga tayyorgarligini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki maktabgacha ta’lim bola tafakkurining shakllanishi, ijodiy va bilish faoliyatining rivojlanishi bosqichi bo‘lsa, boshlang‘ich ta’lim esa bu

ISSN 3030-3907

jarayonlarning mantiqiy davomi sifatida bola shaxsini yanada kengroq ijtimoiy hayotga tayyorlaydi. Maktabgacha ta’lim jarayonida bolaning bilish jarayonlarini rivojlantirish, mustaqil fikrlash, o‘z fikrini ifoda etish, atrof-muhitni anglash kabi ko‘nikmalarni shakllantirish muhimdir. Bu bosqichda yaratilgan bilim va ko‘nikmalar boshlang‘ich ta’limda o‘quv faoliyatini muvaffaqiyatli amalga oshirishga poydevor bo‘lib xizmat qiladi. Shu sababli, ushbu ikki bosqich o‘rtasida mazmun, metodika va psixologik jihatdan uzviylikni ta’minlash dolzarb masalalardan biri sanaladi.Ta’lim jarayonida uzviylik deganda, ta’lim bosqichlarining maqsad va mazmun jihatidan bir-birini to‘ldiruvchi va davom ettiruvchi tarzda tashkil etilishi tushuniladi. Bunda maktabgacha ta’limda olingan bilim va ko‘nikmalar boshlang‘ich ta’limda tizimlashtiriladi, kengaytiriladi va mustahkamlanadi. Ushbu jarayonda o‘qituvchi va tarbiyachi o‘rtasidagi metodik hamkorlik alohida ahamiyat kasb etadi. Bola maktabga qadam qo‘ygan paytda u ilgari egallagan bilimlar asosida yangi bilimlarni qabul qilishga tayyor bo‘lishi kerak.Uzviylikni ta’minlashda ta’lim jarayonining mazmuni bilan bir qatorda pedagogik yondashuv ham muhim rol o‘ynaydi. Tarbiyachi va boshlang‘ich sinf o‘qituvchisi bolaning yosh va psixologik xususiyatlarini hisobga olgan holda, dars jarayonida faol, ijodkor va mustaqil fikrlaydigan shaxsni shakllantirishga yo‘naltirilgan metodlardan foydalanishlari zarur. Shuningdek, o‘yin, amaliy mashg‘ulot, suhbat, mushohada va tajriba kabi usullarning davomiyligi ta’lim bosqichlaridagi mantiqiy bog‘liqlikni ta’minlaydi.

Uzviylikni ta’minlashda kompetensiyaviy yondashuv ham muhim ahamiyatga ega. Bu yondashuv bolalarning nafaqat bilim olishiga, balki olgan bilimlarini amaliy vaziyatlarda qo‘llay olishiga ham e’tibor qaratadi. Natijada o‘quvchilarda mustaqil fikrlash, muammoni hal qilish va kommunikativ ko‘nikmalar shakllanadi. Maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni samarali ta’minlash uchun nazariy yondashuvlar bilan birga amaliy faoliyat ham muhim ahamiyatga ega. Amaliy jarayonda bolalar uchun o‘quv faoliyati bosqichma-bosqich murakkablashib borishi lozim. Masalan, maktabgacha ta’limda o‘yin asosida harflar va tovushlarni o‘rganish, boshlang‘ich ta’limda esa ularni o‘qish va yozish ko‘nikmalariga aylantirish uzviylikning muhim ko‘rinishidir. Xuddi shuningdek, sanash va predmetlarni guruhlash ko‘nikmalari keyingi bosqichda matematik amallarni o‘zlashtirishga zamin yaratadi.Uzviylikni yanada aniq tasavvur qilish uchun quyidagi taqqoslashni keltirish mumkin:

NATIJA VA MUHKAMA. Maktabgacha ta’lim bosqichida bolalar o‘yin faoliyati orqali o‘rganadi, boshlang‘ich ta’limda esa bu jarayon rasmiy ta’lim shakliga o‘tadi. Tovush va harflar bilan tanishish savodxonlikka asos bo‘lsa, matematikada sanash ko‘nikmasi mantiqiy fikrlashni rivojlantiradi.

ISSN 3030-3907

So‘nggi yillarda ta’lim sifatini baholash va rivojlantirishda xalqaro baholash dasturlari katta ahamiyat kasb etmoqda. Xususan, PISA, PIRLS va TIMSS kabi dasturlar ta’lim tizimidagi real natijalarni aniqlash va uni takomillashtirishga xizmat qiladi.

Ta’lim sifatini xalqaro miqyosda baholash jarayonlari ham uzviylikni ta’minlashga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Jumladan, PIRLS boshlang‘ich sinf o‘quvchilarining o‘qish savodxonligini baholash orqali maktabgacha ta’limda shakllantirilgan nutq va tushunish ko‘nikmalarining darajasini aniqlash imkonini beradi. TIMSS esa matematika va tabiiy fanlar bo‘yicha bilimlarning uzluksiz rivojlanishini tahlil qiladi.Shuningdek, PISA dasturi o‘quvchilarning hayotiy vaziyatlarda bilim va ko‘nikmalarni qo‘llash darajasini o‘rganadi. Ushbu natijalar ta’lim tizimidagi kamchiliklarni aniqlash va ularni bartaraf etish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi. Xalqaro baholash natijalari asosida ta’lim mazmunini takomillashtirish, o‘qitish metodikasini yangilash hamda pedagoglarning kasbiy malakasini oshirish imkoniyatlari yaratiladi. Bu esa maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni yanada mustahkamlashga xizmat qiladi. Xalqaro tajribalar shuni ko‘rsatadiki, uzviylikni ta’minlash ta’lim sifatini sezilarli darajada oshiradi. Masalan, Finlandiya ta’lim tizimida maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim yagona uzluksiz tizim sifatida qaraladi. Singapurda esa kompetensiyaviy yondashuv asosida bolalar erta yoshdan muammoli vaziyatlarni hal qilishga o‘rgatiladi. Shuningdek, PIRLS natijalari o‘qish savodxonligi uzviy ta’lim tizimida yuqori natija berishini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 6-noyabrdagi PF-6108-son “O‘zbekistonning yangi taraqqiyot davrida ta’lim-tarbiya va ilm-fan sohalarini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonida ta’lim sifatini xalqaro darajaga olib chiqish, PISA, PIRLS hamda TIMSS kabi xalqaro baholash dasturlarida samarali ishtirok etish bo‘yicha vazifalar belgilangan. Bugungi kunda xalqaro baholash dasturlari ta’lim sifatini baholashning muhim mezoniga aylanib bormoqda. Mazkur dasturlar o‘quvchilarning nafaqat nazariy bilimlarini, balki bilimlarni amaliy vaziyatlarda qo‘llash, mustaqil fikrlash va muammolarni hal qilish kompetensiyalarini ham aniqlash imkonini beradi. Shu sababli maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni xalqaro talablar asosida tashkil etish zamonaviy ta’limning dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

Maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlashda 4K modeli muhim pedagogik asoslardan biri hisoblanadi. Uzviylik ta’lim bosqichlari o‘rtasidagi izchillik va davomiylikni ifodalasa, 4K modeli ushbu jarayonda bolalarning kreativ fikrlash, kritik fikrlash, kommunikativlik va kooperatsiya kompetensiyalarini bosqichma-bosqich rivojlantirishga xizmat qiladi. Maktabgacha ta’lim jarayonida bolalarda kreativ fikrlash ijodiy o‘yinlar va amaliy

ISSN 3030-3907

mashg‘ulotlar orqali shakllantiriladi. Kritik fikrlash esa taqqoslash, mantiqiy topshiriqlar va muammoli vaziyatlarni hal qilish orqali rivojlantiriladi. Kommunikativlik bolalarning erkin muloqot qilishi, fikr almashishi va nutqini rivojlantirish jarayonida namoyon bo‘ladi. Kooperatsiya kompetensiyasi esa jamoaviy o‘yinlar va hamkorlikdagi faoliyat orqali shakllanadi. Boshlang‘ich ta’limda ushbu kompetensiyalar o‘qish, yozish, matematik fikrlash va amaliy topshiriqlar orqali izchil davom ettiriladi. Natijada bolalarda bilimlarni amaliyotda qo‘llash, mustaqil fikrlash va muammoli vaziyatlarga yechim topish ko‘nikmalari rivojlanadi. Bu esa maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni mustahkamlashga xizmat qiladi.

Uzviylik tushunchasi va uning ahamiyati shundaki, ta’limdagi uzviylik bu ta’lim bosqichlarining maqsad, mazmun, metod va natijalar jihatidan o‘zaro bog‘liqligi, bir-birini to‘ldiruvchi va davom ettiruvchi jarayon ekanligini anglatadi. Maktabgacha ta’limdan boshlang‘ich ta’limgacha bo‘lgan uzviylik bolaning psixologik, aqliy, jismoniy va ijtimoiy rivojlanishini bir maromda davom ettirishga xizmat qiladi. Uzviylikni ta’minlashning metodik asoslari maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlashda quyidagi metodik yondashuvlar muhim o‘rin tutadi:

✓ Integratsion yondashuv: turli fanlar mazmunini o‘zaro bog‘lab, bolalarda yaxlit dunyoqarashni shakllantirish;

✓ Faoliyatga asoslangan o‘qitish: bolalarning o‘yin, ijodiy va amaliy faoliyati orqali o‘rganishga yo‘naltirish;

✓ Differensial yondashuv: har bir bolaning yosh va individual xususiyatlarini inobatga olish;

✓ ivojlantiruvchi ta’lim texnologiyalari: o‘quvchilarning mustaqil fikrlash va muammoli vaziyatlarni hal qilish qobiliyatini rivojlantirish.

Uzviylikni ta’minlashda o‘qituvchi va tarbiyachining hamkorlik samaradorligi ko‘p jihatdan tarbiyachi va boshlang‘ich sinf o‘qituvchisining hamkorligiga bog‘liq. Ular o‘quv dasturlari, bolalarning tayyorgarlik darajasi va psixologik holatini hisobga olib, birgalikda metodik reja tuzishlari zarur. Shuningdek, o‘tish davrida bolalar uchun maxsus moslashuv dasturlari ishlab chiqish ham katta ahamiyatga ega.

METODLAR. Maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlashda amaliy topshiriqlar muhim pedagogik vosita hisoblanadi. Shu jihatdan muallif Jo‘rayeva Umida Axtamovna tomonidan yaratilgan “Qo‘g‘irchoqdan qo‘ng‘iroqqacha” nomli metodik qo‘llanmada berilgan topshiriqlar bolalarning bilim, ko‘nikma va kompetensiyalarini izchil rivojlantirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Mazkur qo‘llanmada xalqaro baholash dasturlari — PISA, PIRLS hamda TIMSS talablariga mos topshiriqlardan foydalanilgan. Topshiriqlar bolalarda o‘qish savodxonligi, mantiqiy fikrlash, matematik tafakkur va muammoli vaziyatlarni hal qilish kompetensiyalarini rivojlantirishga yo‘naltirilgan.

Qo‘llanmada 4K modeli asosida kreativ fikrlash, kritik fikrlash, kommunikativlik va hamkorlik ko‘nikmalarini shakllantiruvchi mashg‘ulotlar ham o‘rin olgan. Shuningdek, STEAM yondashuvi asosida tashkil etilgan amaliy faoliyatlar orqali bolalarning mustaqil izlanishi va ijodiy yondashuvi rivojlantiriladi.

Jumladan, plastilin bilan ishlash, mantiqiy topshiriqlar, PISA, PIRLS, TIMSS ga onaltirilgan tpshiriqlar sanash, taqqoslash va ijodiy mashg‘ulotlar bolalarning mayda motorikasi, nutqi va tafakkurini rivojlantirish bilan birga, ularni boshlang‘ich ta’limga samarali tayyorlashga xizmat qiladi. Bu esa maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni mustahkamlashda muhim metodik asos bo‘lib xizmat qiladi. Quyida shu kitob sahifa,topshiriqlaridan namunalar ko‘rishingiz mumkin:

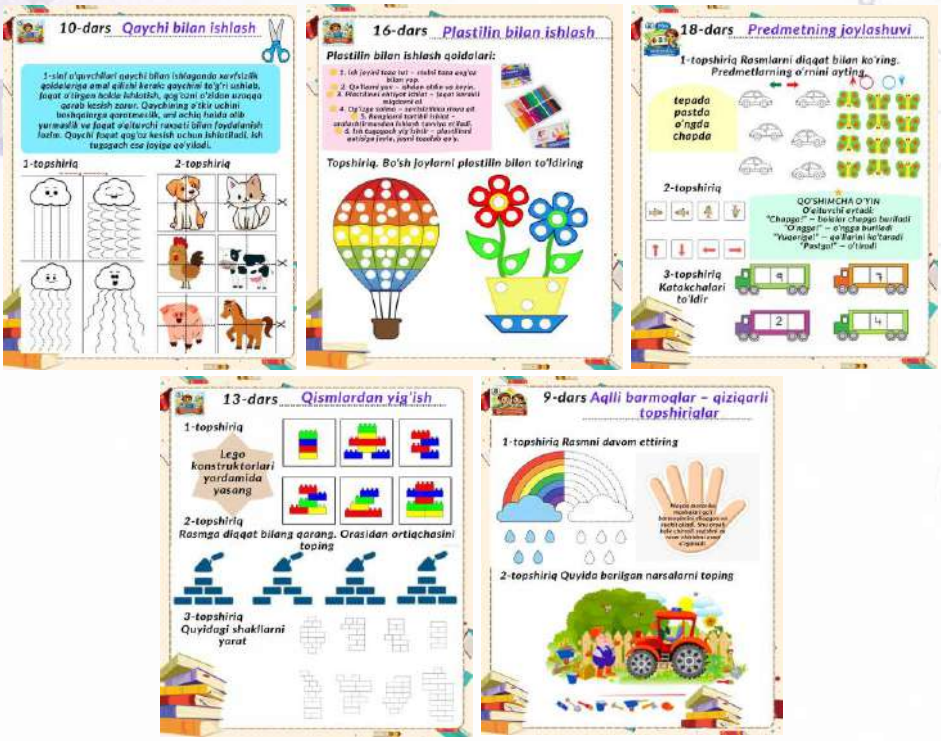








ISSN 3030-3907



Maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylikni ta’minlash ta’lim jarayonining samaradorligini oshiruvchi asosiy omil hisoblanadi. Bu uzviylik ta’lim bosqichlarining mazmun, metod va natijalar jihatidan uzluksiz bog‘liqligini ta’minlab, bolaning rivojlanishini bir maromda davom ettirishga xizmat qiladi.

XULOSA. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, uzviylikni ta’minlashda integratsion, faoliyatga asoslangan, differensial va rivojlantiruvchi ta’lim yondashuvlari muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, tarbiyachi va o‘qituvchi hamkorligi hamda maktabga moslashuv dasturlari bu jarayonni yanada samarali qiladi.Xalqaro baholash dasturlari esa uzviylikni ilmiy asosda tahlil qilish imkonini beradi. Jumladan, PIRLS maktabgacha davrda shakllangan o‘qish va tushunish ko‘nikmalarining natijasini, TIMSS matematika va tabiiy fanlar bo‘yicha bilimlarning davomiyligini, PISA esa o‘quvchilarning bilimlarni hayotiy vaziyatlarda qo‘llash darajasini baholaydi.

Ushbu natijalar asosida ta’lim mazmuni takomillashtiriladi, o‘qitish metodlari yangilanadi va pedagoglar malakasi oshiriladi. Natijada maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim o‘rtasidagi uzviylik mustahkamlanadi hamda ta’lim sifati yaxshilanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining 2019-yil 16-dekabrda qabul qilingan “Maktabgacha ta’lim va tarbiya to‘g‘risida”gi O‘RQ-595-son Qonuni
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Maktabgacha ta’lim tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida”gi qarori, 2022-yil.

ISSN 3030-3907

3. Mukhamadovna, T. M., Djamshitovna, K. M., & Narzullayevna, Q. S. (2021). Art as a significant factor of forming world outlook of students. Middle European Scientific Bulletin,
4. Saidova M.J “Xalqaro baholash tizimi” darslik Buxoro 2024
5. Abdullayeva N. Texnologiya fanini o‘qitishda zamonaviy pedagogik texnologiyalar. – Toshkent: TDPU nashriyoti, 2022.
6. Fayziyeva N.M. Boshlang‘ich sinf o‘quvchilari faoliyatida fanlararo integratsiyaning o‘rni. // “Pedagogik ta’lim” ilmiy jurnali. – 2022. –
7. Hasanov B. Texnologiya fanini o‘qitishda kompetensiyaviy yondashuv. – Toshkent: “Ilm ziyo”, 2023.
8. Karimova V. “Maktabgacha ta’lim pedagogikasi”. — Toshkent: “Fan va texnologiya”, 2021.
9. Jo‘raeva N., Abdullayeva M. “Boshlang‘ich ta’lim metodikasi”. — Toshkent, 2022.
10. Tilavova M.M va Jo‘rayeva U.A “Maktabgacha va boshlang‘ich ta’lim jarayonida uzviylikni ta’minlash metodikasini takomillashtirish” ilmiy maqola 2025.

ISSN 3030-3907

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО СПОРТИВНО-ПОВСЕДНЕВНОГО ТРИКОТАЖНОГО КОМПЛЕКТА ДЛЯ МУЖЧИН

Турахужаева Нилуфар Назиржановна
Андижанский государственный технический институт, PhD
E-mail: Turaxujayevan1985@mail.ru

Аннотация. В статье исследованы конструктивные и технологические решения универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин. В ходе исследования разработан комплект одежды, состоящий из трикотажного свитера и спортивных брюк, предназначенный для сочетания требований спортивной активности и повседневного использования. Для изготовления изделия выбрано трикотажное полотно интерлок плотностью 280–320 г/м², содержащее 60 % хлопка, 35 % полиэстера и 5 % эластана. Проведён анализ функциональных преимуществ основных конструктивных элементов модели, включая рукава покроя реглан, воротник-стойку с полуразъёмной застёжкой-молнией, эластичный пояс, карманы на молнии и трикотажные манжеты. Результаты исследования показали, что разработанный комплект соответствует современным требованиям эргономичности, функциональности и дизайна. Предложенная модель может быть рекомендована для расширения ассортимента мужских спортивно-повседневных трикотажных изделий и повышения эффективности их производства.

Ключевые слова: трикотажные изделия, спортивно-повседневная одежда, athleisure wear, мужская одежда, свитер, спортивные брюки, полотно интерлок, рукав реглан, конструктивные решения, технологические решения, эргономичность, функциональная одежда.

Annotatsiya. Mazkur maqolada erkaklar uchun universal sport-kundalik trikotaj kiyimlar majmuasining konstruktiv va texnologik yechimlari tadqiq etilgan. Tadqiqot davomida sport va kundalik foydalanish talablarini uyg‘unlashtiruvchi trikotaj sviter va sport shimidan iborat kiyimlar majmuasi ishlab chiqildi. Mahsulot uchun 60 % paxta, 35 % poliester va 5 % elastandan tashkil topgan, zichligi 280–320 g/m² bo‘lgan interlok trikotaj matosi tanlandi. Modelning konstruktiv xususiyatlari, jumladan reglan yeng, yarim fermuarli tik yoqa, elastik belbog‘, fermuarli cho‘ntaklar va trikotaj manjetlarning funksional afzalliklari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari ishlab chiqilgan kiyimlar majmuasi ergonomiklik, funksionallik va zamonaviy dizayn talablariga mos kelishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan model erkaklar uchun mo‘ljallangan sport-kundalik trikotaj mahsulotlar assortimentini kengaytirish hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirish uchun tavsiya etiladi.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: trikotaj kiyimlar, sport-kundalik kiyim, athleisure wear, erkaklar kiyimi, sviter, sport shim, interlok mato, reglan yeng, konstruktiv yechimlar, texnologik yechimlar, ergonomiklik, funksional kiyim.

Abstract. This article investigates the structural and technological solutions of a universal sports-casual knitwear ensemble for men. A knitwear set consisting of a sweater and sports trousers was developed to combine the requirements of both sports activities and everyday wear. An interlock knitted fabric with a composition of 60% cotton, 35% polyester, and 5% elastane and a surface density of 280–320 g/m² was selected for the product. The functional advantages of the model’s structural elements, including raglan sleeves, a stand-up half-zip collar, an elastic waistband, zippered pockets, and knitted cuffs, were analyzed. The results demonstrate that the developed ensemble meets modern requirements for ergonomics, functionality, and design. The proposed model can be recommended for expanding the range of men's sports-casual knitwear products and improving production efficiency.

Keywords: knitwear, sports-casual wear, athleisure wear, men's apparel, sweater, sports trousers, interlock fabric, raglan sleeve, structural solutions, technological solutions, ergonomics, functional clothing.

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время в лёгкой промышленности наблюдается устойчивый рост потребительского спроса на удобную, функциональную и эстетически привлекательную одежду. Особый интерес на мировом рынке вызывает универсальная одежда, сочетающая возможности использования как в спортивной, так и в повседневной сфере. Данное направление развивается в рамках концепции athleisure wear и стало одним из современных трендов моды, основанных на гармоничном сочетании элементов спортивной и повседневной одежды.

Трикотажные изделия широко используются при производстве спортивно-повседневной одежды благодаря высокой эластичности, воздухопроницаемости, гигиеническим свойствам и комфорту в эксплуатации [1,2]. Среди мужских трикотажных изделий наибольшим спросом пользуются свитеры, свитшоты и спортивные брюки. Совершенствование конструктивных и технологических решений данных изделий, разработка моделей, соответствующих современным модным тенденциям, а также повышение эффективности производства являются одними из актуальных научно-практических задач.

В последние годы при проектировании трикотажных изделий особое внимание уделяется сочетанию эргономических, функциональных и эстетических характеристик. Наряду с этим активно проводятся

ISSN 3030-3907

исследования, направленные на повышение эффективности производства за счёт упрощения конструкции изделий, снижения расхода материалов и оптимизации технологических процессов [3-5].

Несмотря на то, что в существующих научных исследованиях вопросы проектирования мужской спортивной одежды и трикотажных свитеров рассматривались отдельно, проблемы создания универсального трикотажного комплекта, сочетающего возможности спортивного и повседневного использования, а также комплексной оценки его конструктивных и технологических решений освещены недостаточно.

В связи с этим целью данного исследования является разработка универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин, обоснование его конструктивных и технологических особенностей, а также оценка его соответствия требованиям современных потребителей.

Научная новизна исследования заключается в разработке универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин, сочетающего функциональные элементы спортивной одежды и комфортные характеристики повседневных изделий. В работе предложено рациональное сочетание конструктивных решений, включающее применение рукавов покроя реглан, воротника-стойки с полуразъёмной застёжкой-молнией, эластичных трикотажных манжет, регулируемого пояса и карманов на молнии, обеспечивающих повышение эргономических и эксплуатационных свойств изделия.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования разработанных конструктивно-технологических решений при проектировании и производстве современных мужских спортивно-повседневных трикотажных изделий. Результаты работы могут быть использованы предприятиями лёгкой промышленности для расширения ассортимента продукции, повышения её конкурентоспособности и удовлетворения потребительского спроса на универсальную одежду спортивно-повседневного назначения.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. В последние годы в лёгкой промышленности наблюдается активное развитие направления athleisure wear*, сформировавшегося на основе интеграции спортивной и повседневной одежды. Данная концепция ориентирована на создание изделий, сочетающих функциональные свойства спортивной экипировки с эстетическими и эксплуатационными характеристиками повседневной одежды. Согласно современным исследованиям, рост потребительского спроса на универсальную одежду спортивно-повседневного назначения стимулирует

ISSN 3030-3907

разработку новых конструктивных решений, материалов и технологий производства [6,7].

Вопросы проектирования и технологии изготовления трикотажных изделий широко представлены в трудах отечественных и зарубежных исследователей. В работах D.J. Spencer, S.C. Ray и K.F. Au рассмотрены структура трикотажных полотен, особенности формирования трикотажных изделий, а также возможности современного вязального оборудования [8-12]. Авторы отмечают, что рациональный выбор сырья, структуры полотна и конструктивных параметров изделия оказывает существенное влияние на его качество, эксплуатационные свойства и технологичность производства.

Значительное внимание в научной литературе уделяется разработке функциональной спортивной одежды. Исследования показывают, что комфортность эксплуатации изделий определяется комплексом факторов, включающих эргономичность конструкции, воздухопроницаемость материалов, влагообмен, эластичность и способность изделия обеспечивать свободу движений [1,2,10,11]. При этом конструктивные элементы одежды и характеристики используемых материалов оказывают непосредственное влияние на уровень комфорта и функциональности готового изделия.

* ***Athleisure wear*** – современное направление в одежде, объединяющее характеристики спортивной и повседневной одежды, сочетающее функциональность спортивной экипировки с эстетическими и комфортными свойствами повседневной одежды.

В исследованиях, посвящённых мужским трикотажным изделиям, в качестве основных критериев проектирования рассматриваются эргономичность, формоустойчивость, эстетическая привлекательность и соответствие современным тенденциям моды [8,9]. Одновременно отмечается необходимость снижения материалоёмкости изделий и повышения эффективности технологических процессов, что способствует улучшению экономических показателей производства и повышению конкурентоспособности продукции [3–5].

Проведённый анализ научной литературы показал, что вопросы проектирования спортивной одежды и мужских трикотажных изделий достаточно подробно освещены в современных исследованиях. Вместе с тем недостаточно изученными остаются вопросы создания универсальных спортивно-повседневных трикотажных комплектов, объединяющих функциональные преимущества спортивной одежды и комфорт повседневного использования. В частности, ограниченное внимание уделяется комплексному обоснованию конструктивных и технологических

ISSN 3030-3907

решений подобных изделий, выбору материалов и оценке их соответствия современным требованиям потребителей.

В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин с учётом современных требований к эргономичности, функциональности, эстетичности и технологичности производства.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью исследования являлась разработка универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин, сочетающего функциональные свойства спортивной одежды и комфортность изделий повседневного назначения. Объектом исследования выступал комплект одежды, состоящий из трикотажного свитера с полуразъёмной застёжкой-молнией и спортивных брюк.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе был выполнен анализ научной литературы, современных тенденций развития направления athleisure wear, а также конструктивных особенностей мужской спортивной и повседневной одежды. На основе проведённого анализа были определены основные требования к разрабатываемому изделию, включающие эргономичность, функциональность, эстетическую привлекательность и технологичность производства.

На втором этапе осуществлялся выбор материалов для изготовления комплекта. В качестве основного материала было выбрано трикотажное полотно интерлок плотностью 280–320 г/м² с содержанием 60 % хлопка, 35 % полиэстера и 5 % эластана. Выбор материала осуществлялся с учётом показателей воздухопроницаемости, эластичности, формоустойчивости, износостойкости и комфортности эксплуатации.

На третьем этапе были разработаны конструктивные решения изделия. Для свитера были выбраны рукава покроя реглан, воротник-стойка с полуразъёмной застёжкой-молнией и трикотажные манжеты. Конструкция спортивных брюк предусматривала использование эластичного пояса со шнуром регулирования объёма, боковых карманов на молнии и трикотажных манжет по низу изделия. При проектировании учитывались требования свободы движений, удобства эксплуатации и соответствия современным тенденциям мужской моды.

На заключительном этапе проводилась оценка разработанного комплекта по эргономическим, функциональным и эстетическим критериям. Анализ осуществлялся на основе сравнительного рассмотрения конструктивных решений, свойств выбранного материала и соответствия изделия современным требованиям к спортивно-повседневной одежде. Критериями оценки являлись эргономичность конструкции, свобода

ISSN 3030-3907

движений, функциональность, технологичность изготовления, комфортность эксплуатации и соответствие современным тенденциям спортивно-повседневной моды.

В ходе исследования использовались аналитический, сравнительный и конструктивно-проектный методы, позволившие обосновать выбор материалов, разработать конструкцию изделия и определить перспективы его практического применения в условиях промышленного производства.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ. В результате проведённого исследования был разработан универсальный спортивно-повседневный трикотажный комплект для мужчин, предназначенный для использования как в условиях умеренной физической активности, так и в повседневной эксплуатации. При разработке модели основное внимание уделялось обеспечению эргономичности, функциональности, комфортности и соответствия современным тенденциям мужской моды.

Разработанный комплект включает трикотажный свитер и спортивные брюки, выполненные в едином стилевом решении. Предлагаемая модель сочетает конструктивные элементы спортивной одежды с эстетическими характеристиками изделий повседневного назначения, что соответствует современным тенденциям развития направления athleisure wear. Внешний вид модели представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Модель универсального спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин: вид спереди и сзади.

Одним из важных этапов проектирования являлся выбор материала, обеспечивающего требуемые эксплуатационные характеристики изделия. С учётом назначения комплекта в качестве основного материала было выбрано

ISSN 3030-3907

трикотажное полотно интерлок. Основные характеристики выбранного материала представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика материала, рекомендованного для изготовления спортивно-повседневного трикотажного комплекта

№	Показатель	Характеристика
1	Вид полотна	Интерлок
2	Волокнистый состав	60 % хлопок, 35 % полиэстер, 5 % эластан
3	Поверхностная плотность	280–320 г/м²
4	Назначение	Спортивно-повседневная одежда
5	**Основные преимущества**	Высокая воздухопроницаемость, хорошая формоустойчивость, эластичность, износостойкость, комфортность при носке, низкая сминаемость

Как видно из таблицы 1, выбранное трикотажное полотно обладает комплексом свойств, необходимых для изготовления спортивно-повседневной одежды. Сочетание хлопковых, полиэфирных и эластановых волокон обеспечивает баланс между гигиеническими свойствами, износостойкостью, эластичностью и формоустойчивостью материала. Использование интерлочного полотна плотностью 280-320 г/м² позволяет обеспечить комфортность эксплуатации изделия и сохранение его внешнего вида в процессе носки.

Для оценки эффективности предложенных конструктивных решений был выполнен сравнительный анализ основных функциональных характеристик разработанного комплекта и существующих аналогов, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная оценка конструктивных решений разработанного комплекта и существующих аналогов

№	Показатель	Традиционный трикотажный свитер	Спортивный костюм	Разработанный спортивно-повседневный комплект
1	Универсальность применения	Средняя	Низкая	Высокая

ISSN 3030-3907

2	Возможность повседневного использования	Высокая	Средняя	Высокая
3	Возможность использования при физической активности	Низкая	Высокая	Высокая
4	Свобода движений	Средняя	Высокая	Высокая
5	Наличие рукавов реглан	Нет	Частично	Да
6	Регулирование воздухообмена	Нет	Ограниченное	Да
7	Карманы на молнии	Отсутствуют	Частично	Да
8	Эргономичность конструкции	Средняя	Высокая	Высокая
9	Технологичность изготовления	Высокая	Высокая	Высокая
10	Соответствие концепции athleisure wear	Частично	Частично	Полностью

Оценка выполнялась на основе сравнительного анализа конструктивных особенностей изделий, их функциональных возможностей и соответствия требованиям спортивно-повседневной одежды.

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что разработанный спортивно-повседневный трикотажный комплект обладает более широкими функциональными возможностями по сравнению с традиционными трикотажными изделиями и спортивной одеждой. Предложенная модель сочетает преимущества спортивного костюма, обеспечивающего свободу движений и комфорт при физической активности, с эстетическими и эксплуатационными характеристиками повседневной одежды.

Установлено, что применение рукавов покроя реглан способствует повышению эргономичности изделия за счёт увеличения свободы движений в области плечевого пояса. Использование воротника-стойки с полуразъёмной застёжкой-молнией обеспечивает возможность регулирования воздухообмена и повышает удобство эксплуатации изделия.

ISSN 3030-3907

Наличие карманов на молнии и регулируемого пояса способствует повышению функциональности комплекта, что особенно важно для одежды универсального назначения.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования предложенных конструктивно-технологических решений при проектировании современных спортивно-повседневных трикотажных изделий для мужчин.

Основные конструктивно-технологические решения разработанного свитера представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. Конструктивно-технологические решения свитера

1 – воротник-стойка с полуразъёмной застёжкой-молнией; 2 – рукав покроя реглан; 3 – трикотажные манжеты и нижний край изделия.

Конструктивно-технологические решения разработанного свитера направлены на обеспечение эргономичности, функциональности и современного внешнего вида. Модель выполнена в полуприлегающем силуэте и включает воротник-стойку с полуразъёмной застёжкой-молнией (позиция 1), рукава покроя реглан (позиция 2), а также трикотажные манжеты и эластичный нижний край (позиция 3).

Использование воротника-стойки с полуразъёмной застёжкой-молнией (позиция 1) повышает удобство эксплуатации свитера, облегчает процесс его надевания и снятия, а также позволяет регулировать воздухообмен в зависимости от условий использования. Применение рукавов покроя реглан (позиция 2) способствует увеличению свободы движений, снижению нагрузки на плечевой пояс и улучшению эргономических характеристик модели, что особенно важно для спортивно-повседневной одежды.

Трикотажные манжеты и эластичный нижний край (позиция 3) обеспечивают надёжную фиксацию формы, повышают комфортность

ISSN 3030-3907

эксплуатации и способствуют сохранению эксплуатационных свойств изделия. Принятые конструктивно-технологические решения обеспечивают рациональное сочетание функциональных свойств спортивной одежды и эстетических требований, предъявляемых к современным мужским трикотажным изделиям.

Основные конструктивно-технологические решения разработанных спортивных брюк представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. Конструктивно-технологические решения спортивных брюк.

1 – эластичный пояс со шнуром; 2 – карманы на молнии; 3 – трикотажные манжеты по низу брюк.

Конструктивно-технологические решения разработанных спортивных брюк направлены на обеспечение удобства эксплуатации, функциональности и соответствия современным требованиям к спортивно-повседневной одежде. Модель выполнена в прямом силуэте и включает эластичный пояс со шнуром для регулирования объёма (позиция 1), боковые карманы на молнии (позиция 2), а также трикотажные манжеты по низу брюк (позиция 3).

Использование эластичного пояса со шнуром (позиция 1) обеспечивает надёжную фиксацию изделия на фигуре и позволяет регулировать посадку в зависимости от индивидуальных особенностей потребителя. Карманы на молнии (позиция 2) повышают функциональность изделия и обеспечивают безопасное хранение мелких личных вещей во время повседневной эксплуатации и физической активности.

Трикотажные манжеты по низу брюк (позиция 3) способствуют сохранению формы изделия, обеспечивают комфортную посадку и улучшают эксплуатационные характеристики модели. Принятые

ISSN 3030-3907

конструктивно-технологические решения позволяют повысить эргономические свойства изделия и обеспечить его соответствие современным требованиям, предъявляемым к мужской спортивно-повседневной одежде.

Для повышения потребительской привлекательности изделия были разработаны несколько вариантов цветового оформления комплекта. Предлагаемые цветовые решения представлены на рисунке 4.



Рисунок 4. Варианты цветового оформления разработанного спортивно-повседневного трикотажного комплекта для мужчин

а – бежево-синий; б – серо-чёрный; в – оливково-чёрный.

Как показано на рисунке 4, для разработанного комплекта предложены три варианта цветового оформления. Вариант **а**) отличается сочетанием светло-бежевого и тёмно-синего цветов, вариант **б**) выполнен в серо-чёрной гамме, а вариант **в)** предусматривает сочетание оливкового и чёрного цветов.

Проведённый анализ показал, что предложенные конструктивные решения, выбранный материал и разработанные варианты цветового оформления обеспечивают соответствие изделия современным требованиям, предъявляемым к спортивно-повседневной одежде. Использование интерлочного трикотажного полотна позволяет обеспечить необходимый уровень комфортности и долговечности изделия, а сочетание спортивных и повседневных элементов конструкции способствует расширению области его применения.

Разработанный комплект может использоваться как для повседневной носки, так и для активного отдыха, что соответствует современным тенденциям развития направления athleisure wear. Полученные результаты подтверждают возможность практического внедрения предложенной модели в производство и её дальнейшей адаптации к различным группам потребителей за счёт изменения цветовых решений и ассортимента материалов.

ISSN 3030-3907

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ. В результате проведённого исследования был разработан универсальный спортивно-повседневный трикотажный комплект для мужчин. Предлагаемая модель состоит из свитера с воротником-стойкой и полуразъёмной застёжкой-молнией, рукавами покроя реглан, а также брюк спортивного стиля и сочетает требования спортивного и повседневного использования. Для изготовления изделия было выбрано трикотажное полотно интерлок плотностью 280–320 г/м². Состав материала включает 60 % хлопка, 35 % полиэстера и 5 % эластана, что обеспечивает эластичность, воздухопроницаемость, формоустойчивость и комфортность эксплуатации изделия.

Результаты исследования показали, что разработанный комплект соответствует современным требованиям эргономичности, функциональности и дизайна. Использование рукавов реглан, эластичного пояса, карманов на молнии и трикотажных манжет способствует улучшению эксплуатационных характеристик изделия. Представляется целесообразным внедрение разработанной модели в массовое производство, а также расширение ассортимента за счёт использования различных цветовых и материаловедческих решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Selli F., Turhan Y. Investigation of Air Permeability and Moisture Management Properties of Commercial Single Jersey and Rib Knitted Fabrics // Tekstil ve Konfeksiyon. – 2017. – Vol. 27, No. 1. – P. 27–31.
2. Oglakcioglu N., Marmarali A. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures // Fibres & Textiles in Eastern Europe. – 2007. – Vol. 15, No. 5–6. – P. 94–96.
3. Spencer D.J. Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide. – 3rd ed. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2001. – 326 p.
4. Ray S.C. Fundamentals and Advances in Knitting Technology. – New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2012. – 432 p.
5. Au K.F. Advances in Knitting Technology. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. – 248 p.
6. Song G. Improving Comfort in Clothing. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. – 466 p.
7. Dong Y., Kong J., Mu C., Zhao C., Thomas N.L. Materials Design Towards Sport Textiles with Low-Friction and Moisture-Wicking Dual Functions // Materials & Design. – 2015. – Vol. 88. – P. 9–15.
8. Bye E., LaBat K., DeLong M. Analysis and Design of Apparel Production Systems. – New York: Fairchild Books, 2014. – 416 p.

ISSN 3030-3907

9. Grand View Research. Athleisure Market Size, Share & Trends Analysis Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/athleisure-market (дата обращения: 09.06.2026).
10. Kılınç N., Erdoğan M.C. Athleisure Wear: A New Fashion Trend in the Clothing Industry // International Journal of Clothing Science and Technology. – 2022. – Vol. 34, No. 5. – P. 685–699.
11. Fibres for Active Sportswear Fabrics // The Textile Magazine. – 2002. – P. 57–58.
12. De Sousa J., Cheatham C., Wittbrodt M. The Effects of a Moisture-Wicking Fabric Shirt on the Physiological and Perceptual Responses During Acute Exercise in the Heat // Applied Ergonomics. – 2014. – Vol. 45, No. 6. – P. 1447–1453.

ISSN 3030-3907

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ

Ештемиров Жамшидбек Олимжон ўғли
Студент Каршинского государственного технического университета

Аннотация. В статье проведён анализ потерь электрической энергии, возникающих вследствие несимметрии напряжений и токов, а также несинусоидальности режимов работы в системах электроснабжения. Рассмотрены дополнительные потери мощности в линиях электропередачи, силовых трансформаторах, конденсаторных батареях и электрических двигателях. Оценены технико-экономические последствия ухудшения показателей качества электрической энергии и показана важность снижения энергетических потерь.

Ключевые слова: качество электрической энергии, несимметрия напряжений, несинусоидальность, потери электрической энергии, потери активной мощности, линии электропередачи, силовой трансформатор, асинхронный двигатель, конденсаторная батарея, система электроснабжения.

Abstract. This article analyzes electrical energy losses caused by voltage and current unbalance as well as non-sinusoidal operating conditions in power supply systems. Additional power losses occurring in transmission lines, power transformers, capacitor banks, and electric motors are considered. The technical and economic impacts associated with the deterioration of power quality indicators are evaluated, and the importance of reducing energy losses is highlighted.

Keywords: power quality, voltage unbalance, non-sinusoidal conditions, electrical energy losses, active power losses, transmission lines, power transformer, induction motor, capacitor bank, power supply system.

Annotatsiya. Maqolada elektr ta’minoti tizimlarida kuchlanish va toklar nosimmetriyasi hamda nosinusoidalligi natijasida yuzaga keladigan elektr energiyasi isroflari tahlil qilingan. Elektr uzatish liniyalari, kuch transformatorlari, kondensator batareyalari va elektr dvigatellarda hosil bo‘ladigan qo‘shimcha quvvat yo‘qotishlari ko‘rib chiqilgan. Elektr energiyasi sifati ko‘rsatkichlarining pasayishi natijasida yuzaga keladigan texnik-iqtisodiy zararlar baholanib, energiya isroflarini kamaytirishning ahamiyati yoritilgan.

Kalit so‘zlar: elektr energiyasi sifati, nosimmetriya, nosinusoidallik, elektr energiyasi isrofi, aktiv quvvat yo‘qotishlari, elektr uzatish liniyalari, kuch transformatori, asinxron dvigatel, kondensator batareyasi, elektr ta’minoti tizimi.

ВВЕДЕНИЕ.

Основная часть потерь электроэнергии в электрических сетях всех потребителей электроэнергии, в частности промышленных предприятий,

ISSN 3030-3907

приходится на линии электропередачи и трансформаторы. В практических расчетах, как правило, учитываются потери электроэнергии именно в этих элементах сети. Потери электроэнергии в обмотках трансформаторов, кабельных линиях и воздушных линиях электропередачи зависят от квадрата протекающего по ним тока нагрузки (в соответствии с законом Джоуля–Ленца) и называются нагрузочными потерями. Ток нагрузки, как правило, изменяется во времени в зависимости от режимных параметров и принимает различные значения, вследствие чего нагрузочные потери рассматриваются как переменная величина.

С увеличением числа подключаемых потребителей к электрической сети и ростом нагрузок потери электрической энергии возрастают. Согласно результатам анализа потребления и потерь электроэнергии, в электрических сетях напряжением 0,38 кВ потери электроэнергии составляют 32% от общих потерь. В трансформаторных подстанциях (ТП), преобразующих уровень напряжения до потребительского значения, в частности в трансформаторах 10/6/0,4 кВ, потери составляют 51–52% от общих потерь электроэнергии.

Несимметрия напряжения снижает эффективность работы выпрямительных устройств и уменьшает результативность использования регулирующих и компенсирующих устройств. Особенно отрицательное влияние несимметрия оказывает на работу и долговечность асинхронных электродвигателей. При несимметрии фазных напряжений, равной 5%, мощность асинхронного электродвигателя в зависимости от его типа снижается на 5–20%. Известно также, что при асимметрии напряжения на уровне 4% срок службы асинхронного электродвигателя сокращается примерно в 2 раза. Установлено, что каждая единица коэффициента несимметрии напряжения соответствует дополнительному отклонению напряжения на 1,73%.

В свою очередь, изменение напряжения приводит к дополнительным потерям мощности и сокращению срока службы электрического оборудования. Например, при отклонении напряжения на 10% потери в электродвигателе увеличиваются на 2%, при этом возрастает потребляемый ток двигателя, что приводит к преждевременному старению изоляции обмоток и, в конечном итоге, к выходу его из строя. Установлено, что при увеличении напряжения на каждый 1% реактивная мощность, потребляемая электродвигателем, возрастает на 3%. Для ламп накаливания повышение напряжения на 1% относительно номинального приводит к увеличению потребляемой мощности на 1,5% и светового потока на 3,7%, при этом срок службы сокращается на 15%. Повышение напряжения на 3% уменьшает срок службы ламп на 30%. Снижение напряжения на 5% приводит к уменьшению

ISSN 3030-3907

светового потока на 18%, а снижение на 20% практически ограничивает возможность запуска люминесцентных ламп.

Несимметрия напряжений и токов оказывает негативное влияние на работу устройств релейной защиты и автоматики. В несимметричном режиме токи нулевой последовательности постоянно протекают через заземляющие устройства, ухудшая их функционирование, что приводит к высыханию грунта и увеличению сопротивления заземляющей системы. При работе трехфазной системы в несимметричном режиме снижается пропускная способность элементов сети, возникает дополнительный нагрев электрических машин, а также увеличиваются активная мощность и потери электроэнергии в системах электроснабжения. Несимметрия токов вызывает несимметрию напряжений, что, в свою очередь, приводит к отклонениям фазных и линейных напряжений сети. Несимметрия напряжений оказывает существенное влияние на низкочастотные каналы проводной связи, сигнализации и автоблокировки.

Обеспечение рационального и эффективного использования энергетических ресурсов и энергии является одним из способов достижения важных экономических и социально значимых целей. Повышение качества электроэнергии в промышленных и бытовых электрических сетях позволяет снизить потери электроэнергии до уровня, установленного нормативными документами.

Качество электрической энергии в настоящее время стало общепринятым и достаточно четко определенным понятием в области электроснабжения потребителей. Увеличение числа электроприемников с нелинейными и несимметричными нагрузками в транспорте и повседневной жизни, а также рост их установленной мощности, развитие технологического оборудования в промышленности приводят к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения. В результате этого снижается эффективность работы как самих систем электроснабжения, так и подключенных к ним потребителей. Следствием является то, что электрическое оборудование, рассчитанное на работу при определенных характеристиках электрической энергии, во многих случаях эксплуатируется в неэффективных режимах, что приводит к ряду негативных последствий [7]:

- увеличение потерь во всех элементах системы;
- рост потребления электрической энергии;
- увеличение требуемой мощности электрического оборудования;
- сокращение срока службы электрических устройств (выход их из строя);
- увеличение капитальных вложений в системы электроснабжения;

ISSN 3030-3907

•ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики;

•нарушения в работе электронных систем управления и вычислительной техники;

•искажения в линиях связи;

•нарушение нормального хода производственного процесса и порча продукции.

Одним из факторов, увеличивающих потери в электрических сетях и распределительных элементах, является несимметрия токов и напряжений.

Влияние асимметрии токов и напряжений приводит к снижению качества электрической энергии, что вызывает экономический ущерб, связанный с ухудшением энергетических показателей, сокращением срока службы электрического оборудования, общим снижением надежности электрических сетей, увеличением потерь активной мощности, а также ростом потребления активной и реактивной мощности.

В сетях промышленных предприятий имеется большое количество потребителей с несимметричными и нелинейными нагрузками, а также устройств, чувствительных к нарушению уровня нагрузки. При ухудшении качества напряжения ухудшаются условия работы асинхронных и синхронных двигателей, силовых трансформаторов, конденсаторных батарей, систем освещения и других электрических установок, что приводит к увеличению потерь активной мощности.

В данной работе рассмотрим методы оценки дополнительных потерь, возникающих вследствие несимметрии токов и напряжений в различных элементах систем электроснабжения.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ СЕТИ

В линиях электропередачи, распределительных сетях и трансформаторах несимметрия токов снижает пропускную способность трехфазной системы. При несимметричной нагрузке одна из фаз оказывается перегруженной, в то время как другие работают в недогруженном режиме. При передаче электроэнергии в сетях низкого напряжения, если токи распределены по фазам несимметрично, потери мощности могут быть в три–четыре раза выше по сравнению с симметричным режимом.

Действительно, в симметричном режиме потери электрической энергии составляют $3I^2r$ где r — активное сопротивление однофазной линии. Если в одной фазе ток увеличивается, а в другой уменьшается на величину AI то потери возрастают следующим образом:

$$I^2r + (I + AI)^2r + (I-AI)^2r = 3I^2r + 2AI^2r \quad (1)$$

ISSN 3030-3907

В высоковольтных линиях (без нулевого провода), при пренебрежении токами нулевой последовательности, дополнительные потери, обусловленные только токами обратной последовательности, определяются следующим образом:

$$\Delta P_{qo'sh.l} = \Delta P_l K_{2i}^2 \quad (2)$$

Где ΔP_l– потери в высоковольтных электрических линиях (ВЛ) в симметричном режиме;, K_{2i}^2– коэффициент несимметрии по токам обратной последовательности.

Дополнительное увеличение потерь мощности в электрических линиях 0,38 кВ при несимметричной нагрузке по сравнению с симметричным режимом может быть оценено с использованием коэффициента $К_{НЕР}$, учитывающего неравномерность загрузки фаз. [1]:

$$\Delta P_{qo'sh.l} = \Delta P_l K_{ner} \quad (3)$$

Где $$K_{ner} = \frac{I_A^2+I_B^2+I_C^2}{3(I_A+I_B+I_C)^2} * \left(1 + 1{,}5\frac{r_{nt}}{r_f}\right) - 1{,}515\frac{r_{nt}}{r_f} = \frac{I_A^2+I_B^2+I_C^2}{3I_{sr}^2} * \left(1 + 1{,}5\frac{r_{nt}}{r_f}\right) - 1{,}51{,}5\frac{r_{nt}}{r_f} \quad (4)$$

r_{nt}, r_f - сопротивления нулевого и фазного проводников, I_A, I_B, I_C – измеренные фазные токи.

Для сети с изолированной нейтралью выражение для определения имеет следующий вид:

$$K_{ner} = \frac{I_A^2+I_B^2+I_C^2}{3(I_A+I_B+I_C)} = \frac{I_A^2+I_B^2+I_C^2}{3I_{sr}^2} \quad (5)$$

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Несимметрия в трансформаторах возникает вследствие несимметрии подводимого и выходного напряжений, а также несимметрии нагрузки. При несимметрии напряжения под «полезной» мощностью трансформатора понимают мощность, соответствующую токам прямой последовательности. Мощность, соответствующая токам прямой последовательности, при достижении в одной из обмоток полного тока номинального значения, обычно принимается как номинальная мощность трансформатора.

В трансформаторах с большим сопротивлением для токов нулевой последовательности при несимметрии токов (например, при соединении обмоток по схеме «звезда с заземлённой нейтралью») дополнительные потери, обусловленные магнитными потоками нулевой последовательности, могут достигать 25–35% потерь холостого хода. В этом режиме падение напряжения составляет 15–20% вместо 4% в симметричном режиме.

Магнитные потоки, создаваемые токами нулевой последовательности, замыкаются через бак, крышку и другие ферромагнитные части

ISSN 3030-3907

трансформатора, что приводит к его дополнительному перегреву. Повышенный нагрев ухудшает условия охлаждения активных частей трансформатора, что вызывает перегрев изоляции обмоток сверх допустимых норм, и трансформатор, даже при нагрузке ниже номинальной, может работать в условиях перегрузки вплоть до выхода из строя. Это приводит к необходимости увеличения расчетной номинальной мощности трансформаторов. Хотя данный эффект дает лишь ограниченный положительный результат, он позволяет существенно снизить уровень напряжения и потери электрической энергии в сети. При несимметричной нагрузке также наблюдается увеличение уровня шума трансформаторов.

Дополнительные потери мощности в сети, вызванные несимметрией токов, характеризуются коэффициентом увеличения потерь мощности KPK_PKP:

$$К_Р=АР_Н/АР_с=1 + К^2_{21} + К_{01}* r_0/r \quad (6)$$

Где $АР_Н$- в несимметричных режимах потери мощности в сети, $АР_с$- активные потери мощности в сети, обусловленные протеканием токов прямой последовательности, $К_{21}$- коэффициент несимметрии токов обратной последовательности, $К_{01}$- коэффициент несимметрии токов нулевой последовательности и r0, r – сопротивления нулевой и прямой последовательностей.

В силовых трансформаторах дополнительные потери активной мощности, вызванные несимметрией режима, обусловлены протеканием токов обратной последовательности. Они могут быть определены по следующей формуле:

$$\Delta P_{qo'sh.tr} = K_{2u}^2(\Delta P_{sl} + \frac{\Delta P_{kz}}{U_{kz}^2}) \quad (7)$$

Где ΔP_{sl} – потери холостого хода;
ΔP_{kz}– потери короткого замыкания;
U_{kz}^2– напряжение короткого замыкания.

При отсутствии возможности определения точных паспортных характеристик трансформаторов или выполнения расчётов для группы однотипных трансформаторов дополнительные потери активной мощности могут быть определены следующим образом:

$$\Delta P_{qo'sh.tr} = K'_{tr}K_{2u}^2 S_n \quad (8)$$

Здесь Sn— номинальная полная мощность силового трансформатора; ktr — коэффициент, зависящий от мощности и типа трансформатора.

КОНДЕНСАТОРНЫЕ БАТАРЕИ

В установках компенсации реактивной мощности дополнительные потери, возникающие вследствие несимметрии напряжения в электрических

ISSN 3030-3907

сетях и у потребителей, составляют относительно небольшую долю. Однако даже эти потери могут приводить к заметному повышению температуры конденсаторов и сокращению их срока службы.

Дополнительные потери в конденсаторных установках, обусловленные несимметрией напряжения, определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_{qo'sh.kon} = K_{2u}^2 Q_n tg\delta \quad (9)$$

Здесь Qn— номинальная реактивная мощность конденсаторной установки; tan δ— угол диэлектрических потерь.

При отсутствии данных о величине диэлектрических потерь для конденсаторных батарей допускается использование коэффициента ku, значение которого принимается на основе данных о работе группы однотипных элементов и рекомендуется принимать ku=0,003 [7]. Таким образом, выражение (7) принимает следующий вид:

$$\Delta P_{qo'sh.kon} = K'_{ku} K_{2u}^2 Q_n \quad (10)$$

Асинхронные и синхронные электродвигатели

К числу потребителей, наиболее чувствительных к отклонениям качества напряжения, относятся асинхронные и синхронные электродвигатели, которые составляют основную долю нагрузки промышленных предприятий (более 50–60%) [7]. Дополнительные потери в электрических машинах подразделяются на основные и дополнительные. Основные потери в электрических машинах возникают в результате электромагнитных и механических процессов, протекающих в них. К ним относятся потери в обмотках, потери в активной стали, обусловленные основным магнитным потоком, а также механические потери [4].

Даже незначительная несимметрия напряжений на зажимах асинхронных двигателей приводит к существенному увеличению потерь активной мощности вследствие их низкого сопротивления токам обратной последовательности, что, в свою очередь, вызывает дополнительный нагрев обмоток. Дополнительные потери в электрических машинах, вызванные несимметрией напряжения, могут быть определены по упрощённой формуле:

$$\Delta P_{qo'sh.AD} = K'_{AD} K_{2u}^2 P_n \quad (11)$$

Здесь k′ — коэффициент, зависящий от типа электрической машины; K2U— коэффициент несимметрии напряжения; Rn — номинальное напряжение электродвигателя.

Для асинхронных электродвигателей коэффициент k′ может быть определён следующим образом:

$$K'_{AD} = 2{,}41 K_{AD} \quad (12)$$

ISSN 3030-3907

Здесь kAD— безразмерный коэффициент, зависящий от параметров конкретного двигателя (номинальной мощности, потерь в обмотке статора, кратности пускового тока).

Коэффициент kAD обратно пропорционален величине номинальной мощности асинхронного электродвигателя. Для различных отраслей промышленности средние значения коэффициента kAD изменяются в пределах от 1,07 до 2,91, при этом для промышленности в целом рекомендуется принимать kAD=1,85 [7].

Дополнительные потери активной мощности, связанные с несимметрией напряжения, не зависят от нагрузки двигателя и определяются на основе выражений (1) и (2) с учетом следующих параметров:

$$\Delta P_{qo'sh.AD} = 2{,}41 K_{AD} K_{2u}^2 P_n \qquad (13)$$

В синхронной машине дополнительные потери активной мощности, вызванные несимметрией, возникают как в статоре, так и в роторе. Однако потерями в статоре, обусловленными несимметрией напряжения, можно пренебречь, поскольку их величина значительно меньше потерь в роторной обмотке. Таким образом, дополнительные потери мощности могут быть определены в зависимости от коэффициента асимметрии напряжения следующим образом:

$$\Delta P_{qo'sh.CD} = K_{CD} K_{2u}^2 P_n \qquad (14)$$

Здесь kСД— коэффициент, зависящий от типа электрической машины; K2U— коэффициент несимметрии напряжения; Pn — номинальная мощность электродвигателя.

Коэффициент kСД принимается равным: для турбогенераторов — 1,856; для гидрогенераторов и синхронных электродвигателей — 0,681 (0,273); для синхронных компенсаторов — 1,31 [7].

Коэффициенты kСД и kAD целесообразно применять для расчёта дополнительных потерь активной мощности в системах, содержащих большое количество электрических машин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Особый интерес представляет расчет дополнительных потерь активной мощности, возникающих вследствие отклонения показателей качества электрической энергии от нормативных параметров [1–3]. В условиях несимметричного режима работы величины дополнительных потерь мощности в отдельных элементах распределительной сети, обусловленные снижением показателей качества электроэнергии, необходимы для оценки их доли в общей величине указанных потерь, а также для определения экономического ущерба. Без таких оценок сложно выполнить

ISSN 3030-3907

предварительные расчеты экономической целесообразности мероприятий по повышению качества электрической энергии.

Приведённые выше факторы ухудшают технико-экономические показатели процессов передачи, преобразования и потребления электрической энергии и нередко приводят к аварийным ситуациям в системах электроснабжения. В этой связи, в соответствии с ГОСТ 13109-97, устанавливающим нормы качества электрической энергии, допустимое значение несимметрии напряжения у потребителей, подключённых к электрическим сетям общего назначения, не должно превышать 2%. Максимально допустимое значение несимметрии напряжения не должно превышать 4%. С одной стороны, рост мощности однофазных нагрузок, а с другой — повышение требований к качеству электрической энергии обуславливают необходимость разработки и исследования высокоэффективных методов и технических средств симметрирования, что имеет важное значение для эффективного функционирования предприятий любого назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
2. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
3. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
4. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
5. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
6. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.

ISSN 3030-3907

7. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
8. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
9. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.
10. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
11. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.
12. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
13. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
14. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
15. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.
16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
17. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.

ISSN 3030-3907

18. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
19. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.
20. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.
21. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
22. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
23. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
24. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
25. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.
26. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
27. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., & Kurbonov, N. & Mukimov, B.(2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171).

ISSN 3030-3907

28. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
29. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.
30. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.
31. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.
32. Muminov, A., Yusupov, D., Kutbidinov, O., Mukhammadjonov, M., Norboev, A., Zaynieva, O., ... & Radjabov, S. (2026, May). Development and analysis of a health index-based multi-criteria assessment model for power transformer condition monitoring. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3447, No. 1, p. 040011). AIP Publishing LLC.

ISSN 3030-3907

МЕДИКАМЕНТОЗНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПРИ ПЕРЕЛОМАХ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ РЕПАРАТИВНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Якубов Ш.Н.
Кафедра челюстно-лицевойхирургии,Ташкентский государственный медицинский университет,
https://orcid.org/0000-0002-9834-4965
Рузикулов Н.Ё
Кафедра педиатрии №2, Самаркандский государственный медицинский университет
https://orcid.org/0009-0002-5771-4736

Аннотация. Переломы нижней челюсти превалируют в структуре травматизма челюстно-лицевой области. Тенденция снижения эффективности применяемой лекарственной терапии из-за явления антибиотикорезистентности, нарушения кальций-фосфорного обмена и т.д. обуславливает необходимость обновление схемы медикаментозной терапии при переломах нижней челюсти. Исследование посвящено анализу данных научной литературы по изучению эффективности включения различных традиционных лекарственных препаратов в состав комплексного лечения переломов нижней челюсти.

Ключевые слова: переломы нижней челюсти, репаративная регенерация, остеогенез, антибиотикорезистентность, гомеопатические препараты.

Abstract. Fractures of the mandible prevail in the structure of injuries of the maxillofacial region. The tendency to decrease the effectiveness of the drug therapy used due to the phenomenon of antibiotic resistance, violations of calcium-phosphorus metabolism, etc. necessitates updating the scheme of drug therapy for fractures of the mandible. The study is devoted to the analysis of scientific literature data on the study of the effectiveness of the inclusion of various traditional medicines in the complex treatment of mandibular fractures.

Keywords: fractures of the mandible, reparative regeneration, osteogenesis, antibiotic resistance, homeopathic preparations.

Annotatsiya. Pastki jag‘ sinishlari yuz-jag‘ sohasi travmatizmi tarkibida ustunlikKalit so‘zlar: pastki jag‘ sinishlari, reparativ regeneratsiya, osteogenez, antibiotiklarga chidamlilik, gomeopatik preparatlar.rapiyasi samaradorligining pasayish tendentsiyasi pastki jag‘ sinishida dori terapiyasi sxemasini yangilash zaruratini keltirib chiqarmoqda. Tadqiqot pastki jag‘ sinishlarini kompleks davolash tarkibiga turli an’anaviy dori vositalarini kiritish samaradorligini o‘rganish bo‘yicha ilmiy adabiyotlar ma’lumotlarini tahlil qilishga bag‘ishlangan.

Kalit so‘zlar: pastki jag‘ sinishlari, reparativ regeneratsiya, osteogenez, antibiotiklarga chidamlilik, gomeopatik preparatlar.

ВВЕДЕНИЕ.

Рост травматизма в связи с усиленной урбанизацией населения является актуальной проблемой современной медицины. Доля переломов костей челюстно-лицевой области стабильно увеличивается и в среднем составляет 6-8% от общего числа травм. В свою очередь, переломы нижней челюсти превалируют в структуре травматизма челюстно-лицевой области. По данным различных аторов, частота переломов нижней челюсти в настоящее время колеблется от 70 до 85% от общего количества повреждений костей лицевого скелета [8, 12].

Важной медико-социальной задачей является снижение частоты развития осложнений у больных с переломами нижней челюсти и сокращение сроков их нетрудоспособности. В составе комплексного лечения переломов нижней челюсти неотъемлемой частью является медикаментозная терапия, направленная на уменьшение болевых ощущений, ликвидацию локального отёка, предотвращение развития воспалительных процессов, стимуляцию заживления перелома и консолидации отломков [1].

В настоящее время отмечается тенденция снижения эффективности применяемой лекарственной терапии, обусловленная несколькими факторами, одним из которых является развитие у пациентов антибиотикорезистентности из-за регулярного бесконтрольного приёма антибактериальных препаратов, частых явлений нарушения кальций-фосфорного обмена и т.д. Поэтому важной задачей является обновление схемы медикаментозной терапии и подбор наиболее оптимальных препаратов, создающих благоприятные условия для заживления перелома челюсти.

Таким образом, реабилитация больных при повреждениях костных структур челюстно-лицевого скелета является одним из актуальных вопросов современной травматологии челюстно-лицевой области и требует новых подходов, методов диагностики, лечения и профилактики осложнений.

ЦЕЛЬЮ данной работы являлся анализ данных научных исследований и клинических случаев по изучению эффективности включения различных традиционных лекарственных препаратов в состав комплексного лечения переломов нижней челюсти.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Изначально А.А.Корж и соавт. (1972) выделили 4 последовательные фазы репаративной регенерации: I фаза – разрушение клеточных элементов и структур, входящих в состав кости; II фаза – пролиферации и дифференцировки клеточных элементов; III фаза –

ISSN 3030-3907

появление первичной костной структуры (первичной костной мозоли); IV фаза – образование пластинчатой костной ткани (вторичной костной мозоли) [5].

Далее, согласно исследованиям ряда авторов, было обнаружено, что процесс репаративной регенерации состоит из 5 стадий [6]: I стадия – деструктивно-резорбтивная (1-2 дня после перелома); II стадия – сочетание дегенеративно-воспалительной и пролиферативной стадий (3-8 дней); III стадия – синтетическая стадия (9-14 дней); IV стадия – стадия ремоделирования (15-21 день); V стадия – стадия созревания костной мозоли (22-28 дней).

Выделение стадий заживления места перелома и назначение корректной схемы медикаментозного лечения позволяет оптимизировать процесс репарации, избежать возникновения осложнений и сократить сроки лечения. Стимуляция остеогенеза препаратами на соответствующих стадиях репаративной регенерации способствует формированию полноценного костного регенерата и дифференциации клеточных элементов.

С точки зрения морфологии, Воронович И.Р. и соавт. (1994) регенерацию костной ткани в линии перелома представили следующим образом: 1) две недели после травмы – рассасывание концов костных отломков (к 10-м суткам место перелома заполняет остеобластическая, а местами и хондроидно-хрящевая ткань); 2) на 15-30 сутки после перелома концы костных отломков соединяются между собой молодой губчатой костной тканью, а костные балки регенерата переходили без резких границ в костную ткань отломков; 3) с 30 по 45 день – губчатая кость тесно переплетается с тканью концов отломков и в костной ткани отломков отмечались явления перестройки (могут сохраняться участки фиброзной и хондроидной ткани); 4) с 45 по 60-е сутки участки фиброзной и хондроидной ткани исчезали и замещались костными балками; 5) с 60-х суток регенерат состоял из костных балок и охватывал кость периостально в месте перелома в виде муфты.

Основной целью медикаментозной терапии является снижение болей и посттравматического отёка мягких тканей, профилактика осложнений, ускорение заживления костной раны. Для реализации целей применяется антибактериальная, противовоспалительная, десенсибилизирующая (противоаллергическая) терапия, а также физиотерапия, витаминотерапия и препараты кальция.

Особую роль играют меры по профилактике развития воспалительных процессов в области перелома. В связи с этим в различных клинических протоколах на всех стадиях репаративного остеогенеза назначают

ISSN 3030-3907

антибактериальные препараты (сульфаниламиды, антибиотики и др.). Но бесконтрольный приём антибиотиков приводит к дисбиозу в желудочно-кишечном тракте, развитию явления антибиотикорезистентности и другим побочным эффектам. Регулярные полоскания полости рта растворами антисептиков являются неотъемлемой частью комплексного лечения переломов челюстных костей независимо от стадии репаративной регенерации.

Кроме этого, для стимуляции иммуногенеза и повышения неспецифической резистентности организма назначают пиримидиновые производные (метилурацил, пентоксил) или анаболические препараты стероидной (ретаболил, метандростенолон) и нестероидной (оротат калия) структуры.

Согласно некоторым авторам, с первых дней лечения рекомендовано назначение следующих физиотерапевтических методов: микроволновую терапию (при невыраженном отеке); атермическую дозу электрического поля УВЧ или электромагнитное поле СВЧ (при отеках); облучение ультрафиолетовыми лучами (при нарушении целостности кожи или слизистой оболочки полости рта); электрофорез анестетиков (при болях).

Известно, что травма нижней челюсти сопровождается нарушением минерального обмена. Отмечается стойкое снижение содержания солей кальция в костной ткани, что подтверждено рядом исследований. Обнаружено, что в течение первой недели после травмы уровень фосфора снижается, на второй неделе – повышается, на третьей – опять снижается, а затем нормализуется. В этот период больным назначают электрофорез кальция и фосфора. Данную процедуру рекомендуют сочетать с общим ультрафиолетовым облучением. Стимулирует консолидацию костной мозоли применение ультразвука, тепловых процедур или аппликации парафина, озокерита, бишофита, лечебной грязи. Но ряд противопоказаний к применению физиотерапии ограничивают широкое применение данных методов, несмотря на их эффективность и доступность [7].

Швырков М.Б. (2012) подчёркивает необходимость разработки критериев, позволяющих выявлять тип регенерации у конкретного индивида, т.е. устанавливать генетический потенциал его регенераторной способности. В исследовании было изучено влияние различных веществ на течение процесса регенерации костной ткани на месте экспериментальной модели перелома. Было установлено, что ретаболил, дексаметазон, тестостерон и витамин Е ухудшают остеоиндуктивный потенциал кости, способствуют возникновению травматического остеомиелита, замедляют сращение отломков и, следовательно, их применение в первые дни после травмы

ISSN 3030-3907

нежелательно. Прочность сращения отломков у животных, получавших паратиреоидный гормон, была достоверно значительно выше, чем у животных, получавших метилурацил. Целесообразность применения в ранние сроки после перелома витамина А и кальцитонина сомнительна, так как их действие, по-видимому, опосредовано через синтез остеоиндуктивного фактора, а этот процесс требует определённого промежутка времени. Поэтому они показаны со второй трети регенераторного периода, т.е. в синтетической стадии. Но их применение, как и индометацина, по крайней мере, безвредно. При этом положительные результаты дали введение паратиреоидного гормона и активного витамина D3 – кальцитриола. Автор утверждает, что следует отказаться от существующей во многих лечебно-профилактических учреждениях практики назначения 1-2 стимуляторов остеогенеза (гормона, витаминов, метилурацила и пр.) на весь период сращения фрагментов челюсти ввиду своей нецелесообразности и отрицательного влияния на процесс консолидации отломков.

В настоящее время популярным и в то же время спорным направлением альтернативной медицины является применение гомеопатических препаратов. В гомеопатии используются сильно разведённые препараты, действующее вещество которых якобы вызывает у здоровых людей симптомы, подобные симптомам болезни пациента. Концепция лечения по принципу «подобное излечивается подобным» противопоставляется гомеопатами принципам рациональной фармакотерапии.

Особый интерес представляет гомеопатический препарат Траумель С (Biologische Heilmittel Heel GmbH/«Биологише Хайльмиттель Хеель ГмбХ»). Препарат включает в свой состав ряд растительных и минеральных компонентов, потенцирующих друг друга и обусловливающих широкий спектр действия препарата (противовоспалительное, аналгезирующее, антиэкссудативное, кровоостанавливающее, регенерирующее и иммуномодулирующее действие). Траумель С выпускается в виде мази для наружного применения, капель для приема внутрь, ампул с раствором для внутримышечного и околосуставного введения, таблеток для рассасывания.

Марьяновский А.А. (2016) изучил ряд исследований по эффективности применения данного прапарата в комплексной терапии различных нозологий. Так, согласно результатам обзора, в доклинических исследованиях Траумель С продемонстрировал широкий спектр противовоспалительных и иммуномодулирующих свойств in vitro и in vivo. При использовании на животных также показано антиоксидантное воздействие препарата и его влияние на заживление ран. Рассмотренные

ISSN 3030-3907

клинические исследования препарата Траумель С включали 6 рандомизированных контролируемых исследований, 19 нерандомизированных контролируемых исследований, а также 4 когортных исследования. Существует также немало описаний клинических случаев использования данного препарата. Все галеновые формы препарата Траумель С (раствор для инъекций, таблетки, капли, мазь) были изучены в широком диапазоне зарегистрированных и незарегистрированных показаний [9, 10, 11].

A.Conforti и соавт. на экспериментальной модели обнаружили, что Траумель С уменьшает развитие местного отека, локально ингибирует острый воспалительный процесс, его действие отличается от действия традиционных противовоспалительных средств. Кроме этого, S.Lussignoli и соавт. на модели отека продемонстрировали уменьшение отека и значимое уменьшение выработки интерлейкина-6 по сравнению с солевым раствором.

H.Enbergs установил выраженный эффект препарата в отношении фагоцитоза, что говорит о наличии иммуностимулирующего действия препарата, но способность влиять на активность лимфоцитов была не выраженной и менее стойкой.

S.Porozov и соавт. обнаружили, что Траумель С ингибирует секрецию медиаторов воспаления ИЛ-1b (в эпителиальных клетках кишечника), фактор некроза опухоли a (вырабатываемого Т-клетками) и ИЛ-8 (вырабатываемого моноцитами), не влияя на пролиферацию Т-лимфоцитов и моноцитов. Таким образом, применение препарата Траумель С не приводит к угнетению активности иммунных клеток и препарат не обладает прямым токсическим эффектом, обратная зависимость выраженности эффекта от дозы позволяет предположить, что Траумель С обладает иммуномодулирующим действием [4].

Пашковская А.Э. и соавт. (2011) утверждают, что противовоспалительная активность препарата Траумель С сравнима с эффективностью классических нестероидных противовоспалительных средств (НПВС), но при этом гомеопатический препарат Траумель С имеет меньше побочных действий, что в значительной степени расширяет масштаб его применения [3].

Согласно Зорян А.В. (2004) местное применение мази Траумель С в отличие от геля Флексен и 10% бутадионовой мази повышает содержание IgA и slgA в слюне пациентов, страдающих катаральным гингивитом и пародонтитом, что свидетельствует об улучшении состояния местного иммунитета в полости рта при использовании данного препарата [2].

ISSN 3030-3907

ВЫВОДЫ. Составление корректной схемы медикаментозной терапии с учётом фаз репаративной регенерации в составе комплексного лечения переломов челюстных костей, безусловно является важной составляющей, обеспечивающей успех проводимых манипуляций. Наличие противопоказаний, развитие устойчивой антибиотикорезистентности к антибактериальным препаратам, которые существенно ограничивают применение классических схем лекарственной терапии, говорят о необходимости поиска другого более эффективного лекарственного средства. Вышеперечисленные результаты исследований эффективности применения препарата Траумель С в различных лекарственных формах свидетельствуют о его положительном влиянии на звенья воспалительного процесса и состояние местного иммунитета, что указывает на перспективу расширения областей его применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахроров А., Шомуродов К., Кубаев А. Оказание квалифицированной медицинской помощи пострадавшим от дорожно-транспортных происшествий с челюстно-лицевой травмой //Журнал стоматологии и краниофациальных исследований. – 2020. – Т. 1. – №. 2. – С. 52-58.
2. Зорян А.В. Сравнительная оценка эффективности местного применения различных групп противовоспалительных препаратов при катаральном гингивите и пародонтите легкой степени: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М 2004.
3. Пашковская А.Э., Иконникова И.Б., Янушевич О.О. Антигомотоксичный препарат Траумель С и его применение в медицине. Российская стоматология. 2011;4(2):4-7.
4. Пилипович А.А. Эффективность препарата Траумель® С с точки зрения доказательной медицины. Consilium Medicum. 2017; 19 (2): 157–162.
5. Тимофеев А.А. Челюстно-лицевая хирургия и хирургическая стоматология: в 2 книгах. Всеукраинское специализированное издательство «Медицина», 2020. 992 с.
6. Швырков М.Б. Стадийность регенерации кости и основы фармакологической коррекции репаративного остеогенеза нижней челюсти. Стоматология. 2012;91(1):9-12.
7. Шомуродов К. Э. и др. ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ИММОБИЛИЗАЦИИ НА СОСТОЯНИЕ КОСТНОГО МЕТАБОЛИЗМА ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПЕРЕЛОМОВ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У ДЕТЕЙ //Редакционная коллегия. – С. 121.
8. Шомуродов К.Э., Мирхусанова Р.С. Совершенствование хирургического лечения переломов нижней стенки орбиты. БГМУ. – 2020 – С. 660-664.

ISSN 3030-3907

9. González de Vega C, Gonzáles J. A randomized, controlled, multicenter study on the effectiveness of Traumeel (ointment and gel) in terms of pain reduction and function improvement compared with diclofenac gel in acute ankle sprain. Ann Rheum Dis 2012; 71 (Suppl. 3): SAT0423
10. González de Vega C, Speed C, Wolfarth B, González J. Traumeel vs. diclofenac for reducing pain and improving ankle mobility after acute ankle sprain: A multicentre, randomised, blinded, controlled and non-inferiority trial. Int J Clin Pract 2013; 67 (10): 979–89.
11. Lozada C, del Rio E, Reitberg DP et al. Risk-benefit of co-administered Traumeel® (Tr14) and ZeelR (Ze14) intra-articular (IA) injections in patients with moderate-to-severe pain associated with OA of the knee (OAK) (THU0441). Ann Rheum Dis 2015; 74 (Suppl. 2): 4268.
12. Musaev S. S., Shomurodov K. E., Husanov D. R. Etiology Of Complications Of Mandibular Fractures In Children //KRS Journal of Medicine. – 2022. – Т. 2. – №. 3. – С. 49-52.

ISSN 3030-3907

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО ПИГМЕНТА ИЗ РАСТВОРА BIOX И ОЧИСТКИ ПИГМЕНТА ОТ МЫШЬЯКА

Тошкодирова Рано Эркинжоновна
Алмалыкский государственный технический институт PhD, доцент
г. Алмалык, Республика Узбекистан
***E-mail:* toshkodirova.r@odti.uz,**
Кенжаева Севара Абсаматовна
Алмалыкский государственный технический институт, докторант,
E-mail:* kenjayeva.s@odti.uz *г.
Алмалык, Республика Узбекистан,
Караева Рузанна Серверовна,
Алмалыкский государственный технический институт, студентка 2-курса
г. Алмалык, Республика Узбекистан
Ниёзмамадова Нигина Саид кизи
Алмалыкский государственный технический институт, студентка 1-курса
г. Алмалык, Республика Узбекистан

Аннотация. В работе оценена термодинамическая возможность удаления мышьяка из железооксидных пигментов, полученных из техногенных растворов после нейтрализации продуктов биоокисления на ГМЗ-3 НГМК. Повышенное содержание мышьяка (3,29 %) потребовало его селективной очистки для обеспечения экологической безопасности. Расчёты свободной энергии Гиббса для реакций с Na_2S при 25–120 °C показали, что соединения железа устойчивы, тогда как мышьяксодержащие фазы легко переходят в сульфиды. Оптимальные условия удаления мышьяка достигаются при 40–60 °C. Полученные результаты важны для экологически безопасного применения пигментов и совершенствования технологий переработки металлургических отходов.

Ключевые слова: биоокисление, техногенный раствор, железооксидный пигмент, мышьяк, сульфид натрия, энергия Гиббса, термодинамический анализ, селективная очистка, оптимальная температура, экологическая безопасность.

Abstract. The study evaluates the thermodynamic feasibility of removing arsenic from iron oxide pigments obtained from technogenic solutions after neutralization of bio-oxidation products at GMZ-3 of NGMK. The elevated arsenic content (3.29%) required its selective removal to ensure environmental safety. Calculations of Gibbs free energy for reactions with Na_2S at 25–120 °C showed that iron

compounds remain stable, whereas arsenic-containing phases readily convert into sulfides. Optimal conditions for arsenic removal are achieved at 40–60 °C. The results obtained are important for the environmentally safe use of pigments and for improving technologies for processing metallurgical waste.

Keywords: bio-oxidation, technogenic solution, iron oxide pigment, arsenic, sodium sulfide, Gibbs free energy, thermodynamic analysis, selective purification, optimal temperature, environmental safety.

Annotatsiya. Ushbu ishda NKMK GMZ-3 korxonasida biooksidlanish mahsulotlarini neytrallashdan so‘ng hosil bo‘lgan texnogen eritmalardan olingan temir oksidli pigmentlardan mishyakni olib tashlashning termodinamik imkoniyati baholandi. Mishyakning yuqori miqdori (3,29 %) ekologik xavfsizlikni ta’minlash maqsadida uni selektiv ravishda ajratib olishni talab qildi. 25–120 °C harorat oralig‘ida Na_2S bilan sodir bo‘ladigan reaksiyalar uchun Gibbs erkin energiyasi hisob-kitoblari temir birikmalari barqarorligini saqlab qolishini, mishyak saqlovchi fazalar esa osonlik bilan sulfidlarga aylanishini ko‘rsatdi. Mishyakni samarali olib tashlash uchun optimal sharoitlar 40–60 °C haroratda kuzatildi. Olingan natijalar pigmentlardan ekologik jihatdan xavfsiz foydalanish hamda metallurgiya chiqindilarini qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: biooksidlanish, texnogen eritma, temir oksidli pigment, mishyak, natriy sulfidi, Gibbs erkin energiyasi, termodinamik tahlil, selektiv tozalash, optimal harorat, ekologik xavfsizlik.

ВВЕДЕНИЕ.

Биологическое окисление — это микробиологическая деструкция сульфидных минералов специализированными микроорганизмами, преимущественно Acidithiobacillus ferrooxidans, A. thiooxidans и Leptospirillum ferrooxidans. Процесс включает стадии промывки, сгущения биокека и нейтрализации кислых сточных вод. Основные минералы — пирит и арсенопирит, содержащие золото в виде субмикроскопических включений, что затрудняет его извлечение традиционным цианированием. Микроорганизмы окисляют Fe^{2+} до Fe^{3+} и сульфиды серы до сульфатов, используя кислород и CO_2 как источники энергии и углерода. Оптимальные условия их активности: температура 40–44 °C и pH 1,2–1,6. Реакции окисления экзотермичны, поэтому для поддержания стабильной температуры пульпы требуется охлаждение. При окислении пирита образуется серная кислота, тогда как окисление арсенопирита сопровождается её потреблением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Биологическое окисление является экономически эффективным и экологически безопасным методом

ISSN 3030-3907

переработки золотосодержащих сульфидных концентратов (пирит, арсенопирит, пирротин). Процесс основан на окислении сульфидных минералов хемолитотрофными микроорганизмами (Acidithiobacillus thiooxidans, Leptospirillum ferriphilum, Sulfobacillus thermotolerans и др.), использующими серу и её соединения как источник энергии при 38–42 °C [2–5, 7–8]. В результате разложения сульфидов соединения As, Fe и S переходят в жидкую фазу, плотность пульпы снижается, а потери твёрдой массы достигают 10–30 %. Для удаления растворённого железа и мышьяка твёрдый остаток промывают; недостаточная промывка снижает извлечение золота и увеличивает расход цианида.

Кислые стоки (pH <2), содержащие Fe^{3+}, As и H_2SO_4, нейтрализуют известняковой суспензией с образованием устойчивого арсената железа ($FeAsO_4$) и гипса. Нейтрализованный раствор используется повторно, а осадок направляется на извлечение ценных компонентов, обеспечивая малоотходную переработку. Комбинированная технология, включающая биологическое окисление, окислительный обжиг и сорбционное цианирование, успешно внедрена на НГМК, повышая извлечение золота. Основная проблема заключается в трудности разделения соединений Fe и As, что требует дальнейшего совершенствования методов экологической нейтрализации [6–12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.

Таблица 1.

Химический состав пигментного продукта, содержащего железо

№	Элемент	Масса (mass%)	№	Элемент	Масса (mass%)
1	Cl	0,0278	12	Cu	0,107
2	Mg	4,54	13	Zn	0,225
3	Al	0,83	14	As	3,29
4	Si	0,589	15	Se	0,0051
5	S	0,599	16	Sr	0,0365
6	Ca	7,5	17	Y	0,0029
7	Cr	0,014	18	Zr	0,25
8	Mn	0,0944	19	Cd	0,0014
9	Fe	63,5	20	Sn	0,0039
10	Co	0,198	21	Sb	0,129
11	Ni	0,0735	22	Te	0,0017

ISSN 3030-3907

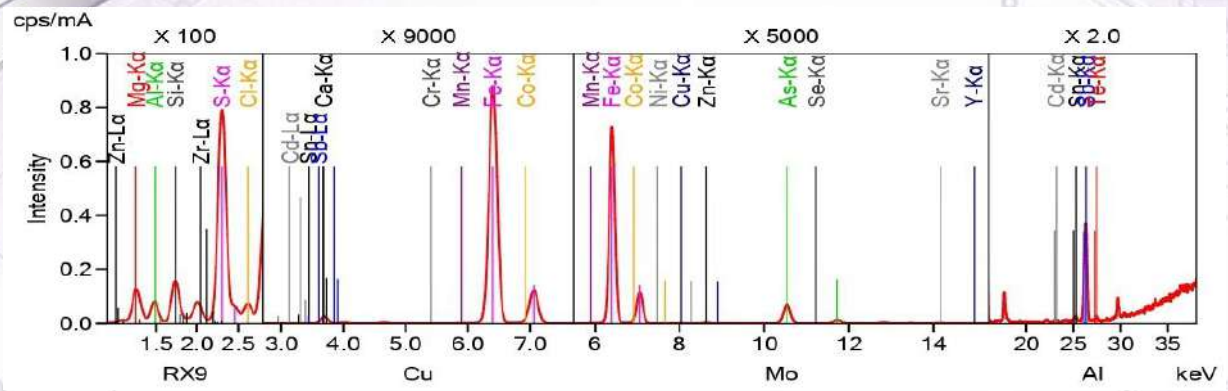


Рисунок 1. Рентгенофлуоресцентный (XRF) спектр химического состава пигмента, содержащего железо

Выделение мышьяка из железооксидного пигмента рассматривалось как ключевое направление исследования. Для этого проведён термодинамический анализ взаимодействия компонентов пигмента с сульфидом натрия (Na_2S), способным селективно переводить мышьяк в растворимую форму натрий арсенатов при минимальном воздействии на железо. Высокая адсорбционная способность FeOOH к мышьяку затрудняет их разделение, однако применение Na_2S разрушает связи Fe–As. Образующиеся сульфиды железа при последующей сушке в кислородной среде окисляются до гематита (Fe_2O_3), формируя стабильный, очищенный от серы и мышьяка пигмент.

Эффективность процесса подтверждена расчётами зависимости $\Delta G°$ от температуры для основных реакций на основе термодинамических данных ($\Delta H°$, $\Delta S°$, $\Delta G°_{298}$).

Полученные уравнения позволили оценить термодинамическую устойчивость взаимодействий между пигментом и сульфидом натрия, а также определить направление протекания процессов. Результаты расчётов приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Уравнения зависимости энергии Гиббса от температуры для реакций между компонентами пигмента и сульфидом натрия

№	Химические реакции	Уравнение энергии Гиббса, кДж/моль
1	$2Fe(OH)_3 + 3Na_2S = 2FeS + S + 6NaOH$	$\Delta G_1 = 502{,}4 - 0{,}00238*T$
2	$2As(OH)_3 + 3Na_2S = As_2S_3 + 6NaOH$	$\Delta G_2 = -164 + 0{,}247*T$
3	$2FeAsO_4 + 3Na_2S = 2FeS + S + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_3 = -283{,}342 + 0{,}3277*T$
4	$Fe_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3FeS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_4 = -183{,}0 + 0{,}308*T$
5	$As_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3[AsS_3]$	$\Delta G_5 = -1773{,}8 - 0{,}1664*T$
6	$Mg_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3MgS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_6 = 534{,}86 - 0{,}2117*T$

ISSN 3030-3907

7	$Ca_3(AsO_4)_2 + 3Na_2S = 3CaS + 2Na_3AsO_4$	$\Delta G_7 = -312{,}8 - 0{,}209*T$
8	$Mg(OH)_2 + Na_2S = MgS + 2NaOH$	$\Delta G_8 = 52{,}5 + 0{,}0547*T$
9	$Ca(OH)_2 + Na_2S = CaS + 2NaOH$	$\Delta G_9 = -175{,}0 + 0{,}07*T$

Результаты термодинамического анализа (табл.2) показали, что селективная очистка железосодержащего пигмента от мышьяка с использованием Na_2S термодинамический обоснована уже при стандартных условиях. Для реакции $Fe(OH)_3 + Na_2S$ значение $\Delta G° > 0$, что указывает на устойчивость железа в твёрдой фазе и отсутствие его потерь. Напротив, для соединений $As(OH)_3$, $FeAsO_4$ и $Fe_3(AsO_4)_2$ характерны отрицательные $\Delta G°$, подтверждающие возможность перехода мышьяка в сульфидные (As_2S_3) и тиометаллатные ($Na_3[AsS_3]$) формы. Особенно выражена термодинамическая вероятность реакции образования As_2S_3 ($\Delta G° = -1773{,}8 - 0{,}1664T$). Магнийсодержащие соединения ($Mg_3(AsO_4)_2$, $Mg(OH)_2$) не склонны к сульфированию ($\Delta G° > 0$), тогда как кальциевые — термодинамически активны ($\Delta G° < 0$). Таким образом, при обработке Na_2S железо сохраняется в твёрдой фазе, а мышьяк переходит в устойчивые растворимые соединения, что подтверждает селективность и энергетическую реализуемость процесса в диапазоне 25–120 °C.

В то же время для соединений железа, магния и кальция значения $\Delta G°$ остаются положительными, что подтверждает термодинамическую невыгодность их взаимодействия с сульфидом натрия. С практической точки зрения оптимальным признан температурный диапазон 40–60 °C, поскольку при этих условиях реакции обладают достаточной кинетической активностью, тогда как потери Na_2S за счёт испарения и выделения H_2S минимальны.

Таким образом, оптимальная температура для селективной очистки пигмента сульфидом натрия установлена в пределах 40–60 °C.

Проведённые термодинамические расчёты показали, что в техногенных растворах, образующихся после нейтрализации продуктов биоокисления на 3-м гидрометаллургическом заводе Навоийского горно-металлургического комбината, при щелочном осаждении железо остаётся в виде устойчивых гидроксидных соединений, тогда как мышьяк выделяется преимущественно в сульфидной (AsS_3) и тиометаллатной ($Na_3[AsS_3]$) формах. Эти результаты подтвердили термодинамическую обоснованность селективного удаления мышьяка и позволяет разработать теоретические основы и практические условия эффективного проведения процесса очистки.

Проведённый анализ может быть использован при разработке технологий переработки техногенных растворов, получения экологически

ISSN 3030-3907

безопасных пигментов и адсорбентов из металлургических отходов, а также для обезвреживания токсичных компонентов (мышьяка, селена и теллура) путём их перевода в сульфидную фазу.

Данный подход также может служить научной основой для создания технологий селективного извлечения тяжёлых металлов из техногенных растворов и их дальнейшей экономически эффективной переработки в процессах биоокисления, гидрометаллургии и охраны окружающей среды.

ВЫВОД. В результате проведённых исследований комплексно изучены фазовое состояние, химическая форма и возможности разделения соединений железа и мышьяка в техногенных растворах, образующихся после бактериального окисления упорных золотосодержащих сульфидных концентратов. В пигментных образцах, полученных после нейтрализации, основным компонентом идентифицирован гидроксид железа (III), при этом содержание мышьяка составило 3,29 %, что значительно превышает установленные экологические нормы. В связи с этим разработка технологии селективной очистки пигмента от токсичных компонентов определена как научная и практическая необходимость.

Результаты термодинамического анализа позволили установить характер взаимодействия между соединениями железа и мышьяка в присутствии сульфида натрия (Na_2S). Для $Fe(OH)_3$ и FeOOH значения энергии Гиббса во всём температурном диапазоне остаются положительными, что подтверждает термодинамическую устойчивость железа в твёрдой фазе. В то же время для мышьяксодержащих соединений ($As(OH)_3$, $FeAsO_4$, $Fe_3(AsO_4)_2$) получены отрицательные значения $\Delta G°$, указывающие на их способность вступать во взаимодействие с Na_2S с образованием термодинамически устойчивых сульфидных (As_2S_3) и тиометаллатных ($Na_3[AsS_3]$) комплексов.

Анализ изменения температуры в диапазоне 25–120 °C показал, что оптимальным является интервал 40–60 °C. В этом температурном диапазоне значения стандартной энергии Гиббса ($\Delta G°$) для мышьяксодержащих соединений наиболее отрицательны, что указывает на высокую термодинамическую активность реакций. При этом процессы испарения воды, потери сульфида натрия и выделения H_2S протекают на минимальном уровне.

Таким образом, процесс селективной очистки пигментов, образующихся из продуктов биоокисления, с использованием сульфида натрия протекает при температуре 40–60 °C в наиболее термодинамических благоприятных условиях. Полученные результаты создают надёжную научную основу для разработки экологически безопасной, малоотходной и

ISSN 3030-3907

экономически эффективной технологии очистки пигментов, а также рассматриваются как перспективное направление в рамках комплексной переработки металлургических отходов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Хожиев Ш.Т., Тошкодирова Р.Э., Кенжаева С.А. Термодинамическое обоснование селективной очистки железооксидного пигмента от мышьяка, полученного из биоокислительных растворов // Черные металлы. – 2026. – № 3 (1131). – С. 85–91.
2. Кенжаева С. А., Тошкодирова Р. Э. Исследование переработки растворов, образующихся при биологическом окислении упорных золотосодержащих руд // *Development of Science*. – 2025. – Т. 2. – № 6.
3. Тошкодирова Р.Э., Кенжаева С.А., Учкунов А.Т. Оптимизация параметров процесса экстракции при извлечении ионов тяжёлых металлов из растворов после биоокисления // International Journal of Scientific Bulletin. – 2026. – Т. 3. – № 1. – С. 24–29.
4. Кусков В. Б., Львов В. В., Юшина Т. И. Increasing the recovery ratio of iron ores in the course of preparation and processing // CIS Iron and Steel Review. — 2021. — Vol. 21. — P. 4–8.
5. Багилли, Г. И., Аббазова, К. М. Биологическое выщелачивание бактериями thiobacillus thiooxidans и thiobacillus ferrooxidans//. В сб.: Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2019. – С. 11–15.
6. Johnson, D. B. Biomining – biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials / D. B. Johnson // Current Opinion in Biotechnology. – 2014. – V. 30. – P. 24–31.
7. Кондратьева, Т. Ф., Булаев, А. Г., Муравьев, М. И. Микроорганизмы в биогеотехнологиях переработки сульфидных руд. – М.: Наука, 2015. – 212 с.
8. Орехова, Н. Н., Шадрунова, И. В. Эколого–экономические аспекты комплексной переработки техногенного гидроминерального сырья / Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2014. – С. 161−179.
9. Lottermoser, B. G. (2010). Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Springer.
10. Bulaev, A., Belyi, A., Panyushkina (Zhuravleva), A., Solopova, N., Pivovarova, T. Microbial Population of Industrial Biooxidation Reactors // Solid State Phenomena. – 2017. – Vol. 262. – P. 48–52.
11. Санакулов К. С. Особенности технологии извлечения металла из упорных и особо упорных золотосульфидно-мышьяковистых руд // Горный вестник Узбекистана. — 2014. — № 2. — С. 33–36.

ISSN 3030-3907

12. Митерев Г. А., Черкинский С. Н. Санитарная охрана водоёмов от загрязнения промышленными сточными водами. – М.: Медгиз, 1954. – 240 с.

ISSN 3030-3907

УДК: 372.881.161.1

ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА ПО РАЗВИТИЮ ЛИЧНОСТНО-КРЕАТИВНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ НАЧАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СОДЕРЖАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Солиев Илхомжон Собирович
Заведующий кафедрой начального образования и методики факультета педагогики-психологии и искусствоведения Ферганского государственного университета, доктор философии (PhD) по педагогическим наукам, доцент.
Tel: +998 90 580 01 77
E-mail: ilhombek0177@gmail.ru
Назирова Севара Бахтиер кизи
Студент 1 курса Магистратуры
Tel: +998888170407
E-mail: oymomohon0407@gmail.com
OPCID: 0009-0000-1556-6865

Аннотация. В статье представлено содержание и результаты опытно-экспериментальной работы по развитию личностно-креативной компетентности студентов, обучающихся по направлению «Начальное образование». Раскрываются структурные компоненты данной компетентности (мотивационно-ценностный, когнитивный, деятельностно-творческий, рефлексивный) и описывается авторская модель её формирования в условиях вуза. Экспериментальная работа включала диагностический, формирующий и контрольный этапы, в ходе которых апробировался комплекс педагогических условий (проблемно-творческие задания, проектная деятельность, рефлексивные практики). Представлен сравнительный анализ результатов контрольной и экспериментальной групп, подтверждающий положительную динамику и эффективность предложенной методики. Доказано, что целенаправленное развитие личностно-креативной компетентности способствует повышению профессиональной готовности будущих учителей начальных классов к инновационной педагогической деятельности.

Ключевые слова: личностно-креативная компетентность, студенты начального образования, опытно-экспериментальная работа, творческое развитие, профессиональная подготовка, педагогические условия, рефлексия.

Abstract. The article presents the content and results of experimental work on the development of personal-creative competence among students majoring in Primary Education. The author reveals the structural components of this competence

(motivational-value, cognitive, activity-based creative, and reflexive) and describes an original model for its formation in a university setting. The experimental work included diagnostic, formative, and control stages, during which a set of pedagogical conditions (problem-based creative tasks, project activities, reflexive practices) was tested. A comparative analysis of the results from the control and experimental groups is provided, confirming positive dynamics and the effectiveness of the proposed methodology. It is proven that the targeted development of personal-creative competence enhances the professional readiness of future primary school teachers for innovative pedagogical activities.

Keywords: personal-creative competence, primary education students, experimental work, creative development, professional training, pedagogical conditions, reflection.

Annotatsiya. Maqolada «Boshlang‘ich ta’lim» yo‘nalishida tahsil olayotgan talabalarning shaxsiy-ijodiy kompetentligini rivojlantirish bo‘yicha tajriba-sinov ishlarining mazmuni va natijalari keltirilgan. Ushbu kompetentlikning tarkibiy qismlari (motivatsion-qiymatli, kognitiv, faoliyatli-ijodiy, refleksiv) ochib berilgan va oliy o‘quv yurti sharoitida uni shakllantirishning mualliflik modeli tavsiflangan. Tajriba-sinov ishi diagnostika, shakllantirish va nazorat bosqichlarini o‘z ichiga olgan bo‘lib, ushbu bosqichlarda pedagogik shartlar majmui (muammoli-ijodiy topshiriqlar, loyiha faoliyati, refleksiv amaliyotlar) sinovdan o‘tkazildi. Nazorat va tajriba guruhlari natijalarining qiyosiy tahlili keltirilib, bu taklif etilgan metodikaning ijobiy dinamikasi va samaradorligini tasdiqlaydi. Maqsadli ravishda shaxsiy-ijodiy kompetentlikni rivojlantirish bo‘lajak boshlang‘ich sinf o‘qituvchilarining innovatsion pedagogik faoliyatga kasbiy tayyorgarligini oshirishga xizmat qilishi isbotlangan.

Kalit so‘zlar: shaxsiy-ijodiy kompetentlik, boshlang‘ich ta’lim talabalari, tajriba-sinov ishi, ijodiy rivojlantirish, kasbiy tayyorgarlik, pedagogik shartlar, refleksiya.

ВВЕДЕНИЕ.

Современный этап развития высшего педагогического образования в Республике Узбекистан характеризуется переходом к компетентностной модели подготовки кадров. Утверждённая Концепция развития высшего образования до 2030 года (Указ Президента РУз №ПФ-5847) и обновлённые Государственные образовательные стандарты предъявляют качественно новые требования к личности учителя начального образования. Ключевым требованием выступает способность педагога к творческой самореализации, генерации нестандартных педагогических решений, работе в условиях неопределённости [1; 2].

ISSN 3030-3907

Понятие «личностно-креативная компетентность» (ЛКК) рассматривается нами как интегративное профессионально-личностное качество, включающее:

мотивационно-ценностный компонент (интерес к творческой педагогической деятельности, ценностное отношение к инновациям);

когнитивный компонент (знания о методах творческого решения педагогических задач, о приёмах развития креативности);

деятельностно-творческий компонент (умение генерировать идеи, применять эвристические методы, адаптировать известные методики к новым условиям);

рефлексивный компонент (способность анализировать собственную творческую деятельность, выявлять и устранять стереотипы).

Актуальность исследования обусловлена противоречием между:

–социальным заказом на креативного, инновационно активного учителя начальных классов [3] и

–реальной ориентацией значительной части образовательных программ на формирование преимущественно алгоритмических, репродуктивных умений.

В связи с этим целью нашего исследования выступила теоретическая разработка, экспериментальная проверка и внедрение содержания, форм и методов развития ЛКК студентов начального образования (1 курс магистратуры) в условиях Ферганского государственного университета.

Гипотеза исследования: развитие ЛКК у студентов будет эффективным, если:

1. выявлены и реализованы структурные компоненты ЛКК;
2. разработана и апробирована модель её поэтапного формирования (диагностический → формирующий → контрольный этапы);
3. обеспечен комплекс педагогических условий: проблемно-творческие задания, междисциплинарные проекты, рефлексивный практикум, наставничество преподавателей кафедры начального образования.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Проблема креативности и творческой компетентности учителя разрабатывалась в трудах зарубежных учёных (Дж. Гилфорд, Э.П. Торренс, Р. Стернберг), российских и узбекских исследователей. В узбекской педагогической науке значительный вклад внесли: М.Ғ. Вахобов, Ж.Ғ. Йўлдошев, Н.А. Муслимов, Ш.С. Шарахов – в части компетентностного подхода и профессионального развития педагога [4; 5]. Однако целостных работ, посвящённых именно личностно-креативной компетентности студентов начального образования в магистратуре, недостаточно.

ISSN 3030-3907

Согласно исследованиям Л.С. Выготского, творчество развивается через культурно-исторический опыт и зону ближайшего развития. Адаптируя эту идею к вузовскому обучению, мы организовали «креативную развивающую среду» на базе кафедры начального образования и методики ФерГУ [6].

Для проверки гипотезы использовался комплекс теоретических и эмпирических методов:

Теоретические: анализ психолого-педагогической литературы, нормативно-правовых документов РУз (Государственные образовательные стандарты, Концепция развития высшего образования до 2030 года), синтез, моделирование.

Эмпирические:

–педагогический эксперимент (констатирующий, формирующий, контрольный этапы);

–диагностические методики: тест дивергентного мышления (адаптированный вариант методики Э.П. Торренса), опросник мотивации творческой деятельности (Т.М. Аминова), методика самооценки творческих способностей (А.А. Тулеева);

–наблюдение, анкетирование, беседа, анализ продуктов творческой деятельности (методических проектов, учебных заданий);

–методы математической статистики (критерий χ^2 Пирсона, t-критерий Стьюдента).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

На начальном этапе эксперимента была проведена диагностика исходного уровня сформированности ЛКК. Результаты распределились следующим образом:

Таблица 1.

Уровни ЛКК на констатирующем этапе (ЭГ и КГ, %)

Уровень ЭГ (42) КГ (42)
Высокий 9,5% 11,9%
Средний 42,9% 40,5%
Низкий 47,6% 47,6%

Как видно из данных, преобладают студенты со средним и низким уровнями ЛКК. Особенно низкие показатели зафиксированы по деятельностно-творческому компоненту (умение создавать оригинальные учебные задания, решать открытые педагогические задачи). Это подтвердило необходимость формирующего эксперимента [7].

ISSN 3030-3907

В экспериментальной группе была реализована структурно-функциональная модель развития ЛКК, включающая:

1. Мотивационно-ценностный блок:

– вводный модуль «Творческий учитель начальных классов: образ и реальность»;

– встречи с учителями-новаторами Ферганской области;

– анализ видеоуроков с позиции креативности педагога.

2. Когнитивный блок:

– спецкурс «Психолого-педагогические основы креативности в начальном образовании» (18 часов);

– модуль о методах дивергентного мышления (мозговой штурм, ТРИЗ-педагогика, метод фокальных объектов).

3. Деятельностно-творческий блок:

– цикл проблемно-творческих заданий: разработать 3 варианта объяснения темы «Сложение в пределах 20»; придумать нестандартную форму контроля; создать дидактическую игру с ограничением ресурсов;

– междисциплинарные проекты (например, «Математика + Изобразительное искусство: конструирование заданий с визуальными образами»);

– конкурс микрорурoков («Самый нестандартный урок»).

4. Рефлексивный блок:

– рефлексивный дневник «Мои творческие находки и ошибки»;

– групповой анализ портфолио творческих работ;

– самооценка по критериям ЛКК до и после занятия.

Педагогические условия:

– индивидуальная траектория творческого развития (выбор уровня сложности заданий);

– тьюторское сопровождение со стороны преподавателей кафедры начального образования и методики

– создание «банка креативных заданий» студентами и для студентов [8; 9].

Формирующий этап длился 1 учебный год (2 семестра магистратуры). Занятия проводились 2 раза в неделю в рамках практических занятий и внеаудиторной работы.

После завершения формирующего эксперимента была проведена повторная диагностика.

Уровень ЭГ (конст.) ЭГ (контр.) Δ (ЭГ) КГ (конст.) КГ (контр.) Δ (КГ)
Высокий 9,5% 35,7% +26,2% 11,9% 16,7% +4,8%
Средний 42,9% 52,4% +9,5% 40,5% 45,2% +4,7%

ISSN 3030-3907

Низкий 47,6% 11,9% -35,7% 47,6% 38,1% -9,5%

Таким образом, в экспериментальной группе доля студентов с высоким уровнем ЛКК увеличилась на 26,2%, с низким – сократилась более чем в 3 раза. В контрольной группе позитивные изменения статистически незначимы [10; 11].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Статистическая проверка по t-критерию Стьюдента показала значимые различия между ЭГ и КГ на контрольном этапе ($t_{эмп} = 4,82$, $t_{крит} = 2,00$, $p<0,05$). Наиболее выражен прирост по деятельностно-творческому и рефлексивному компонентам. Студенты ЭГ стали чаще инициировать творческие идеи в педагогических дискуссиях, создавать оригинальные дидактические материалы, самостоятельно использовать рефлексивные техники [12; 13].

Эти данные согласуются с исследованиями узбекских коллег (М.М. Махмудов, 2023), показавших, что проблемно-творческие задания в магистратуре значительно повышают инновационную готовность будущих педагогов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Разработана и апробирована структурно-функциональная модель развития личностно-креативной компетентности студентов начального образования, включающая четыре компонента (мотивационно-ценностный, когнитивный, деятельностно-творческий, рефлексивный) и три этапа (диагностический, формирующий, контрольный).

2. Выявлен и реализован комплекс педагогических условий: проблемно-творческие задания, междисциплинарная проектная деятельность, рефлексивный практикум, тьюторское сопровождение преподавателей кафедры начального образования и методики ФерГУ.

3. Экспериментально доказана эффективность предложенной методики: в экспериментальной группе доля студентов с высоким уровнем ЛКК выросла с 9,5% до 35,7% (прирост +26,2%), доля с низким уровнем снизилась с 47,6% до 11,9%. Результаты статистически значимы ($p<0,05$).

4. Полученные данные могут быть внедрены в практику педагогических вузов Узбекистана при подготовке магистров по направлению «Начальное образование», а также использованы в системе повышения квалификации учителей начальных классов.

Перспективы исследования: изучение влияния цифровых инструментов (генеративных нейросетей, онлайн-досок для совместного творчества) на развитие ЛКК; адаптация модели для бакалавриата.

ISSN 3030-3907

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Республики Узбекистан № ПФ-5847 от 08.10.2019 «Об утверждении Концепции развития высшего образования до 2030 года».
2. Государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению 60111900 – Начальное образование (магистратура). – Ташкент, 2021.
3. Вахобов М.Ғ., Йўлдошев Ж.Ғ. Педагогик компетентлик ва креативлик: назария ва амалиёт. – Тошкент: «Фан», 2018. – 212 б.
4. Муслимов Н.А., Усмонбоева М., Сайфуров Д.М. Касб таълими ўқитувчисининг креатив компетентлигини ривожлантиришнинг педагогик асослари // Педагогик таълим. – 2020. – №3. – Б. 15–21.
5. Шарахов Ш.С. Талабаларнинг касбий-креатив компетенциясини ривожлантириш // Современное образование (Узбекистан). – 2019. – №6. – Б. 28–34.
6. Выготский Л.С. Воображение и творчество в детском возрасте. – М.: Просвещение, 1967. – 93 с.
7. Торренс Э.П. Тест творческого мышления. – СПб.: Речь, 2005. – 185 с.

ISSN 3030-3907

БОЛАЛАРДА ЎТКИР РЕВМАТИК ИСИТМАНИНГ ДИАГНОСТИК МЕЗОНЛАРИ

Мухамадиева Лола Атамуродовна
Самарқанд давлат тиббиёт университети
Умарова Саодат Сулаймоновна
Самарқанд давлат тиббиёт университети
Шовдирова Малохат
Самарқанд давлат тиббиёт университети

Аннотация. Мазкур мақолада Марказий Осиё республикаларида ўткир ревматик иситма ва ревматик юрак касаллигининг юқори учраш даражаси таҳлил қилинган. Муаллифлар минтақада касалликнинг кенг тарқалишига ижтимоий-иқтисодий омиллар, тиббий хизматларнинг етарли емаслиги ва ерта диагностиканинг сустлиги сабаб бўлаётганини таъкидлайдилар. Тадқиқот натижалари ревматик касалликларнинг олдини олиш, ерта аниқлаш ва даволаш бўйича самарали соғлиқни сақлаш стратегияларини ишлаб чиқиш зарурлигини кўрсатади.

Калит сўзлар: ревмокардит, ß-гемолитик стрептококк, Жонс мезонлари, ехокардиёграфия, аутоиммун реаксиялар.

Аннотация. В статье рассматривается высокая распространённость острой ревматической лихорадки и ревматической болезни сердца в республиках Центральной Азии. Авторы анализируют эпидемиологические данные и указывают на влияние социально-экономических условий, ограниченного доступа к медицинской помощи и недостаточной профилактики стрептококковых инфекций. Полученные результаты подчёркивают необходимость усиления мер ранней диагностики, профилактики и лечения ревматических заболеваний в регионе.

Ключевые слова: ревмокардит, ß-гемолитический стрептококк, Джонс критерии, эхокардиография, аутоиммунные реакции.

Abstract. This article analyzes the high incidence of acute rheumatic fever and rheumatic heart disease in the republics of Central Asia. The authors highlight the role of socioeconomic factors, limited access to healthcare services, and insufficient prevention and early diagnosis of streptococcal infections. The findings emphasize the urgent need for effective public health strategies aimed at prevention, early detection, and management of rheumatic diseases in the region.

Keywords: rheumatic carditis, β-hemolytic streptococcus, Jones criteria, echocardiography, autoimmune reactions.

Введение.

Ревматик иситма (РИ) генетик мойиллиги бўлган бўлган болаларда А гуруҳига мансуб β-гемолитик стрептококк билан боғлиқ стрептококкли

ISSN 3030-3907

тонзиллит ёки фарингитни ўтказгандан сўнг ривожланадиган аутоиммун касалликдир. Бу касаллик беморда кардит, артрит, хорея, тери ости тугунлари ва ҳалқасимон эритема кўринишидаги касаллик белгилари билан намоён бўлади [1,10].

Анъанавий равишда илгари ревматология соҳасига соҳасида қўлланиб келган "ревматизм" атамаси эскирган бўлиб, унинг ўрнига биз "ўткир ревматик иситма" атамасини ишлатамиз ва бу энг тўғри ёндашувдир [2,9]. “Ўткир ревматик иситма” атамасининг қўлланилиши шифокорни мазкур касалликнинг келиб чиқишида β-гемолитик стрептококк А гуруҳи (БГСА) инфекциясининг асосий ролини аниқлашга йўналтиради. Шу билан бирга, у касалликнинг ўткир босқичида қўзғатувчини бартараф этиш (бирламчи профилактика) ва кейинги хуружларнинг олдини олиш (иккиламчи профилактика) мақсадида антибиотик терапиясини қўллаш зарурлигини асослаб беради. X - ХКТ қайта кўриб чиқилишига кўра (ЖССТ, Женева, 1995), ЎРИ IX синфга - "қон айланиш тизими касалликлари"га тегишли бўлиб, I00 ва I05 бўлимларида касалликларнинг мустақил гуруҳлари сифатида тақдим этилган ва алоҳида нозологик шакллар сифатида ажратилган. Бу беморларни даволаш тактикаси нуқтаи назаридан ва бирламчи ҳамда иккиламчи профилактикани ўтказишни асослаш учун ўзини оқлайди [2,8]. Баъзи муаллифлар таъкидлашича, бутун дунёда юқумли касалликлар, шу жумладан ЎРИга нисбатан эпидемиологик вазият кескинлашган [1,15]. Касалликнинг клиник жиҳатдан турли кўринишларга эга бўлиши ва эхокардиография (ЭхоКГ) усулининг кенг клиник амалиётга кириб келиши Америка кардиологлар ассоциацияси (АКА) мутахассисларини ЎРИ мезонларини қайта кўриб чиқишга олиб келди. Қайта кўриб чиқиш натижалари 2015 йил май ойида эълон қилинган [18]. Ассоциация экспертларининг таъкидлашича, янгиланган ёндашувнинг асосий мақсади ҳар бир беморда ўткир ревматик иситма ривожланиш хавфини индивидуал баҳолаш, шунингдек, бемор яшайдиган ҳудуддаги эпидемиологик ҳолатни инобатга олиб таҳлил қилиш зарурлигини кўрсатишдан иборатдир [13].

1944 йилдан буён Жонс мезонлари ўткир ревматик иситмани ташхислаш учун олтин стандарт бўлиб хизмат қилмоқда. Бироқ, тадқиқотлар шуни кўрсатдики, СЮРК эндемик тарқалган ҳудудларда ушбу мезонлар паст сезувчанликка эга [11]. Ҳозирги вақтда ЎРИ диагностикаси Жонс мезонларига асосланишда давом этмоқда, улар вақти-вақти билан Америка кардиология ассоциацияси (АКА) томонидан қайта кўриб чиқилди. 2015 йилда эълон қилинган сўнгги шарҳга кўра, 1992 йилда белгиланган мезонларга сезиларли ўзгаришлар киритилган [17].

ISSN 3030-3907

Ўзбекистонда ЎРИ диагностикаси учун Кисел-Жонснинг диагностик мезонлари қўлланилади (1-жадвал). Мезонлар АКА (1992 йил) томонидан сўнгги марта қайта кўриб чиқилган ва 2003 йилда Россия ревматологлар ассоциацияси (АРР) томонидан таклиф этилган модификацияларни ҳисобга олган ҳолда келтирилган.

1-жадвал

Ревматик иситманинг клиник таснифи (АРР, 2003 й.)

Клиник вариантлари	Клиник кўринишлари		Оқибати	қон айланишининг етишмовчилиги босқичи	
	асосий	қўшимча		КСВ*	NYHA**
ЎРИ Қайталанувчи ревматик иситма	Кардит Артрит Хорея Ҳалқасимон эритема Ревматик тугунчалар	Иситма Артралгиялар Абдоминал синдром Серозитлар	Соғайиш Сурункали ревматик юрак касаллиги: - юрак нуқсонисиз***, - юрак нуқсони билан****	0 I IIA IIБ III	0 II III IV

Изоҳ: *Стражеско-Василенко таснифи бўйича; **NYHA бўйича функционал синф; ***Эхо-КГ ёрдамида аниқланадиган регургитациясиз клапан тавақаларининг яллиғланишдан кейинги чекка фибрози мавжуд бўлиши мумкин; ****биринчи марта аниқланган юрак нуқсони мавжуд бўлганда, иложи бўлса, унинг шаклланишининг бошқа сабабларини (инфекцион эндокардит, бирламчи антифосфолипид синдроми, дегенератив генезли клапанлар кальцинози ва бошқалар) истисно қилиш керак.

2015 йилда АКА қайта кўриб чиқилган мезонларни таклиф қилди ва касалликнинг учраш частотасига қараб 1.2-жадвалда кўрсатилганидек касалланиш паст, ўртача ва юқори популяцияларга бўлинди: уларга йилига 100 000 болага 2 дан ортиқ ЎРИ билан касалланиш зоналари сифатида аниқланган юқори хавф учун алоҳида параметрлар киритилди [104, б.1].

Маълум бир популяцияда ЎРИ диагностик мезонларининг тўғри қўлланилишини қандай қилиб тўғри аниқлаш мумкинлигини тушуниш учун ЎРИнинг замонавий эпидемиологияси ҳақида қисқача маълумот зарур.

ISSN 3030-3907

Маълумки, XX аср давомида Европа, Шимолий Америка ва бошқа ривожланган мамлакатларда ЎРИ билан касалланиш ва СЮРК тарқалиши сезиларли даражада камайди [11]. Ушбу пасайиш гигиенанинг яхшиланиши, антибиотиклар ва тиббий ёрдамдан фойдаланиш имкониятининг яхшиланиши ва бошқа ижтимоий ва иқтисодий ўзгаришлар билан боғлиқ эди. Инфекцияларни келтириб чиқарувчи стрептококкларининг А гуруҳи муайян штаммлари эпидемиологиясидаги ўзгаришлар ҳам ўз таъсирини кўрсатган бўлиши мумкин. ЎРИ ривожланган мамлакатларда кузатилишда давом этаётган бўлсада, асосий эътибор ҳозирда паст ва ўрта даромадли мамлакатларда ва бошқа жойлардаги алоҳида маҳаллий халқлар орасида кузатилмоқда. Янги Зеландиянинг Тинч Океан соҳилидаги маҳаллий ахолида касаллик учраши энг юқори кўрсаткичлари қайд этилган -5 ёшдан 14 ёшгача бўлган ёш гуруҳида йилига 100 000 кишига 153 дан 380 гача ҳолат қайд этилган [14,15].

ЖССТ экспертлари таъкидлашича, ЎРИ билан касалланиш тўғрисида ишончли маълумотлар етарли эмас. Мамлакатлар ўртасида, ҳатто бир мамлакатдаги турли аҳоли гуруҳлари ўртасида ҳам сезиларли фарқлар мавжуд (ЖССТ, 2024 йил).

Марказий Осиёда (Қирғизистон, Ўзбекистон ва Тожикистон) ҳам СРЮК нинг эпидемиологик ҳолати шошилинч эътиборни талаб қилади. Марказий Осиё мамлакатларида болалар ва катталардаги ревматологик касалликлар бўйича йиллик ҳисобот, соғлиқни сақлаш соҳасида ишлайдиган ревматологлардан олинган маълумотларга кўра, ревматологик касалликларнинг такрорланиши ва юрак шикастланишининг энг юқори кўрсаткичларини кўрсатади; бу маълумотлар 2008 йил сентябрь ойида Япониянинг Ёкогама шаҳрида бўлиб ўтган Осиё-Тинч океани ревматология ассоциациялари лигасининг (APLAR) 13-конгрессида тақдим этилган [18].

Шундай қилиб, Марказий Осиё мамлакатлари орасида ЎРИ/СРЮК тарқалиши Қирғизистонда энг юқори (643 ҳолат/100000 киши) бўлиб, Ўзбекистон касалланиш бўйича иккинчи ўринда (480 ҳолат/100 минг киши) бўлиб қолмоқда ва Тожикистонда эса ҳар 100 минг кишига 229,1 ҳолат тўғри келади [19].

Барча мамлакатларда ЎРИнинг биринчи эпизодида энг кўп учрайдиган асосий белгилар (ташхис қўйишнинг "катта мезонлари") кардит (50-70%) ва артрит (35-66%) бўлиб қолмоқда.Улардан кейинги ўринда хорея (10-30%) туради. Сўнгра тери ости тугунчалари (0-10%) ва халқасимон эритема (<6%) келади - булар ЎРИнинг жуда кам учрайдиган, аммо катта мезонлари ҳисобланади [1,2]. Классик асосий белгиларнинг ҳар бири учун умумий изчиллик кузатилишига қарамай, сўнгги маълумотлар маълум шароит ва

ISSN 3030-3907

аҳоли гуруҳларида бу белгиларнинг сезиларли даражада ўзгариши мумкинлигини кўрсатмоқда [14]. 2015 йилдаги янгиланишлар (2-жадвал) диагностика мезонларидаги учта асосий ўзгаришни ўз ичига олди: хавф стратификацияси, эхокардиография орқали субклиник кардитни аниқлаш ва бўғим белгиларини баҳолаш [9, 10].

Жонснинг модификицияланган якуний мезонларига кўра, эхокардиограммада аниқланган субклиник кардит клиник кардитга қўшимча тарзда асосий мезон сифатида қўлланилади [7]. Ўрта ва юқори хавф гуруҳларида эхокардиограммада аниқланган клиник кардитга қўшимча субклиник кардит янги тузатиш сифатида асосий мезон ҳисобланади. Бундан ташқари, бўғим белгилари орасида кўчиб юрувчи артритга қўшимча равишда асептик моноартрит ва/ёки полиартралгия асосий мезонлар сифатида, моноартралгия эса иккинчи даражали мезон сифатида қўлланилади [6].

2-жадвал.

Жонс мезонлари - 2015 йил шарҳи

Асосий мезонлар:	
Хавф даражаси паст бўлган аҳоли гуруҳлари	**Ўртача ва юқори хавф гуруҳлари**
- Кардит (клиник ёки субклиник); - Полиартрит; - Хорея; - Халқасимон эритема; - Тери ости тугунчаси.	**- Кардит (клиник ёки субклиник);** **- Артрит /полиартрит/ полиартралгия ва/ёки моноартрит;** - Хорея; - Халқасимон эритема; - Тери оССИи тугунчаси.
Кичик мезонлар:	
- Полиартралгия - Иситма (≥38,5 °C) - ЭЧТ ошиши (1 соат ичида ≥60 мм) ва/ёки СРО ≥3 мг/дл (ёки >, референт қийматда кўрсатилгандек) - PQнинг ёшга мос узайган интервали	**- Моноартралгия** - Иситма (≥38,5 °C) - ЭЧТ ошиши (1 соат ичида ≥60 мм) ва/ёки СРО ≥3 мг/дл (ёки >, референт қийматда кўрсатилгандек) - PQнинг ёшга мос узайган интервали

А-гуруҳ β-гемолитик стрептококк келтириб чиқарган инфекциянинг исботланган далиллари (оғиз-ҳалқумданолинган суртма экишнинг ижобий натижаси, стрептококк антигенлари мавжудлиги учун экспресс тестларнинг ижобий натижаси, АСЛО юқори титрлари).

Шуни таъкидлаш жоизки, ЎРИ ривожланишида БГСАнинг ролини тасдиқлаш учун оғиз-халқумдан олинган ижобий бактериал экма муҳим

ISSN 3030-3907

аҳамиятга эга. Замонавий тиббиётда ўтказилган стрептококкли инфекцияни аниқлаш учун стрептококкларга қарши антитаначалар - антистрептолизин-О (АСЛО) ва антидезоксирибонуклеаза В (анти-ДНКаза В) титрларининг ошиши ёки кўпайишини аниқлаш бўйича серологик текширувлар жуда муҳимдир [8].

Юрак клапанларининг ревматик шикастланишининг патоморфози, айниқса ривожланаётган мамлакатларда ва аҳолининг даромад даражаси ўртача бўлган мамлакатларда яққол кўзга ташланади, бу айнан валвулитнинг субклиник вариантларининг кўпайишидан иборат. Аускультацияда патологик шовқинлар бўлмаганда ревматик валвулитнинг ЭхоКГ мезонлари ҳолатларини тавсифловчи "субклиник СЮРК" атамаси тасдиқланган [4,7]. ЭхоКГнинг клиник амалиётга жорий этилиши унинг юқори самарадорлигини исботлаш имконини берди, гарчи 1992 йилдаги мезонларни қайта кўриб чиқишда валвулитнинг ЭхоКГ параметрларини катта мезонларга киритиш учун етарли асослар йўқлиги таъкидланган бўлса-да, замонавий босқич "ЭхоКГ даври" деб номланди [9, 12, 13]. 2015 йилдан бошлаб ЭхоКГ ЎРИ билан касалланган ёки ЎРИга шубҳа қилинган беморларда мажбурий текширув сифатида кўрила бошланди ва моҳиятан, ЎРИ учун қўлланиладиган асосий диагностика воситаси ҳисобланади [15].

Эхокардиография ёки юракнинг тузилиши ва функциясини текшириш учун ультратовушдан фойдаланиш клапан патологиясини ташхислаш учун энг сезгир воситадир [13]. 2015-йилги Жонс мезонлари кардитни дастлабки ташхислаш учун эхокардиографиядан фойдаланишни ўз ичига олади, бу эса глобал тадқиқотлардан олинган далилларга асосланади [14]. Салбий ижтимоий-иқтисодий ҳолат, тўйиб овқатланмаслик, уйларнинг ҳаддан ташқари гавжумлиги ЎРИ касаллиги ҳолатлари орасида энг кенг тарқалган хавф омиллари ҳисобланади [6,7].

Жонснинг охирги модификацияланган мезонларига кўра, паст хавф гуруҳларида фақат кўчиб юрувчи полиартрит асосий мезон сифатида қаралган бўлса, ўрта ва юқори хавф гуруҳларида, кўчиб юрувчи полиартрит, асептик моноартрит ёки полиартралгия асосий мезонлар ҳисобланади [14]. Шундай қилиб, ЎРИ ривожланаётган мамлакатларда ҳали ҳам кенг тарқалган. 2015 йилда янгиланган Жонс мезонлари шифокорларга аҳолини хавф даражасига қараб икки асосий гуруҳ: паст хавф гуруҳи ва ўртача ёки юқори хавф гуруҳига ажратиш учун кўпроқ маълумот беради. Субклиник кардит тушунчаси барча беморларда, уларнинг хавф гуруҳидан қатъи назар, кенг қабул қилинган асосий мезон бўлиб қолмоқда.

ISSN 3030-3907

АДАБИЁТЛАР

1. Auckland, K., Mittal, B., Cairns, B.J. *et al.* The Human Leukocyte Antigen Locus and Rheumatic Heart Disease Susceptibility in South Asians and Europeans. *Sci Rep* **10**, 9004 (2020
2. Baker, Michael G. et al. Risk factors for acute rheumatic fever: A case-control study// The Lancet Regional Health – Western Pacific, Volume 26, 2022; p.2-11
3. Beaton A., Aliku T., Dewyer A. et al. Latent Rheumatic Heart Disease: Identifying the Children at Highest Risk of Unfavorable Out come. Circulation. 2017;136(23):2233-2244.
4. Beaton A, Carapetis J. The 2015 revision of the Jones criteria for the diagnosis of acute rheumatic fever: implications for practice in low-income and middle-income countries. Heart Asia. 2015 Aug 19;7(2):7-11.
5. Bratincsak A, Liu J, Yalamanchili R, Purohit PJ, Xoinis KP, Yamauchi MSW. Junctional Tachycardia as a Diagnostic Criterion in Acute Rheumatic Fever. Pediatrics. 2021 Jun;147(6)
6. Brook I. Treatmentchallenges of group A beta-hemolytic Streptococcal pharyngo-tonsillitis // Int Arch Otorhinolaryngol. 2017; 21 (3): 286-296.
7. Carapetis JR, Beaton A, Cunningham MW, Guilherme L, Karthikeyan G, Mayosi BM, Sable C, Steer A, Wilson N, Wyber R, Zühlke L. Acute rheumatic fever and rheumatic heart disease. at Rev Dis Primers. 2016 Jan 14;2:15084.
8. Chakravarty, S. D., Zabriskie, J. B., & Gibofsky, A. (2014). Acute rheumatic fever and streptococci: the quintessential pathogenic trigger of autoimmunity. Clinical Rheumatology, 33(7), 893–901. doi:10.1007/s10067-014-2698-8.
9. Culliford-Semmens, Nicola & Tilton, Elizabeth & Wilson, Nigel & Stirling, John & Doughty, Robert & Gentles, Thomas & Peat, Briar & Dimalapang, Eliazar & Webb, Rachel. (2021). Echocardiography for latent rheumatic heart disease in first degree relatives of children with acute rheumatic fever: Implications for active case finding in family members. EClinicalMedicine. 37. 100935. 10.1016/j.eclinm.2021.100935.
10. Chowdhury MDS, Koziatek CA, Rajnik M. Acute Rheumatic Fever. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK594238/
11. Cunningham MW. Rheumatic fever, autoimmunity, and molecular mimicry: the streptococcal connection. Int Rev Immunol. 2014 Jul-Aug;33(4):314-329.
12. Clark B.C., Krishnan A., McCarter R. et al. Using a low-risk population to estimate the specifi city of the World Heart Federation criteria for the diagnosis of rheumatic heart disease. J. Am. Soc. Echocardiogr. 2016;29(3):253–258
13. Coffey PM, Ralph AP, Krause VL. The role of social determinants of health in the risk and prevention of group A streptococcal infection, acute rheumatic fever

ISSN 3030-3907

and rheumatic heart disease: a systematic review. PLoSNegl Trop Dis 2018;12. P.1-22.
14. Cardoso F. Autoimmune choreas. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2017;88:412–417.
15. Cunningham MW. Molecular Mimicry, Autoimmunity, and Infection: The Cross-Reactive Antigens of Group A Streptococci and their Sequelae. Microbiol Spectr. 2019;7(4):p.1-26.
16. Dean SL, Singer HS. Treatment of Sydenham's Chorea: A Review of the Current Evidence. Tremor Other Hyperkinet Mov (N Y). 2017 Jun 1;7:456.
17. De Loizaga SR, Beaton AZ. Rheumatic Fever and Rheumatic Heart Disease in the United States. Pediatr Ann. 2021 Mar;50(3):e98-e104
18. Delice S, Adaleti R, Cevan S, et al. Detection of upper limit of normal values of anti-DNase B antibody in children's age groups who were admitted to hospital with noninfectious reasons. North Clin Istanb. 2015;2(2):136-141.
19. Omurzakova NA, Yamano Y, Saatova GM, Mirzakhanova MI, Shukurova SM, Kydyralieva RB, Jumagulova AS, SeisenbaevASh, Nishioka K, Nakajima T. High incidence of rheumatic fever and rheumatic heart disease in the republics of Central Asia. Int J Rheum Dis. 2009 Jul;12(2):79-83.

ISSN 3030-3907

AVTOMOBIL SANOATIDA EKOLOGIK XAVFLARNI BOSHQARISHDA ISO 14001 VA HACCP TAMOYILLARINI INTEGRATSIYA QILISH IMKONIYATLARI

Sativaldiev Aziz
Andijon davlat texnika institutining Metrologiya va yengil sanoat kafedrasi, Andijon, O‘zbekiston
E-mail: azizsativaldiev@astiedu.uz
Madaminova Diyora
Andijon davlat texnika institutining Metrologiya va yengil sanoat kafedrasi, Andijon, O‘zbekiston.
E-mail: diyoramadaminova@astiedu.uz

Abstract. This article examines modern approaches to environmental risk management in automotive industry enterprises. The possibilities of integrating the ISO 14001 Environmental Management System and HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) principles are analyzed. Effective mechanisms for identifying, assessing, and controlling environmental risks arising during automotive manufacturing processes are proposed. The study develops the concept of Environmental Critical Control Points (ECCP) and substantiates its practical application in environmental management systems. The findings indicate that the integration of ISO 14001 and HACCP principles enhances environmental monitoring efficiency, reduces environmental risks, improves resource utilization, and contributes to the sustainable development of automotive enterprises.

Keywords: environmental management, ISO 14001, HACCP, environmental risks, automotive industry, standardization, metrology, monitoring, environmental performance.

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к управлению экологическими рисками на предприятиях автомобильной промышленности. Исследованы возможности интеграции системы экологического менеджмента ISO 14001 и принципов HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points). Предложены эффективные механизмы идентификации, оценки и контроля экологических рисков, возникающих в процессе производства автомобилей. Разработана концепция экологических критических контрольных точек (Environmental Critical Control Points – ECCP), позволяющая повысить эффективность экологического мониторинга и предупреждения экологических угроз. Результаты исследования показывают, что интеграция ISO 14001 и HACCP способствует снижению экологических рисков, рациональному использованию ресурсов и обеспечению устойчивого развития предприятий автомобильной отрасли.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: экологический менеджмент, ISO 14001, HACCP, экологические риски, автомобильная промышленность, стандартизация, метрология, мониторинг, экологическая эффективность.

Annotatsiya. So‘nggi yillarda avtomobil sanoatining jadal rivojlanishi bilan ekologik xavfsizlik va barqaror rivojlanish masalalari alohida ahamiyat kasb etmoqda. Avtomobil ishlab chiqarish korxonalarida atmosfera havosiga zararli moddalar chiqarilishi, ishlab chiqarish chiqindilarining ko‘payishi, suv va energiya resurslaridan samarasiz foydalanish kabi ekologik muammolar kuzatilmoqda. Mazkur maqolada ISO 14001 ekologik menejment tizimi hamda HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) tamoyillarining integratsiyalash imkoniyatlari o‘rganilgan. Tadqiqot natijasida ekologik kritik nazorat nuqtalari (Environmental Critical Control Points – ECCP) konsepsiyasi asosida avtomobil sanoati uchun integratsiyalashgan ekologik risklarni boshqarish modeli taklif etilgan. Tadqiqot natijalari integratsiyalashgan yondashuv ekologik monitoring samaradorligini oshirish, ekologik xavflarni kamaytirish va korxonalarning barqaror rivojlanishini ta’minlashga xizmat qilishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: ekologik menejment, ISO 14001, HACCP, ekologik risklar, avtomobil sanoati, standartlashtirish, metrologiya, monitoring, ekologik samaradorlik.

KIRISH.

Dunyo miqyosida avtomobil sanoati iqtisodiyotning strategik tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Biroq mazkur tarmoqning jadal rivojlanishi ekologik muammolarning kuchayishiga ham sabab bo‘lmoqda. Avtomobil ishlab chiqarish jarayonlarida havoga uchuvchi organik birikmalar (VOC), og‘ir metallar, sanoat chiqindilari va oqova suvlarning ajralib chiqishi atrof-muhit holatiga sezilarli salbiy ta’sir ko‘rsatadi [1].

Korxonalarda ekologik xavflarni boshqarishning samarali vositalaridan biri ISO 14001 ekologik menejment tizimi hisoblanadi. Ushbu standart ekologik jihatlarni aniqlash, baholash va nazorat qilish orqali korxonalarning ekologik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi [2]. Shu bilan birga, ekologik xavflarni oldindan aniqlash va ularning salbiy oqibatlarini kamaytirishda HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) tizimining preventiv yondashuvlari muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi [3].

Mazkur tadqiqotning maqsadi avtomobil sanoati korxonalarida ekologik risklarni boshqarishda ISO 14001 va HACCP tamoyillarini integratsiyalashning nazariy hamda amaliy asoslarini ishlab chiqishdan iborat.

Ekologik risklarni boshqarish va ekologik menejment tizimlarini takomillashtirish masalalari so‘nggi yillarda ilmiy tadqiqotlarning muhim yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Xalqaro amaliyotda korxonalarning ekologik

ISSN 3030-3907

samaradorligini oshirishda ISO 14001 standarti asosiy boshqaruv vositalaridan biri sifatida e’tirof etiladi. ISO 14001:2015 standartida ekologik jihatlarni aniqlash, ekologik xavflarni baholash, monitoring qilish va doimiy takomillashtirish tamoyillari belgilangan bo‘lib, ular korxonalarning atrof-muhitga salbiy ta’sirini kamaytirishga xizmat qiladi. Ekologik risklarni boshqarishning nazariy asoslari ISO 31000:2018 risk-menejment standartida keng yoritilgan. Mazkur standartda xavflarni aniqlash, tahlil qilish, baholash va monitoring qilish bosqichlari tizimli yondashuv asosida bayon etilgan. Shu sababli ekologik menejment tizimlarini takomillashtirishda risklarga asoslangan yondashuv muhim ahamiyat kasb etadi.

Sanoat va maishiy chiqindilarni hosil bo‘lishi hamda ularni utilizatsiya qilish jarayonlarini boshqarishning turli usullari va vositalari B.B. Bobovich, D.E. Bykov, R.F. Valeeva, V.N. Vinichenko, V.V. Devyatkin, V.V. Jurkovich, V.G. Kalygin, Yu.A. Karabaev, E.V. Kojevnikova, L.I. Leontev, A.B. Lifshits, M.A. Lyubarskaya, A.S. Matrosov, V.P. Meshalkin, A.N. Mirniy, A.Z. Oshchepkova, L.N. Pan, E.I. Pupyrev, A.I. Rodionov, P.D. Sarkisov, L.A. Smirnov, A.M. Startsev, Yu.L. Xatuntsev, O.M. Cherp, Yu.S. Yusfin, G.A. Yagodin va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida yoritilgan.

Chiqindilarni boshqarishning turli usullari, jumladan ularni utilizatsiya qilishning tashkiliy-iqtisodiy samaradorligini tahlil qilish masalalari V.S. Vagin, O.G. Vasenkov, T.P. Vetrova, K.A. Vyvarets, I.V. Dubov, D.B. Kravchenko, E.M. Krivchenkova, O.S. Kusraeva, G.B. Manelis, V.E. Pinaev, O.A. Priymak, V.G. Sister, E.S. Tarasenko dissertatsiyalarida bayon etilgan. Ushbu dissertatsion ishlarda chiqindilarni hosil bo‘lishi, yig‘ilishi, tashilishi va zararsizlantirilishi jarayonlarini boshqarishning yangi usullarini joriy etish istiqbollarini baholash texnologik, ekologik va iqtisodiy ko‘rsatkichlarni tahlil qilishga asoslanishi kerakligi ko‘rsatib berilgan. Bunda “yashil kimyo”, “yashil logistika” tamoyillari hamda kimyo-texnologik tizimlarning energiya va resurs samaradorligi nazariyasidan foydalanish muhim ahamiyat kasb etadi.

T.N. Vdovina, P.N. Golovanova, P.V. Darulis, S.N. Degterev, V.V. Jurkovich, N.P. Ivatanova, A.I. Potapov, V.Ya. Proskuryakovlarning ilmiy ishlarida chiqindilarni boshqarish strategiyasini ishlab chiqishda muayyan hududning sanoat-texnologik, iqtisodiy, ijtimoiy-demografik va normativ-huquqiy rivojlanish xususiyatlari, shuningdek uning geografik joylashuvi va ekologik holatini hisobga olish zarurligi ko‘rsatib o‘tilgan.

Integratsiyalashgan boshqaruv tizimlarini joriy etish masalalari Zeng, Shi va Lou tomonidan o‘rganilgan. Mualliflar sifat, ekologiya va mehnat xavfsizligi tizimlarini yagona boshqaruv modeli asosida birlashtirish korxonalarda resurslardan samarali foydalanish va boshqaruv xarajatlarini kamaytirishini

ISSN 3030-3907

ta’kidlaganlarıo Ushbu tadqiqot natijalari turli standartlarni integratsiyalash imkoniyatlari mavjudligini ko‘rsatadi.

Melnyk, Sroufe va Calantone tadqiqotlarida ekologik menejment tizimlarini joriy etish korxonalarning ekologik va iqtisodiy ko‘rsatkichlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi ilmiy jihatdan asoslangan. Ularning fikriga ko‘ra, ekologik menejment tizimlari ekologik nazorat samaradorligini oshiradi va korxonalarning barqaror rivojlanishiga xizmat qiladi.

HACCP tizimining xavflarni oldindan aniqlash va nazorat qilishga asoslangan preventiv yondashuvi Wallace, Sperber va Mortimore tomonidan batafsil yoritilgan. Mualliflar kritik nazorat nuqtalarini aniqlash va muntazam monitoringni tashkil etish xavflarning yuzaga kelish ehtimolini sezilarli darajada kamaytirishini qayd etganlar. Mazkur tamoyillar ekologik xavflarni boshqarish jarayonlariga ham moslashtirilishi mumkin.

Hillary ekologik menejment tizimlarining korxonalardagi amaliy samaradorligini tadqiq qilib, ularning ekologik ko‘rsatkichlarni yaxshilash hamda ekologik tavakkalchiliklarni kamaytirishdagi rolini ko‘rsatib bergan. Asante-Duah esa ekologik va kimyoviy xavflarni baholash metodologiyasini ishlab chiqib, xavflarni oldindan aniqlash va profilaktik choralarni ko‘rish zarurligini asoslab bergan.

Shuningdek, Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti tomonidan ishlab chiqilgan havo sifati bo‘yicha tavsiyalar sanoat korxonalarining atmosfera havosiga ta’sirini baholashda muhim ilmiy manba hisoblanadi. Metrologik ta’minot masalalari esa JCGM 100:2008 qo‘llanmasida yoritilgan bo‘lib, ekologik monitoring natijalarining aniqligi va ishonchliligini ta’minlashda o‘lchashlar noaniqligini baholash muhim ahamiyatga ega ekanligi ta’kidlangan.



Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, ISO 14001 ekologik menejment tizimi va HACCP tamoyillari alohida-alohida yetarlicha o‘rganilgan bo‘lsa-da, ularni avtomobil sanoatida ekologik risklarni boshqarish maqsadida integratsiyalash masalasi yetarli darajada tadqiq etilmagan. Ayniqsa, ekologik kritik nazorat nuqtalari (ECCP) konsepsiyasini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish bo‘yicha ilmiy ishlanmalar cheklangan. Mazkur tadqiqot ana shu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

TADQIQOT METODLARI. Tadqiqot davomida ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, xalqaro standartlar talablarini o‘rganish, ekologik risklarni identifikatsiyalash, ekspert baholash usuli, risklarni ehtimollik va oqibatlar asosida baholash hamda tizimli va qiyosiy tahlil usullaridan foydalanildi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqotning metodologik asosini ekologik menejment, risk-menejment va standartlashtirish sohalarida olib borilgan xalqaro ilmiy tadqiqotlar tashkil etdi [4, 5].

ISO 14001 va HACCP tizimlarining nazariy asoslari ISO 14001 standarti korxonalarda ekologik menejment tizimini yaratish, joriy etish va doimiy takomillashtirishga qaratilgan xalqaro standart hisoblanadi [2]. Mazkur standart ekologik jihatlarni aniqlash, ekologik maqsad va vazifalarni belgilash, monitoring va o‘lchash ishlarini tashkil etish, qonunchilik talablariga muvofiqlikni ta’minlash hamda doimiy takomillashtirish tamoyillariga asoslanadi.

ISO 14001 standarti PDCA (Plan–Do–Check–Act) sikli asosida faoliyat yuritadi va ekologik boshqaruv tizimining uzluksiz rivojlanishini ta’minlaydi [6].

HACCP tizimi dastlab oziq-ovqat mahsulotlari xavfsizligini ta’minlash maqsadida ishlab chiqilgan bo‘lsa-da, bugungi kunda uning metodologiyasi sanoatning turli yo‘nalishlarida xavflarni boshqarishda muvaffaqiyatli qo‘llanilmoqda [3]. Tizim xavflarni tahlil qilish, kritik nazorat nuqtalarini aniqlash, kritik limitlarni belgilash, monitoring tizimini tashkil etish, tuzatish choralarini ishlab chiqish, verifikatsiya tadbirlarini amalga oshirish va hujjatlashtirish kabi yetti asosiy tamoyildan iborat.

Mazkur tamoyillar ekologik xavflarni boshqarish jarayonlariga ham muvaffaqiyatli integratsiyalashishi mumkin [7].

ISO 14001 va HACCP integratsiyasining afzalliklari

Avtomobil sanoatida ekologik xavflar asosan metallarga mexanik ishlov berish, payvandlash, bo‘yash va qoplama jarayonlari, erituvchilar hamda kimyoviy moddalarni saqlash, chiqindilarni boshqarish va oqova suvlarni tozalash bosqichlarida yuzaga keladi.

ISO 14001 ekologik jihatlarni tizimli ravishda boshqarishga qaratilgan bo‘lsa, HACCP metodologiyasi xavflarning yuzaga kelish nuqtalarini aniqlash va ularda profilaktik nazorat o‘rnatish imkonini beradi [8]. Shu sababli ushbu ikki tizimning integratsiyasi ekologik risklarni boshqarishda sinergik samara hosil qiladi.

Integratsiyalashgan yondashuv ekologik xavflarni erta aniqlash, favqulodda ekologik holatlarning oldini olish, monitoring samaradorligini oshirish, ekologik ko‘rsatkichlar ustidan nazoratni kuchaytirish, resurslardan oqilona foydalanish, ekologik xarajatlarni kamaytirish hamda xalqaro ekologik talablar bilan uyg‘unlikni ta’minlash imkonini beradi.

Ekologik kritik nazorat nuqtalari (ECCP) konsepsiyasi Tadqiqot doirasida Environmental Critical Control Points (ECCP) – ekologik kritik nazorat nuqtalari konsepsiyasi taklif etildi. ECCP deganda texnologik jarayonning ekologik xavf yuzaga kelishi ehtimoli eng yuqori bo‘lgan bosqichlari tushuniladi.

ISSN 3030-3907

Mazkur nuqtalarda monitoring va nazoratning kuchaytirilishi ekologik xavflarning oldini olish imkonini beradi [9].

1-Jadval.

Avtomobil sanoatidagi asosiy ekologik kritik nazorat nuqtalari (ECCP)

Jarayon	Ekologik xavf	ECCP
Bo‘yash	VOC emissiyasi	Bo‘yoq purkash kamerasi
Erituvchilarni saqlash	Bug‘lanish va sizib chiqish	Omborxona
Oqova suvlarni tozalash	Suv ifloslanishi	Tozalash inshooti
Chiqindilarni saqlash	Tuproq ifloslanishi	Chiqindi maydoni
Payvandlash	Metall aerozollari	Ventilyatsiya tizimi

ECCP konsepsiyasi HACCP tizimidagi kritik nazorat nuqtalari metodologiyasining ekologik menejmentga moslashtirilgan shakli hisoblanadi.

2-Jadval

ISO 14001 va HACCP tizimlarining qiyosiy tahlili

Mezon	ISO 14001	HACCP
Asosiy maqsad	Ekologik jihatlarni boshqarish	Xavflarning oldini olish
Yondashuv	Tizimli menejment	Preventiv nazorat
Boshqaruv obyekti	Ekologik jihatlar	Xavflar va kritik nazorat nuqtalari
Monitoring	Ekologik ko‘rsatkichlar	Kritik nazorat nuqtalari
Hujjatlashtirish	Majburiy	Majburiy
Doimiy takomillashtirish	PDCA sikli orqali	Verifikatsiya va tuzatish tadbirlari orqali
Integratsiyalash imkoniyati	Yuqori	Yuqori

Taklif etilayotgan integratsiyalashgan model Taklif etilayotgan model ekologik jihatlarni aniqlash, ekologik risklarni baholash, ECCPlarni belgilash, kritik limitlarni o‘rnatish, monitoring va o‘lchash tizimini joriy etish, tuzatish va profilaktik tadbirlarni amalga oshirish hamda natijalarni tahlil qilish va doimiy takomillashtirish bosqichlarini o‘z ichiga oladi.

Mazkur model ISO 14001 standartining PDCA sikli bilan to‘liq uyg‘unlashadi va ekologik menejment tizimining samaradorligini oshiradi [2, 6].

ISSN 3030-3907

3-Jadval.

Avtomobil ishlab chiqarish korxonalarida ekologik kritik nazorat nuqtalari

Ishlab chiqarish jarayoni	Ekologik xavf	ECCP	Nazorat qilinadigan ko‘rsatkich
Kuzovni bo‘yash	VOC (uchuvchi organik birikmalar) emissiyasi	Bo‘yoq purkash kamerasi	VOC konsentratsiyasi
Payvandlash	Metall aerozollari	Ventilyatsiya tizimi	Chang va aerozollar miqdori
Erituvchilarni saqlash	Sizib chiqish va bug‘lanish	Kimyoviy moddalar ombori	Idishlarning germetikligi
Oqova suvlarni tozalash	Suvning ifloslanishi	Tozalash inshooti	pH, BPK, XPK ko‘rsatkichlari
Chiqindilarni saqlash	Tuproqning ifloslanishi	Chiqindilar maydoni	Izolyatsiya holati
Energiya ta’minoti	Ortiqcha energiya sarfi	Energetika tuguni	Energiya sarfining solishtirma ko‘rsatkichi

ISO 14001 va HACCP tamoyillari asosida ekologik risklarni boshqarishning integratsiyalashgan modeli

ISO 14001 EMS → Ekologik jihatlarni aniqlash → Ekologik risklarni baholash → ECCPlarni aniqlash → Kritik limitlarni belgilash → Ekologik monitoring → Tuzatish va profilaktik tadbirlar → Tizim samaradorligini tahlil qilish → Doimiy takomillashtirish (PDCA).

NATIJALAR VA MUHOKAMA. O‘tkazilgan tahlillar ISO 14001 va HACCP tamoyillarining integratsiyasi ekologik risklarni boshqarish tizimining preventiv xarakterini kuchaytirishini ko‘rsatdi. Xususan, ekologik kritik nazorat nuqtalarini aniqlash ekologik xavflarni yuzaga kelishidan oldin nazorat qilish imkonini beradi.

Bundan tashqari, ekologik monitoring natijalarining ishonchliligini ta’minlashda metrologik ta’minot muhim ahamiyat kasb etadi. O‘lchash vositalarining kalibrlanishi va verifikatsiyasi monitoring natijalarining aniqligi hamda takrorlanuvchanligini oshiradi [10].

Tadqiqot natijalari integratsiyalashgan modelni amaliyotga joriy etish ekologik xavflarni kamaytirish, resurslardan samarali foydalanish va ekologik xarajatlarni optimallashtirish imkonini berishini ko‘rsatdi.

ISSN 3030-3907

XULOSA Avtomobil sanoatida ekologik risklarni boshqarishda ISO 14001 va HACCP tamoyillarini integratsiyalash istiqbolli ilmiy-amaliy yo‘nalish hisoblanadi. Taklif etilgan yondashuv ekologik xavflarni samarali aniqlash va boshqarish, monitoring samaradorligini oshirish, korxonalarning ekologik ko‘rsatkichlarini yaxshilash hamda xalqaro standartlar talablariga muvofiqlikni ta’minlash imkonini beradi.

Shuningdek, mazkur yondashuv korxonalarning barqaror rivojlanish maqsadlariga erishishiga xizmat qiladi. Kelgusida ECCP konsepsiyasini real ishlab chiqarish korxonalarida sinovdan o‘tkazish va uning samaradorligini miqdoriy baholash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

ADABIYOTLAR

1. World Health Organization. Air Quality Guidelines. Geneva: WHO, 2021.
2. ISO 14001:2015. Environmental Management Systems — Requirements with Guidance for Use. Geneva: International Organization for Standardization, 2015.
3. Codex Alimentarius Commission. Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application. Rome: FAO/WHO, 2020.
4. ISO 31000:2018. Risk Management — Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization, 2018.
5. Zeng S.X., Shi J.J., Lou G.X. A Synergetic Model for Implementing an Integrated Management System: An Empirical Study in China // Journal of Cleaner Production. – 2007. – Vol. 15. – No. 18. – Pp. 1760–1767.
6. Melnyk S.A., Sroufe R.P., Calantone R. Assessing the Impact of Environmental Management Systems on Corporate and Environmental Performance // Journal of Operations Management. – 2003. – Vol. 21. – No. 3. – Pp. 329–351.
7. Wallace C., Sperber W.H., Mortimore S. Food Safety for the 21st Century: Managing HACCP and Food Safety Throughout the Global Supply Chain. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2018.
8. Hillary R. Environmental Management Systems and the Smaller Enterprise. – Sheffield: Greenleaf Publishing, 2004.
9. Asante-Duah K. Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals. – Dordrecht: Springer, 2002.
10. JCGM 100:2008. Evaluation of Measurement Data — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). Paris: Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.

ISSN 3030-3907

ГИДРОФИЛЬНАЯ TiO_2–SiO_2-МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИАМИДНЫХ МЕМБРАН ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ФУЛИНГУ И СОЛЕОТЛОЖЕНИЮ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС

Юлдашев Данияр Маратович
Докторант (PhD), Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан
E-mail: d.yuldashev@tdtu.uz
https://orcid.org/0009-0004-5857-8806
Юсупалиев Рисбек Маматович
К.х.н., профессор Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан
E-mail: risbek.yusupaliev@tdtu.uz
https://orcid.org/0000-0002-0433-5575

Аннотация. В статье рассмотрена проблема повышения устойчивости полиамидных мембран обратного осмоса к фулингу и солеотложению в системах водоподготовки теплоэлектростанций. На основе анализа современных научных публикаций обоснована перспективность формирования на поверхности полиамидного селективного слоя химически закреплённого TiO_2–SiO_2-содержащего гидрофильного покрытия. Показано, что TiO_2 может выполнять роль функционального нанокомпонента, повышающего гидрофильность и антифулинговую активность поверхности, тогда как SiO_2 благодаря развитой поверхности и наличию силанольных групп способствует стабилизации нанокомпозитного слоя и его химическому закреплению. Предложена методологическая схема модификации мембран с применением силановых агентов APTES/GPTMS и сформулированы основные критерии оценки эффективности: контактный угол, водопроницаемость, солезадержание, коэффициент восстановления потока и устойчивость к неорганическому солеотложению. Работа имеет обзорно-методологический характер и может служить основой для последующей экспериментальной оптимизации состава TiO_2–SiO_2-слоя.

Ключевые слова: обратный осмос, полиамидная мембрана, TiO_2, SiO_2, гидрофильная модификация, фулинг, солеотложение, водоподготовка ТЭС.

Annotatsiya. Maqolada issiqlik elektr stansiyalarining suv tayyorlash tizimlarida qo‘llaniladigan poliamidli teskari osmos membranalarining fouling va tuz cho‘kmasi hosil bo‘lishiga nisbatan barqarorligini oshirish muammosi ko‘rib chiqilgan. Zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlili asosida poliamid selektiv qatlam yuzasida kimyoviy biriktirilgan TiO_2–SiO_2 tarkibli gidrofil qoplama hosil qilishning istiqbolliligi asoslab berilgan. TiO_2 membrana yuzasining gidrofilligini

va antifouling faolligini oshiruvchi funksional nanokomponent sifatida qaraladi, SiO_2 esa rivojlangan sirt tuzilishi va silanol guruhlari mavjudligi tufayli nanokompozit qatlamni barqarorlashtirish hamda uning kimyoviy birikishini ta’minlashga yordam beradi. Membranalarni APTES/GPTMS silan agentlari yordamida modifikatsiya qilishning metodologik sxemasi taklif etilgan. Samaradorlikni baholashning asosiy mezonlari sifatida kontakt burchagi, suv o‘tkazuvchanligi, tuzlarni ushlab qolish darajasi, oqimni tiklash koeffitsiyenti va noorganik tuz cho‘kmalariga chidamlilik ko‘rsatkichlari belgilangan. Maqola sharhiy-metodologik xarakterga ega bo‘lib, teskari osmos membranalari uchun TiO_2–SiO_2 qatlam tarkibini keyingi eksperimental optimallashtirishga asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: teskari osmos, poliamid membrana, TiO_2, SiO_2, gidrofil modifikatsiya, fouling, tuz cho‘kmasi, IES suv tayyorlash tizimi.

Abstract. The paper discusses the problem of improving the resistance of polyamide reverse osmosis membranes to fouling and scaling in water treatment systems of thermal power plants. Based on the analysis of recent scientific literature, the formation of a chemically anchored TiO_2–SiO_2-containing hydrophilic coating on the polyamide selective surface is substantiated. TiO_2 is considered as a functional nanocomponent capable of increasing surface hydrophilicity and antifouling activity, whereas SiO_2 contributes to the stabilization and chemical anchoring of the nanocomposite layer due to its developed surface structure and the presence of silanol groups. A methodological scheme for membrane modification using APTES/GPTMS silane agents is proposed. The main evaluation criteria include water contact angle, water permeability, salt rejection, flux recovery ratio, and resistance to inorganic scaling. The article has a review and methodological character and provides a basis for subsequent experimental optimization of the TiO_2–SiO_2 layer composition for reverse osmosis membranes.

Keywords: reverse osmosis, polyamide membrane, TiO_2, SiO_2, hydrophilic modification, fouling, scaling, thermal power plant water treatment.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Обратный осмос является одной из ключевых технологий обессоливания и глубокой водоочистки. В энергетике обратноосмотические установки используются для предварительного снижения минерализации воды, уменьшения нагрузки на ионообменные фильтры и повышения стабильности водно-химического режима. Для теплоэлектростанций это особенно важно, поскольку качество подпиточной и технологической воды влияет на надёжность пароводяного тракта, теплообменного оборудования и вспомогательных систем.

ISSN 3030-3907

Современные обратноосмотические мембраны в основном представлены тонкоплёночными композитными полиамидными структурами. Их достоинствами являются высокая селективность по отношению к растворённым солям, сравнительно высокая водопроницаемость и технологическая зрелость. Вместе с тем полиамидные мембраны чувствительны к загрязнению поверхности органическими веществами, коллоидными частицами, микроорганизмами и минеральными отложениями. Эти процессы приводят к снижению потока пермеата, росту энергетических затрат, увеличению частоты промывок и сокращению срока службы мембранных элементов [1, 2].

Традиционные методы управления фулингом и солеотложением включают предварительную очистку, дозирование антискалантов, корректировку pH и периодические химические промывки. Однако такие меры не устраняют саму склонность полиамидной поверхности к взаимодействию с фулантами. Поэтому всё больше внимания уделяется модификации поверхности мембран, направленной на повышение гидрофильности, регулирование заряда и снижение адгезии загрязняющих веществ [3].

Цель настоящей статьи — обосновать перспективность формирования химически закреплённого TiO_2–SiO_2-содержащего гидрофильного слоя на полиамидных мембранах обратного осмоса для повышения их устойчивости к фулингу и солеотложению в системах водоподготовки теплоэлектростанций.

2. Проблема загрязнения полиамидных мембран в системах водоподготовки ТЭС

Загрязнение мембран обратного осмоса имеет сложную природу. В реальных водах теплоэнергетических объектов одновременно присутствуют природные органические вещества, соли жёсткости, сульфаты, хлориды, кремнезём, продукты коррозии, остатки коагулянтов, флокулянтов и антискалантов. При концентрировании воды в мембранном модуле эти компоненты накапливаются у поверхности мембраны и могут образовывать как рыхлые, так и плотные трудноудаляемые загрязняющие слои.

Для полиамидных RO-мембран наиболее значимыми являются четыре группы процессов: органический фулинг, коллоидное загрязнение, биофулинг и неорганическое солеотложение. Органический фулинг связан с адсорбцией гуминовых веществ, белковых соединений и синтетических органических реагентов. Коллоидное загрязнение обусловлено накоплением частиц глины, гидроксидов металлов, коллоидного кремнезёма и продуктов коррозии. Биофулинг развивается при закреплении микроорганизмов и

ISSN 3030-3907

формировании биоплёнки. Солеотложение связано с кристаллизацией $CaCO_3$, $CaSO_4$ и кремнезёмных фаз при локальном пересыщении раствора [10].

Таблица 1.

Основные типы загрязнений RO-мембран, актуальные для водоподготовки ТЭС

Тип загрязнения	Характерные компоненты	Основное влияние на работу мембраны
Органический фулинг	Гуминовые вещества, BSA, органические реагенты	Снижение потока, рост необратимой адсорбции, ухудшение восстановления после промывки
Коллоидное загрязнение	Коллоидный SiO_2, глина, гидроксиды Fe/Al	Формирование слоя частиц, увеличение гидравлического сопротивления
Биофулинг	Микроорганизмы, биоплёнки, EPS	Длительное снижение производительности, повышенная частота промывок
Солеотложение	$CaCO_3$, $CaSO_4$, SiO_2	Кристаллические/аморфные отложения, локальное повреждение и падение потока

С точки зрения эксплуатации ТЭС особую опасность представляет смешанный органоминеральный фулинг. Органические молекулы способны связывать ионы кальция и магния, изменять кинетику кристаллизации и повышать прочность загрязняющего слоя. В результате снижение потока может быть обусловлено не одним механизмом, а сочетанием органической адсорбции, коллоидного накопления и неорганического солеотложения. Это требует комплексного подхода к модификации поверхности, а не только повышения водопроницаемости.

3. Поверхностная модификация как направление повышения устойчивости RO-мембран

Поверхностная модификация мембран направлена на изменение свойств активного слоя без радикального изменения всей мембранной структуры. Для полиамидных мембран это особенно важно, поскольку селективный слой имеет малую толщину и определяет одновременно транспорт воды, задержание солей и взаимодействие с фулантами. Основные направления модификации включают гидрофилизацию поверхности, введение наночастиц, формирование полимерных покрытий, ковалентную

ISSN 3030-3907

прививку функциональных групп и создание гибридных органо-неорганических слоёв [3, 13].

Гидрофильная поверхность обычно обладает меньшей склонностью к адсорбции гидрофобных органических загрязнителей. Это связывают с формированием гидратированного межфазного слоя, который снижает прямой контакт фуланта с полимерной матрицей. Однако простое увеличение гидрофильности не всегда является достаточным условием антифулингового эффекта. Необходимо также контролировать шероховатость, химическую устойчивость и прочность закрепления модифицирующего слоя.

Одним из наиболее перспективных подходов является использование неорганических наночастиц. Они могут изменять гидрофильность, заряд, морфологию и функциональность поверхности. При этом ключевым ограничением остаётся стабильность: физически нанесённые частицы могут вымываться при фильтрации и промывках. Поэтому для практического применения важно обеспечить химическое или сильное межфазное закрепление модифицирующих компонентов.

4. Обоснование выбора TiO_2 и SiO_2 для гидрофильной модификации

В качестве нанокомпонентов для модификации полиамидной RO-мембраны в настоящей работе рассматриваются TiO_2 и SiO_2. Выбор этих оксидов обусловлен сочетанием гидрофильных, химически стабильных и функциональных свойств. TiO_2 известен как химически устойчивый материал с выраженной гидрофильностью и потенциальной фотокаталитической активностью. SiO_2 характеризуется развитой поверхностью и большим количеством силанольных групп Si–OH, которые являются удобными реакционными центрами для силанизации.

Таблица 2.

Функциональная роль TiO_2 и SiO_2 в модификации полиамидных мембран

Компонент	Ключевые свойства	Ожидаемая роль в модифицирующем слое
TiO_2	Химическая стабильность, гидрофильность, потенциальная фотокаталитическая и	Повышение гидрофильности, снижение адгезии органических загрязнителей, вклад в антибиофулинговый эффект

ISSN 3030-3907

	антибактериальная активность	
SiO_2	Развитая поверхность, силанольные группы Si–OH, высокая способность к силанизации	Повышение смачиваемости, стабилизация гибридного слоя, участие в химическом закреплении
TiO_2–SiO_2	Комбинация гидрофильных и функциональных свойств двух оксидов	Формирование гибридного гидрофильного слоя с возможным синергетическим эффектом
TiO_2–SiO_2 + силан	Органо-неорганическая сетка, связи Si–O–Si/Si–O–Ti	Повышение устойчивости покрытия и снижение риска вымывания наночастиц

Литературные данные показывают, что введение TiO_2 в полиамидный слой может повысить водный поток и улучшить устойчивость к органическому фулингу при сохранении солезадержания. Так, для TiO_2-полиамидных TFN-мембран сообщалось об увеличении потока с 40 до 65 л/(м²·ч) при росте концентрации наночастиц до 0,1 мас.% и сохранении солезадержания NaCl выше 96% [5]. Другие исследования показывают, что TiO_2 способен повышать термическую стабильность и антибиофулинговую устойчивость полиамидных мембран [7].

Для SiO_2 важным преимуществом является наличие поверхностных Si–OH-групп. Они повышают гидрофильность и облегчают химическое связывание с органосилановыми агентами. Сравнительное исследование TiO_2 и SiO_2 в тонкоплёночных нанокомпозитных мембранах показало, что при 0,5% TiO_2 контактный угол снижался с 58° до 38,7°, а водопроницаемость возрастала на 130%; при 0,5% SiO_2 контактный угол снижался до 28°, а рост водопроницаемости достигал 320% относительно контроля [8]. Эти данные указывают на различный, но взаимодополняющий вклад двух оксидов.

ISSN 3030-3907

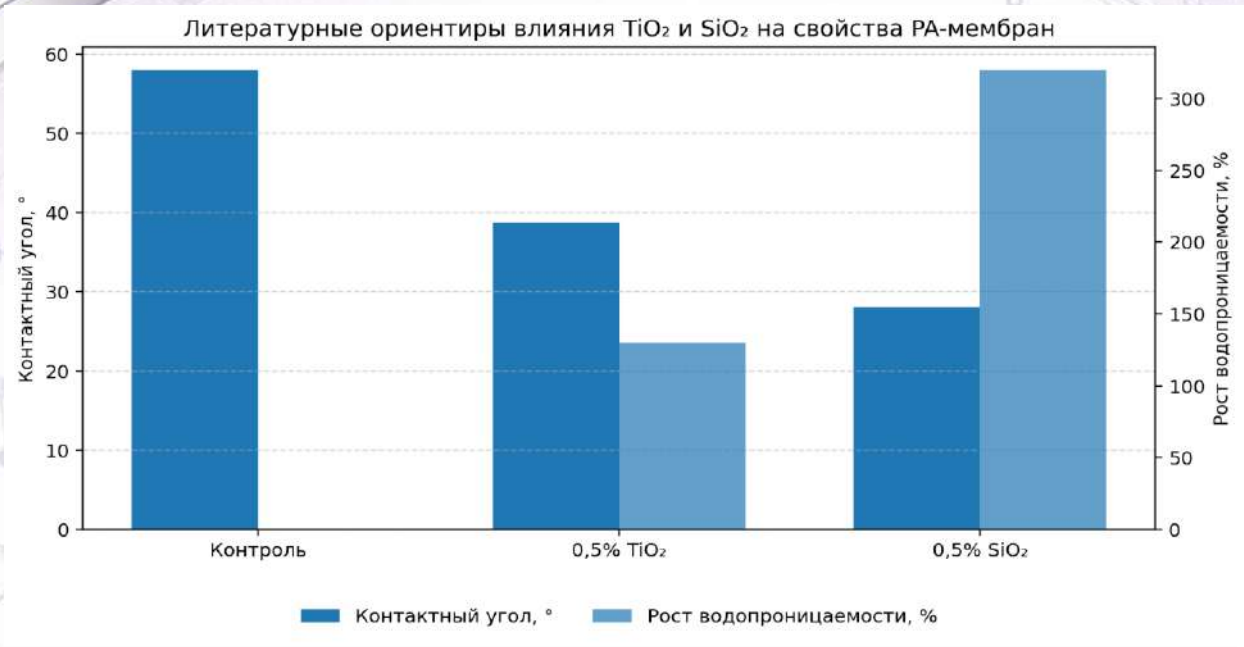


Рисунок 1. Литературные ориентиры влияния TiO_2 и SiO_2 на контактный угол и водопроницаемость полиамидных мембран по данным [8].

Таблица 3.

Литературные значения контактного угла и прироста водопроницаемости полиамидных мембран при введении TiO_2 и SiO_2 (пояснение к Рисунку 1)

Образец	Контактный угол, °	Рост водопроницаемости относительно контроля, %
Контроль	58	0
0,5% TiO_2	38,7	130
0,5% SiO_2	28	320

5. Роль силановых агентов в химическом закреплении TiO_2–SiO_2-слоя

Главное ограничение многих наночастичных покрытий заключается в недостаточной устойчивости к вымыванию. В условиях RO-фильтрации мембрана подвергается давлению, сдвиговым нагрузкам, изменению ионной силы, pH и периодическим промывкам. Если наночастицы удерживаются только физической адсорбцией, эффект гидрофилизации и антифулинга может снижаться во времени.

Для повышения стабильности целесообразно использовать органосилановые агенты, такие как APTES и GPTMS. После гидролиза алкоксисилановых групп образуются силанольные группы, способные конденсироваться с поверхностными гидроксильными группами SiO_2 и TiO_2. В результате могут формироваться связи Si–O–Si и Si–O–Ti. Органическая часть силана при этом может взаимодействовать с полиамидной

ISSN 3030-3907

поверхностью или формировать промежуточный органо-неорганический слой.

APTES содержит аминопропильную группу, которая может влиять на заряд и реакционную способность поверхности. GPTMS содержит эпоксидную группу и может участвовать в реакциях раскрытия эпоксидного цикла. Выбор между APTES и GPTMS должен определяться не только способностью к закреплению, но и итоговым влиянием на водопроницаемость, солезадержание и фулинг.

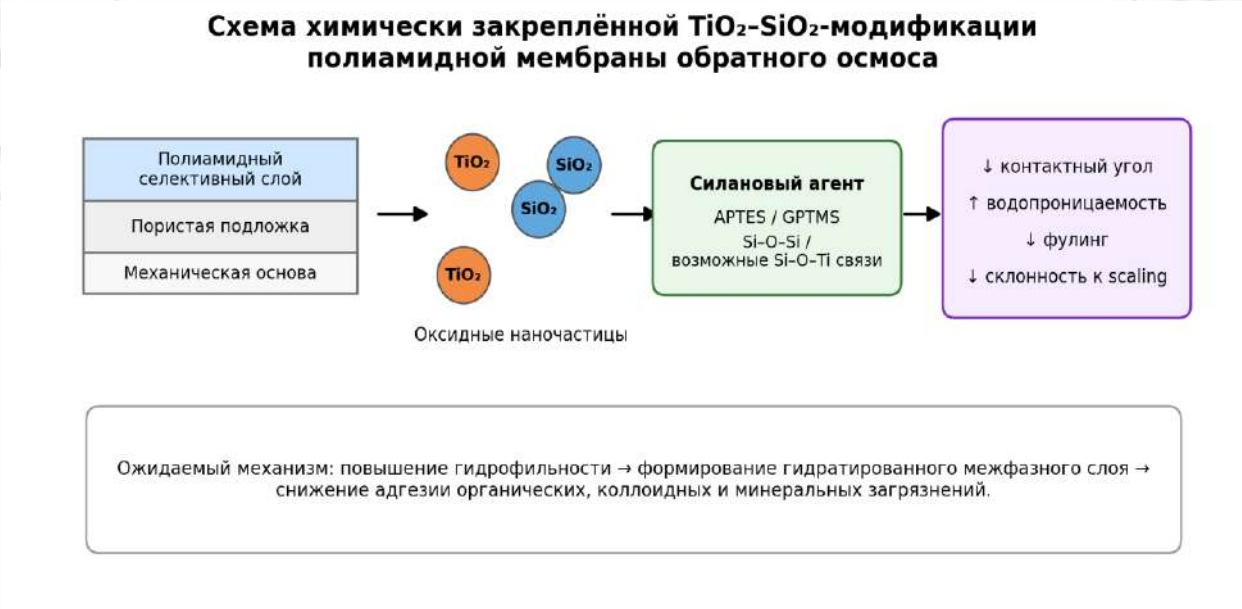


Рисунок 2. Концептуальная схема формирования химически закреплённого TiO_2–SiO_2-содержащего гидрофильного слоя на полиамидной RO-мембране.

6. Предлагаемая методологическая схема исследования

Для проверки предложенной концепции целесообразно использовать экспериментальную матрицу, включающую исходную полиамидную мембрану, однооксидные модификации, смешанные TiO_2–SiO_2-композиции и варианты с силановым закреплением. Такая схема позволяет разделить вклад отдельных компонентов и оценить роль химического закрепления.

Таблица 4.

Рекомендуемая матрица образцов для оценки TiO_2–SiO_2-модификации

Код	Тип образца	Цель сравнения
M0	Исходная полиамидная RO-мембрана	Базовый контроль
M1	PA + TiO_2	Оценка самостоятельного влияния TiO_2
M2	PA + SiO_2	Оценка самостоятельного влияния SiO_2

ISSN 3030-3907

M3	PA + TiO_2–SiO_2 (1:1)	Оценка совместного действия оксидов
M4	PA + TiO_2–SiO_2 с преобладанием TiO_2	Оценка влияния повышенной доли TiO_2
M5	PA + TiO_2–SiO_2 с преобладанием SiO_2	Оценка влияния повышенной доли SiO_2
M6	PA + TiO_2–SiO_2 + APTES	Оценка аминопропильного силанового закрепления
M7	PA + TiO_2–SiO_2 + GPTMS	Оценка эпоксисодержащего силанового закрепления

Ключевым требованием к экспериментальной схеме является сопоставимость условий. Все мембраны должны испытываться при одинаковой площади, давлении, температуре, концентрации солевого раствора, времени фильтрации и условиях промывки. В противном случае различия в потоке и фулинге могут быть связаны не с модификацией, а с изменением режима опыта.

7. Критерии физико-химической и мембранной оценки

Эффективность TiO_2–SiO_2-модификации не может оцениваться по одному показателю. Снижение контактного угла является важным признаком повышения гидрофильности, однако оно должно сопровождаться сохранением солезадержания и устойчивости модифицирующего слоя. Поэтому необходима комплексная система критериев.

Таблица 5.

Основные показатели оценки эффективности TiO_2–SiO_2-модификации полиамидных мембран обратного осмоса

Группа показателей	Метод / параметр	Интерпретация
Гидрофильность	Контактный угол воды	Снижение контактного угла указывает на повышение смачиваемости поверхности
Морфология	Сканирующая электронная микроскопия (SEM), атомно-силовая микроскопия (AFM)	Оценка равномерности модифицирующего слоя, наличия агломератов, дефектов и изменения шероховатости
Химический состав	Фурье-ИК-спектроскопия (FTIR), рентгеновская	Подтверждение присутствия Ti и Si на

ISSN 3030-3907

	фотоэлектронная спектроскопия (XPS), энергодисперсионный рентгеновский анализ при SEM (SEM/EDX)	поверхности, выявление Si–O–Si, органосилановых фрагментов и возможных Si–O–Ti связей
Транспорт воды	Чистый водный поток, водопроницаемость	Оценка изменения проницаемости мембраны и гидравлического сопротивления после модификации
Селективность	Солезадержание NaCl, общее содержание растворённых веществ (TDS), электропроводность пермеата	Проверка сохранения разделительной способности мембраны после нанесения модифицирующего слоя
Антифулинг	Коэффициент восстановления потока (FRR), общий фулинг (Rt), обратимый фулинг (Rr), необратимый фулинг (Rir)	Оценка общего, обратимого и необратимого загрязнения, а также способности мембраны восстанавливать поток после промывки
Антискейлинг	Падение потока при фильтрации растворов $CaCO_3$, $CaSO_4$ и SiO_2; SEM/EDX-анализ после испытаний	Оценка устойчивости мембраны к минеральным отложениям и подтверждение состава отложений
Стабильность слоя	Повторные промывки, циклы «фулинг–очистка», повторное измерение контактного угла и потока	Проверка сохранения гидрофильности, производительности и признаков присутствия TiO_2–SiO_2-слоя после эксплуатационных воздействий

ISSN 3030-3907

Для оценки фулинга целесообразно использовать стандартные безразмерные показатели. Коэффициент восстановления потока FRR рассчитывается как отношение потока после промывки к начальному потоку. Общий фулинг Rt определяется как относительное падение потока после загрязнения. Обратимая часть Rr соответствует восстановленной доле потока, а необратимая Rir показывает остаточную потерю производительности после промывки. Для практического применения наиболее важны высокий FRR и низкий Rir.

Для наглядного представления многофакторного подхода к оценке эффективности модификации может быть использована радиальная диаграмма (Рис.3), отражающая основные критерии: гидрофильность, водопроницаемость, солезадержание, антифулинговые свойства, антискейлинговую устойчивость и стабильность слоя. Диаграмма носит концептуальный характер и не заменяет экспериментальную оценку.

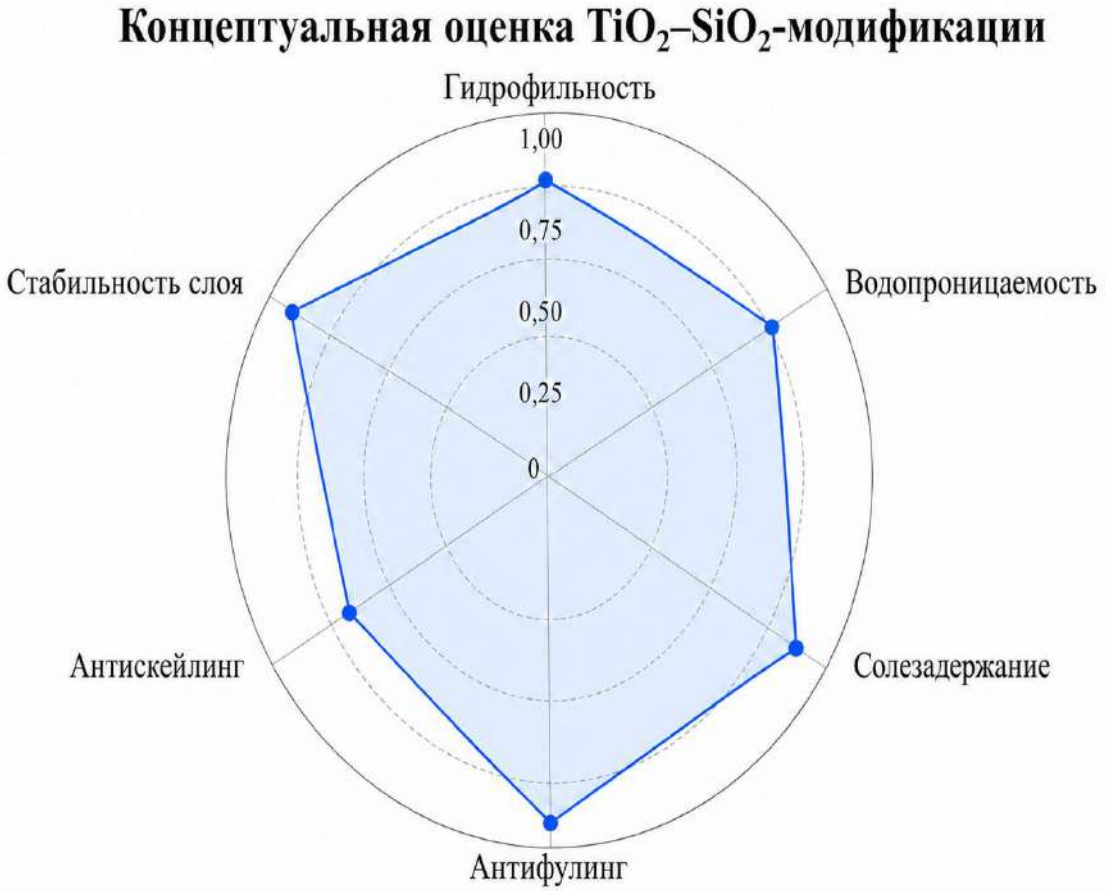


Рисунок 3. Комплекс критериев оценки эффективности TiO_2–SiO_2-модифицированного слоя.

8. Ожидаемое влияние TiO_2–SiO_2-модификации на фулинг и солеотложение

ISSN 3030-3907

Ожидаемое антифулинговое действие TiO_2–SiO_2-модификации связано прежде всего с повышением гидрофильности поверхности. Гидрофильный слой способен снижать прямой контакт органических молекул с полиамидной матрицей, уменьшать адгезию белковых и гуминовых соединений и облегчать удаление загрязнений промывкой. При наличии TiO_2 дополнительно возможен антибактериальный и фотокаталитический вклад, хотя в реальных RO-модулях этот эффект требует специальной организации УФ-воздействия [4, 7].

Антискейлинговое действие модификации следует рассматривать осторожно. Повышение гидрофильности может снижать адгезию зарождающихся кристаллов, однако сама по себе гидрофильность не гарантирует предотвращение $CaCO_3$, $CaSO_4$ или SiO_2-отложений. На кристаллизацию влияют степень пересыщения, pH, ионная сила, температура и концентрационная поляризация. Поэтому антискейлинговый эффект должен подтверждаться испытаниями на модельных растворах, а не только контактным углом.

Наиболее перспективным является не максимальное увеличение потока, а сохранение баланса между проницаемостью и селективностью. Избыточное количество наночастиц может привести к агломерации, росту шероховатости, дополнительному сопротивлению или появлению дефектов. Поэтому оптимальный слой должен быть тонким, равномерным, химически закреплённым и стабильным после промывки.

9. Практическое значение для систем водоподготовки теплоэлектростанций

Для ТЭС практическое значение модифицированных мембран заключается в повышении стабильности работы обратноосмотических блоков. Если TiO_2–SiO_2-содержащий слой обеспечивает снижение необратимого фулинга и уменьшает интенсивность минеральных отложений, это может привести к снижению частоты химических промывок, стабилизации потока пермеата и увеличению срока службы мембранных элементов.

Особый интерес представляет применение таких мембран на стадиях предварительного обессоливания, где исходная вода содержит природную органику, соли жёсткости и кремнезём. В этих условиях мембраны испытывают комбинированную нагрузку, и поэтому модификация поверхности должна быть не только гидрофильной, но и устойчивой к вымыванию. Именно по этой причине химическое закрепление через силановые агенты является более перспективным направлением, чем простое физическое нанесение наночастиц.

ISSN 3030-3907

Для промышленного внедрения необходимо учитывать технологичность метода. Модификация должна быть воспроизводимой, не должна ухудшать солезадержание, должна быть совместимой с коммерческими полиамидными мембранами и не должна требовать агрессивных условий, разрушающих селективный слой. В этом отношении TiO_2–SiO_2-силановые системы представляют практический интерес, поскольку могут быть адаптированы к поверхностной обработке готовых мембранных купонов или элементов.

10. Ограничения и направления дальнейших исследований

Настоящая статья имеет обзорно-методологический характер. Она обосновывает научную гипотезу и предлагает схему экспериментальной проверки, но не заменяет полноценные лабораторные испытания. Для подтверждения эффективности TiO_2–SiO_2-модификации необходимы измерения контактного угла, SEM/EDX, FTIR/XPS, водопроницаемости, солезадержания, FRR и устойчивости к $CaCO_3$, $CaSO_4$ и кремнезёмному солеотложению.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на подбор оптимального соотношения TiO_2/SiO_2, сравнение APTES и GPTMS, определение концентрации силанового агента, проверку стабильности после многократных циклов фулинг–промывка и испытания на реальных водах ТЭС. Также важным является изучение возможного влияния модификации на стойкость полиамидного слоя к химическим промывкам и длительному воздействию солевых растворов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Выполненный анализ показывает, что формирование химически закреплённого TiO_2–SiO_2-содержащего гидрофильного слоя является перспективным направлением повышения устойчивости полиамидных мембран обратного осмоса к фулингу и солеотложению. TiO_2 и SiO_2 обладают взаимодополняющими свойствами: TiO_2 может вносить функциональный антифулинговый и антибактериальный вклад, а SiO_2 повышает гидрофильность и облегчает силановое закрепление за счёт поверхностных силанольных групп.

Применение силановых агентов APTES/GPTMS позволяет перейти от физически нанесённого покрытия к более устойчивой органо-неорганической структуре, что особенно важно для эксплуатации мембран в условиях давления, промывок и переменного состава воды. Для систем водоподготовки ТЭС такой подход может быть полезен за счёт снижения необратимого фулинга, повышения стабильности потока и уменьшения риска минерального загрязнения.

ISSN 3030-3907

Предложенная методологическая схема включает экспериментальную матрицу M0–M7 и комплекс критериев оценки: контактный угол, морфология, химический состав, водопроницаемость, солезадержание, FRR, Rt, Rr, Rir и устойчивость к $CaCO_3$, $CaSO_4$ и SiO_2. Наиболее перспективным следует считать состав, который обеспечивает не максимальное изменение одного параметра, а оптимальный баланс между гидрофильностью, селективностью, антифулинговой устойчивостью и стабильностью после промывки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee K. P., Arnot T. C., Mattia D. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination — Development to date and future potential. Journal of Membrane Science. 2011;370(1–2):1–22. DOI: 10.1016/j.memsci.2010.12.036.
2. Werber J. R., Osuji C. O., Elimelech M. Materials for next-generation desalination and water purification membranes. Nature Reviews Materials. 2016;1:16018. DOI: 10.1038/natrevmats.2016.18.
3. Rana D., Matsuura T. Surface modifications for antifouling membranes. Chemical Reviews. 2010;110(4):2448–2471. DOI: 10.1021/cr800208y.
4. Kwak S. Y., Kim S. H., Kim S. S. Hybrid organic/inorganic reverse osmosis (RO) membrane for bactericidal anti-fouling. 1. Preparation and characterization of TiO_2 nanoparticle self-assembled aromatic polyamide thin-film-composite membrane. Environmental Science & Technology. 2001;35(11):2388–2394. DOI: 10.1021/es0017099.
5. Al Mayyahi A. TiO_2 polyamide thin film nanocomposite reverse osmosis membrane for water desalination. Membranes. 2018;8(3):66. DOI: 10.3390/membranes8030066.
6. Al Mayyahi A. Important approaches to enhance reverse osmosis (RO) thin film composite membrane performance. Membranes. 2018;8(3):68. DOI: 10.3390/membranes8030068.
7. Khorshidi B., Biswas I., Ghosh T., Thundat T., Sadrzadeh M. Robust fabrication of thin film polyamide-TiO_2 nanocomposite membranes with enhanced thermal stability and anti-biofouling propensity. Scientific Reports. 2018;8:784. DOI: 10.1038/s41598-017-18724-w.
8. Urper-Bayram G. M., Bossa N., Warsinger D. M., Koyuncu I., Wiesner M. R. Comparative impact of SiO_2 and TiO_2 nanofillers on the performance of thin-film nanocomposite membranes. Journal of Applied Polymer Science. 2020;137(44):49382. DOI: 10.1002/app.49382.
9. Petukhov D. I., et al. Graphene oxide surface modification of reverse osmosis membrane via Langmuir-Blodgett technique: balancing performance and

ISSN 3030-3907

antifouling properties. Membranes. 2024;14(8):172. DOI: 10.3390/membranes14080172.
10. Maddah H. A., Chogle A. Biofouling in reverse osmosis: phenomena, monitoring, controlling and remediation. Applied Water Science. 2017;7:2637–2651. DOI: 10.1007/s13201-016-0493-1.
11. Elimelech M., Phillip W. A. The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. Science. 2011;333(6043):712–717. DOI: 10.1126/science.1200488.
12. Greenlee L. F., Lawler D. F., Freeman B. D., Marrot B., Moulin P. Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. Water Research. 2009;43(9):2317–2348. DOI: 10.1016/j.watres.2009.03.010.
13. Pendergast M. M., Hoek E. M. V. A review of water treatment membrane nanotechnologies. Energy & Environmental Science. 2011;4:1946–1971. DOI: 10.1039/C0EE00541J.
14. Petersen R. J. Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes. Journal of Membrane Science. 1993;83(1):81–150. DOI: 10.1016/0376-7388(93)80014-O.
15. Malaeb L., Ayoub G. M. Reverse osmosis technology for water treatment: state of the art review. Desalination. 2011;267(1):1–8. DOI: 10.1016/j.desal.2010.09.001.
16. Pasternack R. M., Rivillon Amy S., Chabal Y. J. Attachment of 3-(aminopropyl)triethoxysilane on silicon oxide surfaces: dependence on solution temperature. Langmuir. 2008;24(22):12963–12971. DOI: 10.1021/la8024827.
17. Baker R. W. Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2012.
18. Mulder M. Basic Principles of Membrane Technology. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1996.

ISSN 3030-3907

POLIVINILXLORID SANOATI CHIQINDILARINI QAYTA ISHLASH

Xalibekova Almagul Kenjebayevna
Navoiy davlat universiteti, Navoiy, O‘zbekiston.
E-mail: almagulxalibekova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqola polivinilxlorid ishlab chiqarishida hosil bo‘ladigan xlororganik suyuq chiqindilarni qayta ishlashning ilmiy asoslarini 2,2-dixlorpropan dan atseton olish misolida yoritadi. Maqsad chiqindi oqimlaridagi yuqori xlorlangan komponentlarni qiymatli mahsulotga aylantiruvchi selektiv texnologik yo‘lni ishlab chiqish va ekologik yuklamani kamaytirishdir. Ilmiy yangilik 2,2-dixlorpropanning bosqichma-bosqich gidroliz dexlorsizlanishi hamda hosil bo‘ladigan gem-diollarning qayta tuzilishi orqali atseton selektivligini oshiruvchi integrallashgan yondashuvni asoslashdan iborat. Natijalar chiqindi tarkibini optimallashtirish va HCl ni qayta foydalanishga yo‘naltirish orqali iqtisodiy samaradorlik oshishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar. polivinilxlorid; suyuq chiqindilar; 2,2-dixlorpropan; gidroliz; dexlorsizlanish; atseton; selektivlik.

Аннотация. В данной статье рассмотрены научные основы переработки хлорорганических жидких отходов, образующихся при производстве поливинилхлорида, на примере получения ацетона из 2,2-дихлорпропана. Цель исследования заключается в разработке селективного технологического подхода, обеспечивающего превращение высокохлорированных компонентов отходов в ценный химический продукт и снижение экологической нагрузки. Научная новизна работы состоит в обосновании интегрированного подхода, основанного на последовательном гидролитическом дехлорировании 2,2-дихлорпропана и перегруппировке образующихся гем-диолов, что способствует повышению селективности образования ацетона. Полученные результаты показывают, что оптимизация состава отходов и организация рециклинга образующегося HCl позволяют повысить экономическую эффективность процесса.

Ключевые слова: поливинилхлорид; жидкие отходы; 2,2-дихлорпропан; гидролиз; дехлорирование; ацетон; селективность.

Abstract. This article discusses the scientific basis for the recycling of chlorinated organic liquid wastes generated during polyvinyl chloride (PVC) production, using the conversion of 2,2-dichloropropane into acetone as a case study. The aim of the research is to develop a selective technological approach that enables the transformation of highly chlorinated waste components into valuable chemical products while reducing environmental impact. The scientific novelty of the work lies in substantiating an integrated approach based on the stepwise hydrolytic dechlorination of 2,2-dichloropropane and the rearrangement of the resulting gem-

ISSN 3030-3907

diols, thereby enhancing the selectivity of acetone formation. The results demonstrate that optimization of waste composition and recycling of the generated HCl can significantly improve the economic efficiency of the process.

Keywords: polyvinyl chloride; liquid waste; 2,2-dichloropropane; hydrolysis; dechlorination; acetone; selectivity.

KIRISH.

Polivinilxlorid sanoati xlorli organik moddalarning katta miqdorda aylanishi bilan tavsiflanadi va bu jarayonda reaksiya yon mahsulotlari va suyuq chiqindilar hosil bo‘ladi, suyuq chiqindilar deganda tarkibida erigan xloridlar, xlororganik erituvchilar va past qaynaydigan C_2–C_4 fraksiyalar bo‘lgan ko‘p komponentli aralashmalar tushuniladi. Mazkur chiqindilarning shakllanish mexanizmi odatda vinilxlorid monomeri olish va polimerlash bosqichlarida yuzaga keladigan xlorlash, degidroxlorlash hamda radikal yon reaksiyalar bilan bog‘liq bo‘lib, ularda geminal digalogenlangan propanlar kabi barqaror komponentlar to‘planadi. Amaliy misol sifatida 2,2-dixlorpropan ko‘pincha C_3 xlorlangan fraksiya tarkibida uchraydi va u toksikologik hamda korroziy xususiyatlari sababli to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘q qilishni murakkablashtiradi. Sanoat kuzatuvlari va ochiq manbalardagi tipik balanslarga ko‘ra, PVX bilan bog‘liq xlororganik suyuq oqimlar korxona quvvatiga qarab 1 t mahsulotga 2–10 kg diapazonda chiqishi mumkin, bunda xlor ulushi massaviy 20–60 foizga yetishi ehtimoli mavjud [1]. Ilmiy nuqtai nazardan, bunday oqimlarni “yopiq kontur” tamoyili asosida qayta ishlash nafaqat ekologik xavflarni kamaytiradi, balki C3 skeletli molekulalarni qiymatli kislorodli mahsulotlar sinfiga o‘tkazish orqali uglerod samaradorligini oshiradi, shu sababli 2,2-dixlorpropandan atseton olish yo‘li ilmiy va texnologik jihatdan dolzarb hisoblanadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Atsetonni 2,2-dixlorpropandan olish mexanizmi, umumiy holda, gem-dixloridning suvli muhitda gidrolizi natijasida gem-diol yoki tegishli xlorlangan spirtlar hosil bo‘lishi va keyinchalik qayta tuzilish hamda dexlorsizlanish bosqichlari orqali karbonilga o‘tishi bilan izohlanadi, bunda ajralib chiqadigan HCl reaksion muhitni keskin kislotali qiladi. Sanoatga yaqin misol sifatida gidrolitik konversiyada suv, ishqor yoki gidroliz katalizatorlari ishtirok etib, ajralgan HCl ni neytrallash yoki qayta tutib olish zarurati tug‘iladi, aks holda korroziya va yon reaksiyalar kuchayadi. Adabiyotlarda geminal digalidlarning gidrolizi 60–120 C^O oralig‘ida tezlashishi, bosim esa uchuvchan komponentlar yo‘qotilishini cheklashi qayd etiladi, shuningdek, pH 2 dan past bo‘lganda selektivlik pasayishi mumkinligi ko‘rsatiladi [2; 3]. Ilmiy izoh shundan iboratki, 2,2-dixlorpropan molekulasidagi C–Cl bog‘larining qutblanishi va markaziy uglerodning elektrofilligi S_{N1}/S_{N2} aralash mexanizmga sharoit yaratadi, ammo suvning zaif nukleofilligi va HCl hosil

ISSN 3030-3907

bo‘lishi muvozanatni orqaga surishi mumkin, shuning uchun jarayonni termodinamik va kinetik jihatdan muvozanatlash muhimdir.

TADQIQOT METODIKASI.

Tadqiqotlarda PVX ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘lgan xlororganik chiqindilar xom ashyo sifatida qo‘llanildi va ulardan atseton sintez qilish bo‘yicha barcha tajribalar laboratoriya sharoitida amalga oshirildi. Jarayon uchun $Ca(OH)_2$ bilan modifikatsiyalangan bentonit katalizatori tayyorlandi. Buning uchun dastlab 45,5 g CaO ga 30–40 ml distillangan suv qo‘shilib so‘ndirish orqali $Ca(OH)_2$ olindi. Hosil bo‘lgan massa 110°C da 2 soat davomida quritilib maydalandi. Keyingi bosqichda 140 g bentonit va 60 g $Ca(OH)_2$ quruq holda aralashtirildi hamda aralashmaga 50–60 ml suv qo‘shilib xamirsimon massa hosil qilindi. Massa diametri 10–13 mm bo‘lgan tabletkalar shakliga keltirildi. Tayyorlangan tabletkalar 110–120°C da 6–8 soat quritildi va so‘ngra 300°C da 2 soat davomida termik ishlov berildi.

Modifikatsiyalangan bentonit ishtirokida 2,2-dixlorpropandan atseton olish jarayoni bug‘ fazasida olib borildi. Jarayonning asosiy afzalligi uning uzluksiz xarakterga ega ekanligidir. Reaksiya natijasida hosil bo‘lgan atseton bug‘ holatida reaksiya zonasidan chiqib ketadi, bu esa Le-Shatelye printsipiga muvofiq muvozanatning mahsulotlar tomon siljishiga va atseton unumining ortishiga olib keladi. Bundan tashqari, ajralib chiqadigan HCl katalizatordagi $Ca(OH)_2$ bilan reaksiyaga kirishib, $CaCl_2$ hosil qiladi va shu orqali reaksion muhitning haddan tashqari kislotalanishining oldi olinadi.

Bentonit ushbu katalitik tizimda faqat tashuvchi vazifasini bajarib qolmay, balki o‘zining g‘ovakli tuzilishi hisobiga faol komponentning dispersligini oshiradi, issiqlik barqarorligini ta’minlaydi hamda hosil bo‘layotgan $CaCl_2$ ni o‘zida ushlab qoladi. Shuningdek, bentonit katalizatorga zarur mexanik mustahkamlik berib, uning uzoq muddat ishlashiga imkon yaratadi. Tadqiqot natijalari $Ca(OH)_2$ bilan modifikatsiyalangan bentonitni 5–7 marotabagacha qayta ishlatish mumkinligini ko‘rsatdi. Har bir sikldan so‘ng katalitik faollik taxminan 5–10 % ga kamayishi kuzatildi va katalizatorni qayta aktivatsiyalash talab etildi.

Taklif etilayotgan usul ekologik jihatdan ham muhim afzalliklarga ega. An’anaviy gidroliz jarayonlarida katta miqdorda NaCl yoki KCl saqlovchi suyuq chiqindilar hosil bo‘lsa, bug‘ fazali katalitik usulda chiqindilar miqdori sezilarli darajada kamayadi. Katalizatorning qayta ishlatilishi esa resurs tejamkorligini oshiradi va jarayonning iqtisodiy samaradorligini yaxshilaydi.

TAHLIL VA NATIJALAR.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, NaOH va KOH yuqori unum va tezlikka ega, $Ca(OH)_2$ esa sezilarli darajada past ko‘rsatkichlarga ega (1-jadval).

ISSN 3030-3907

1-jadval.

Turli ishqorlarning qiyosiy samaradorligi

	Eruvchanligi 20 °C	Optimal harorat °C	Konsentratsiya %	Reaksiya vaqti (min)	Reaksiya unumi %
KOH	112g/100ml	60-80	10-30	30-50	85-95
NaOH	109g/100ml	60-80	10-40	30-60	75-90
$Ca(OH)_2$	0,16g/100ml	120-180	5-10 suspenziya	120-240	60-70

$Ca(OH)_2$ ning past unumi (60–70%) va uzoq reaksiya vaqti (2–4 soat) uning suvda kam erishi bilan bog‘liq. Reaksiya faqat suvda erigan OH^- ionlari hisobiga boradi, to‘yingan $Ca(OH)_2$ eritmasida OH^- konsentratsiyasi atigi 0.02 M ni tashkil qiladi.

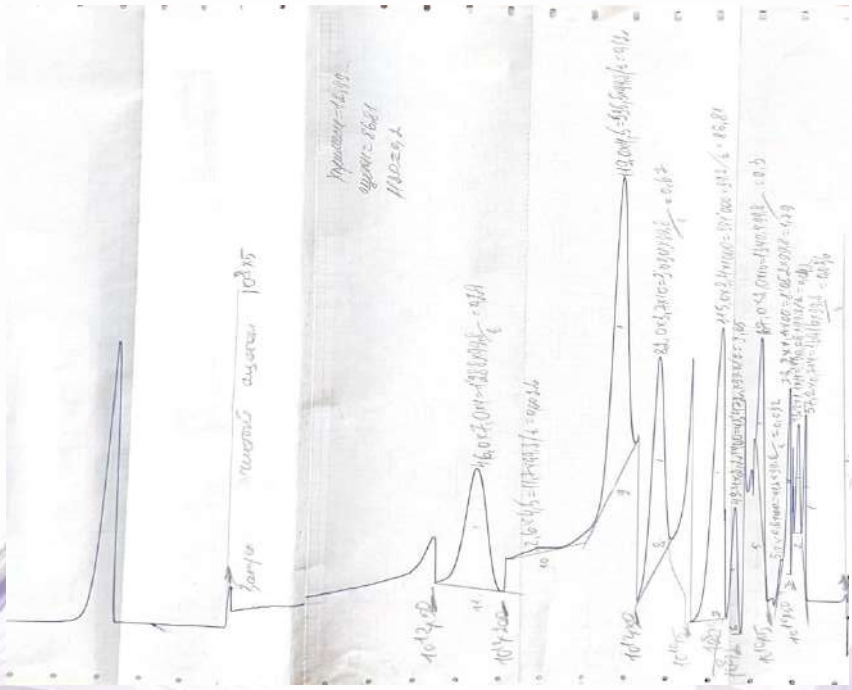
Bug‘ fazali reaksiya natijasida olib borilgan tajribalar quyidagi natijalarni ko‘rsatdi

2-jadval.

Bug‘ fazali reaksiya parametrlari va natijalari

Katalizator massasi	50 g
Reaksiya davomiyligi	2 soat
Unum	75–85%

Reaktor haroratining unumga ta'siri optimal harorat 150–200°C oralig‘ida ekanligi aniqlandi. Unum gaz xromatografiyasi (SVET-500) yordamida aniqlandi (rasm.)



1-Rasm.Atseton chiqish unumining gaz-xromotografik tahlili

ISSN 3030-3907

Barcha usullarning qiyosiy tahlili 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval.

Barcha usullarning qiyosiy samaradorligi

Mezon	KOH	NaOH	$Ca(OH)_2$	$Ca(OH)_2$ bentonit
Unum (%)	85–95	75-90	60–70	75–85
Reaksiya vaqti (min)	30–60	30–60	2–4 soat	2–4 soat
Harorat	70–80°C	70–80°C	120–180°C	150–200°C

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Olingan natijalar PVX sanoati chiqindilarini qayta ishlashda 2,2-dixlorpropanni atsetonga konversiyalash istiqbolli yo‘nalish ekanligini ko‘rsatdi. $Ca(OH)_2$ bilan modifikatsiyalangan bentonit asosidagi katalitik tizim yuqori samaradorlik, ekologik xavfsizlik va texnologik qulaylikni ta’minlaydi. Ushbu usulni sanoat miqyosida joriy etish chiqindilar hajmini kamaytirish, uglerod resurslaridan oqilona foydalanish hamda atseton ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR

1. Karimov A. A., Tursunov B. O. Polivinilxlorid ishlab chiqarish texnologiyasi va chiqindilarni kamaytirish yo‘llari. Toshkent, Fan va texnologiya, 2021. 256 b.
2. March J., Smith M. B. March’s Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure. New York, Wiley, 2013. 2312 p.
3. Carey F. A., Sundberg R. J. Advanced Organic Chemistry. Part A: Structure and Mechanisms. New York, Springer, 2007. 816 p.
4. Augustine R. L. Heterogeneous Catalysis for the Synthetic Chemist. New York, Marcel Dekker, 1996. 608 p.

ISSN 3030-3907

SMART CONSTRUCTION MANAGEMENT: INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BIM, AND DIGITAL TWINS FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE

Salimboev Ziynatullo Ziyodullo o‘g‘li
Bukhara State Technical University Lecturer
E-mail: ziynatullosalimboev@gmail.com
Nicola Nistico
Sapienza University of Rome Italy Professor

Abstract. The construction industry stands at the intersection of three transformative digital technologies—artificial intelligence (AI), Building Information Modeling (BIM), and digital twins—whose convergence is redefining how infrastructure is planned, delivered, and operated. This paper develops an integrated analytical framework of Smart Construction Management (SCM), in which AI provides cognitive capability, BIM delivers structured semantic representation, and the digital twin establishes a continuous link between the physical asset and its computational counterpart. Drawing on a structured review of peer-reviewed literature published between 2016 and 2024 and on industry reports, the study identifies the architecture of SCM systems, maps AI techniques to BIM-based functions, and quantifies expected performance gains across schedule, cost, safety, productivity, energy, and rework dimensions. The analysis shows that integrated AI–BIM–digital-twin systems are associated with reported productivity gains of 15–50 %, schedule reductions of 10–25 %, safety incident reductions of 20–35 %, and energy-efficiency improvements of 10–25 %. Implementation challenges related to data, organization, ethics, and cybersecurity are critically discussed, and concrete recommendations are proposed for construction firms, engineers, universities, and regulators. The article concludes that SCM constitutes a structural shift toward a data-driven, automated, and sustainable model of infrastructure development.

Keywords: smart construction management, artificial intelligence, Building Information Modeling, digital twin, predictive analytics, sustainable infrastructure, computer vision, Industry 4.0.

Аннотация. Строительная отрасль находится на пересечении трёх трансформирующих цифровых технологий — искусственного интеллекта (ИИ), информационного моделирования зданий (BIM) и цифровых двойников, — конвергенция которых коренным образом меняет подходы к планированию, реализации и эксплуатации инфраструктурных объектов. В данной работе разработана интегрированная аналитическая концепция интеллектуального управления строительством (IУС), в рамках которой ИИ обеспечивает когнитивные возможности, BIM формирует

ISSN 3030-3907

структурированное семантическое представление данных, а цифровой двойник устанавливает непрерывную связь между физическим объектом и его вычислительной моделью. На основе систематического обзора рецензируемой литературы, опубликованной в период с 2016 по 2024 год, а также отраслевых отчётов в исследовании определены архитектура систем ИУС, выполнено сопоставление методов ИИ с функциями на основе BIM, а также дана количественная оценка ожидаемых улучшений показателей в части сроков, стоимости, безопасности, производительности, энергопотребления и переделок. Анализ показывает, что интегрированные системы ИИ–BIM–цифровой двойник обеспечивают рост производительности на 15–50 %, сокращение сроков выполнения работ на 10–25 %, снижение числа инцидентов, связанных с охраной труда, на 20–35 %, а также повышение энергоэффективности на 10–25 %. Подробно рассматриваются проблемы внедрения, связанные с данными, организацией, этикой и кибербезопасностью, и формулируются конкретные рекомендации для строительных компаний, инженеров, университетов и регуляторов. В статье сделан вывод о том, что ИУС представляет собой структурный сдвиг в сторону информационно-управляемой, автоматизированной и устойчивой модели развития инфраструктуры.

Ключевые слова: интеллектуальное управление строительством, искусственный интеллект, информационное моделирование зданий, цифровой двойник, предиктивная аналитика, устойчивая инфраструктура, компьютерное зрение, Индустрия 4.0.

Annotatsiya. Qurilish sanoati uchta transformatsion raqamli texnologiyaning — sun’iy intellekt (SI), binolarni axborot modellashtirish (BIM) va raqamli egizaklar — kesishmasida joylashgan bo‘lib, ularning integratsiyasi infratuzilmani rejalashtirish, qurish va ekspluatatsiya qilish usullarini tubdan o‘zgartirmoqda. Ushbu maqolada intellektual qurilish boshqaruvi (IQB) integrallashgan analitik konsepsiyasi ishlab chiqilgan: unda SI kognitiv imkoniyatlarni ta'minlaydi, BIM tuzilgan semantik ma'lumotlar ifodasini shakllantiradi, raqamli egizak esa jismoniy ob'ekt va uning hisoblash modeli o‘rtasida uzluksiz bog‘liqlikni o‘rnatadi. 2016–2024 yillar oralig‘ida nashr etilgan peer-review adabiyotlarining tizimli sharhi va tarmoq hisobotlari asosida tadqiqotda IQB tizimlarining arxitekturasi aniqlanib, SI usullari BIM-ga asoslangan funksiyalar bilan mos holda ko‘rsatilgan, shuningdek jadval, narx, xavfsizlik, mahsuldorlik, energiya sarfi va qayta ishlash ko‘rsatkichlari bo‘yicha kutilayotgan takomillashtirish miqdori baholangan. Tahlil shuni ko‘rsatadiki, integrallashgan SI–BIM–raqamli egizak tizimlari mahsuldorlikni 15–50 % ga oshirishi, ish muddatlarini 10–25 % ga qisqartirishi, mehnat xavfsizligiga oid hodisalarni 20–35 % ga kamaytirishi va energiya

ISSN 3030-3907

samaradorligini 10–25 % ga yaxshilashi bilan bog‘liq. Ma'lumotlar, tashkilot, etika va kiberxavfsizlik bilan bog‘liq joriy etish muammolari batafsil muhokama qilinib, qurilish firmalari, muhandislar, universitetlar va tartibga soluvchilar uchun aniq tavsiyalar taklif etilgan. Maqola xulosasida IQB infratuzilma rivojlanishining ma'lumotlarga asoslangan, avtomatlashtirilgan va barqaror modeliga tomon tarkibiy siljishni ifodalashi ta'kidlanadi.

Kalit so‘zlar: intellektual qurilish boshqaruvi, sun’iy intellekt, binolarni axborot modellashtirish, raqamli egizak, prognozli tahlillar, barqaror infratuzilma, kompyuter ko‘rish, Sanoat 4.0.

1. INTRODUCTION.

The construction sector accounts for approximately 13 % of global gross domestic product and consumes nearly 36 % of global energy and 39 % of CO_2 emissions associated with the built environment, yet its productivity growth has averaged only about 1 % per year over the past two decades [World Economic Forum, 2018: 8]. This persistent gap between economic weight and operational performance has long been explained by the industry’s fragmented value chain, project-based organization, and limited digital integration. As infrastructure demand accelerates—driven by urbanization, climate adaptation, and the renewal of aging assets—the inability of traditional management practices to deliver projects on time, within budget, and within ecological limits has become a strategic concern for both governments and private investors.

Three technological forces are converging to address this challenge. Artificial intelligence introduces predictive, perceptual, and generative capabilities that can be applied across the construction lifecycle [Pan & Zhang, 2021: 3]. Building Information Modeling provides a structured, semantically rich digital representation of the built asset, enabling collaboration and data interoperability among project participants [Eastman et al., 2018: 34]. Digital twins establish a real-time, bidirectional link between the physical site and its computational replica, transforming static models into living systems [Sacks et al., 2020: 6]. Although each technology has been studied separately, their integration into a coherent management paradigm—here termed Smart Construction Management (SCM)—has received comparatively little systematic treatment.

The objective of this article is therefore to construct an analytical framework for SCM and to evaluate its theoretical, technical, and practical implications for sustainable infrastructure development. The paper contributes to the literature by (i) articulating the conceptual architecture of SCM, (ii) mapping AI techniques to BIM-enabled functions, (iii) describing a four-layer digital-twin architecture for construction, (iv) synthesizing reported performance benefits, and (v) formulating actionable recommendations for industry stakeholders.

ISSN 3030-3907

2. LITERATURE REVIEW AND THEORETICAL FRAMEWORK

Three intersecting research streams underpin the present study. The first concerns BIM as the digital backbone of construction. Eastman and colleagues argue that BIM functions as a single source of truth that supports collaboration, simulation, and lifecycle management [Eastman et al., 2018: 34]. Subsequent work has extended BIM into 4D (time), 5D (cost), and 6D (sustainability) dimensions, while emphasizing that the value of BIM grows non-linearly with the level of process integration.

The second stream addresses AI in construction engineering and management. Bilal and colleagues describe construction as a data-rich but information-poor sector and identify big-data analytics as a precondition for AI-based decision-making [Bilal et al., 2016: 503]. Pan and Zhang provide a systematic mapping of AI techniques to construction problems and observe that machine learning, computer vision, and natural language processing dominate current applications [Pan & Zhang, 2021: 11]. Akinosho and colleagues add that deep-learning architectures—particularly convolutional and recurrent networks—are increasingly used for visual inspection and time-series prediction tasks [Akinosho et al., 2020: 4].

The third-stream concerns digital twins. Tao and colleagues define the digital twin as a continuously updated virtual representation of a physical entity, characterized by bidirectional data flow and embedded analytics [Tao et al., 2019: 2406]. Boje and colleagues translate this concept to construction by emphasizing the need for semantic interoperability between BIM and the twin [Boje et al., 2020: 5], and Sacks and colleagues propose a maturity model from static BIM to closed-loop digital twins [Sacks et al., 2020: 11]. Zhang and colleagues, in a more recent contribution, refine the level-of-development requirements for construction-site digital twins and identify the lack of integration with AI as the principal research gap [Zhang et al., 2022: 4].

The literature converges on the recognition that AI, BIM, and digital twins each unlock partial value, while their integration produces transformative results. The conceptual framework of this paper is therefore built on the assumption that SCM emerges precisely at the intersection of these three domains, supported by an underlying layer of IoT-enabled data acquisition.

3. RESEARCH METHODOLOGY.

The study employs a qualitative analytical methodology grounded in a structured review of secondary sources. A search was conducted in Scopus, Web of Science, and ScienceDirect for publications dated between January 2016 and June 2024 using combinations of the keywords “artificial intelligence”, “machine learning”, “BIM”, “digital twin”, “smart construction”, “predictive analytics”, and

ISSN 3030-3907

"sustainable infrastructure". After removing duplicates and screening for thematic relevance, peer-reviewed articles, monographs, and authoritative industry reports were retained for analysis.

The selected sources were thematically coded along three axes: (i) AI technique, (ii) BIM or digital-twin function, and (iii) reported performance outcome. Coded findings were synthesized into the conceptual framework presented in Section 4 and into the comparative tables in Sections 5–8. The methodological choice is appropriate for a conference paper aimed at scientific synthesis: it enables identification of convergent patterns across heterogeneous sources, formal comparison of technological approaches, and grounded formulation of practical recommendations.

4. THE SMART CONSTRUCTION MANAGEMENT ECOSYSTEM.

Smart Construction Management can be defined as the systematic orchestration of artificial intelligence, Building Information Modeling, and digital twins, supported by an underlying layer of IoT-enabled data acquisition, to deliver infrastructure projects with measurable improvements in productivity, cost, safety, and sustainability. Figure 1 illustrates the conceptual architecture of this ecosystem.

Figure 1. Conceptual framework of Smart Construction Management

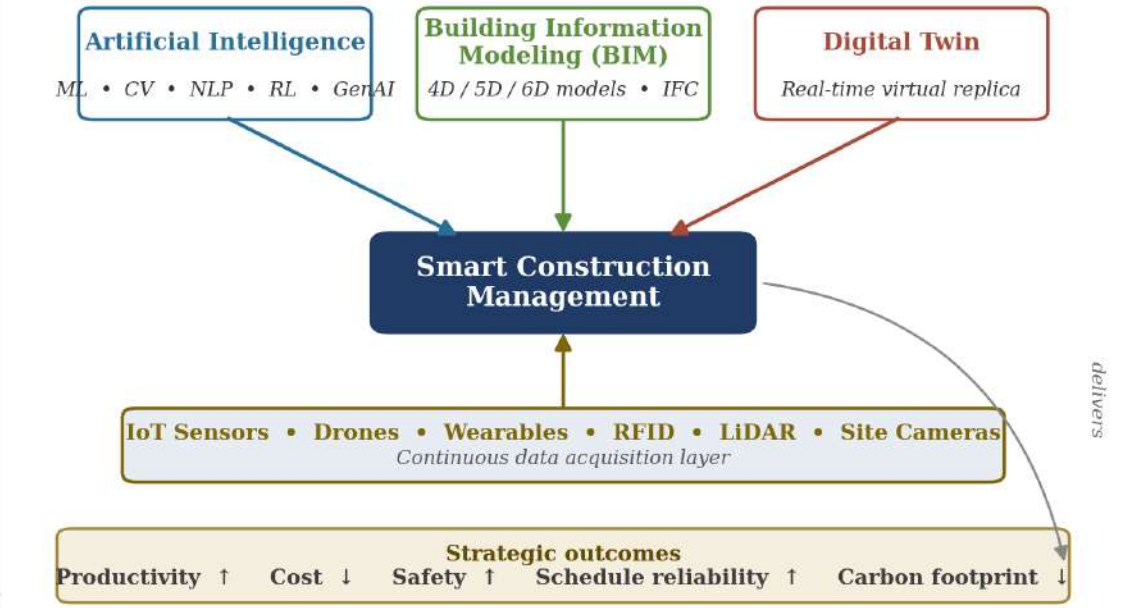


Figure 1. Conceptual framework of Smart Construction Management.

Three observations follow from this architecture. First, AI is not a stand-alone solution but a cognitive capability that derives its power from BIM-based semantic structure and from the temporal continuity provided by the digital twin. Second, the data acquisition layer—comprising IoT sensors, drones, wearables, RFID tags, LiDAR scanners, and site cameras—functions as the sensory

ISSN 3030-3907

infrastructure of SCM, transforming an opaque construction site into a continuously observable system. Third, the strategic outcomes of SCM are inseparable from one another: gains in productivity reinforce safety, while improved sustainability supports long-term cost competitiveness.

5. AI–BIM INTEGRATION: CAPABILITIES AND APPLICATIONS.

The integration of AI with BIM transforms the federated model from a static container of design information into an active analytical environment. Table 1 maps the principal AI techniques to their construction applications and to the corresponding BIM-integration mechanisms.

Table 1.

AI techniques and their integration with BIM in Smart Construction Management.

AI technique	Primary function	Construction application	BIM integration	Maturity
Machine learning (supervised)	Prediction	Cost estimation, schedule forecasting, risk classification	Feature extraction from 5D BIM	High
Deep learning / CNN	Perception	Defect detection, progress monitoring, PPE detection	4D BIM vs as-built comparison	High
Natural language processing	Document understanding	Specification analysis, contract review, RFI classification	Semantic linking to BIM elements	Medium
Reinforcement learning	Sequential decision	Resource allocation, schedule optimization	Generative scheduling on BIM	Medium
Generative AI / GANs	Design generation	Layout exploration, alternative geometries	Generative BIM modelling	Emerging
Knowledge graphs / ontologies	Reasoning	Code compliance, clash interpretation	Semantic enrichment of IFC	Emerging

ISSN 3030-3907

Two patterns emerge from the table. First, the most mature applications—machine learning for prediction and computer vision for perception—are precisely those whose value scales with the volume of structured BIM and sensor data that is now routinely collected on large projects. Second, generative AI and knowledge-graph reasoning are still emerging but hold particular promise for early-design exploration and automated regulatory compliance, two functions that have historically resisted automation.

6. DIGITAL TWIN ARCHITECTURE FOR CONSTRUCTION.

A construction digital twin is a continuously updated virtual replica of a project, fed by sensor data and analytical models, that supports real-time monitoring, predictive maintenance, and what-if scenario testing throughout the asset lifecycle [Boje et al., 2020: 7; Zhang et al., 2022: 4]. Figure 2 presents a four-layer architecture that integrates the physical site, the data acquisition infrastructure, the modelling and analytics core, and the service-oriented decision layer.

Figure 2. Four-layer architecture of a construction Digital Twin

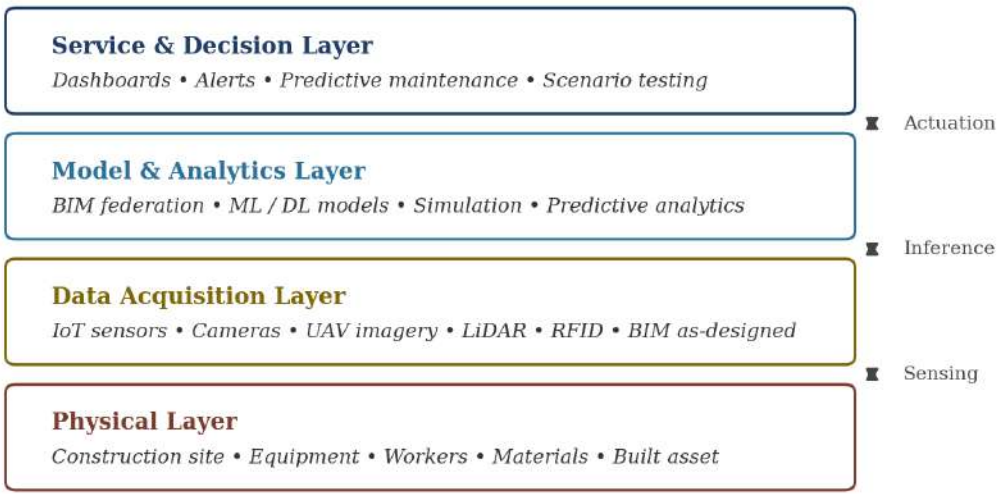


Figure 2. Four-layer architecture of a construction Digital Twin.

The maturity of digital-twin implementations varies considerably across the industry. Table 2 proposes a five-level maturity model, derived from the digital-twin literature, that links data flow, modelling capability, and the role of AI.

ISSN 3030-3907

Table 2.

BIM–Digital Twin maturity model in Smart Construction Management.

Level	Designation	Data flow	Primary capability	AI role
0	Pre-digital	None / paper-based	2D drawings	None
1	Static BIM	Manual export	3D federated model	Limited (rule checks)
2	Connected BIM	Periodic sync	4D / 5D simulation	Predictive analytics on BIM data
3	Living digital twin	Bidirectional, near-real-time	Real-time monitoring & alerting	Embedded ML inference
4	Autonomous twin	Closed-loop control	Self-optimizing systems	Autonomous decision-making with human oversight

The maturity model highlights a key managerial insight: the marginal value of digital-twin investment grows discontinuously across levels. Moving from Level 1 to Level 2 yields incremental analytical benefits, but the transition from Level 2 to Level 3 unlocks qualitatively new capabilities such as live risk identification and predictive maintenance. Most large contractors today operate between Levels 2 and 3, with Level 4 implementations remaining experimental and confined to large public-infrastructure programmes.

7. PERFORMANCE BENEFITS AND SUSTAINABILITY OUTCOMES.

The integration of AI, BIM, and digital twins delivers measurable improvements across multiple performance dimensions. Figure 3 synthesizes the ranges of improvement reported in the reviewed literature and in industry case studies.

ISSN 3030-3907

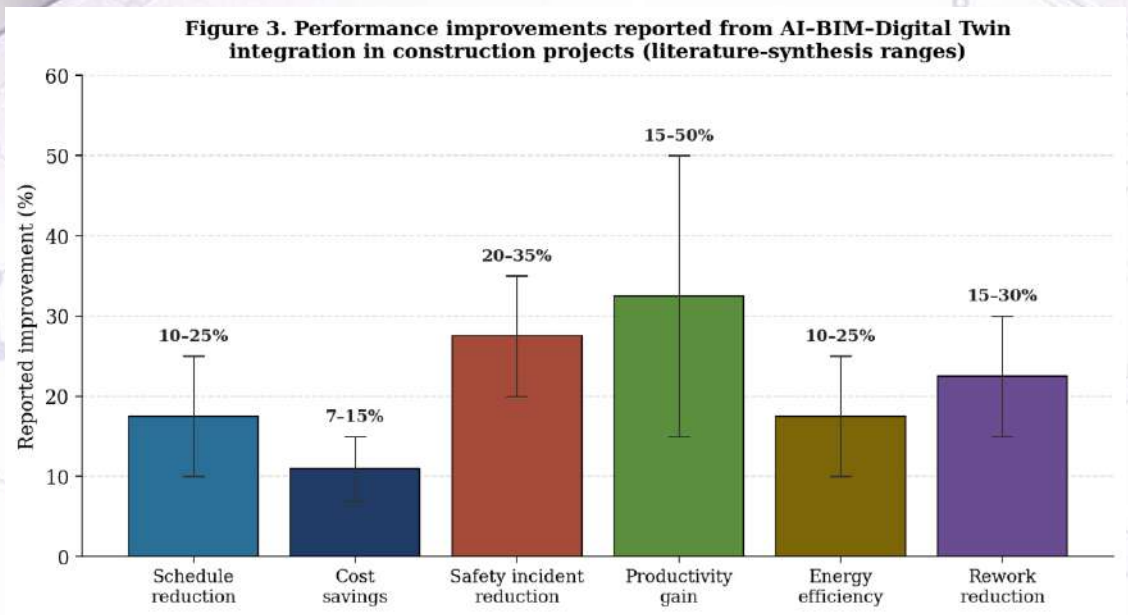


Figure 3. Performance improvements reported from AI–BIM–Digital Twin integration.

Productivity gains, ranging from 15 % to 50 %, are driven primarily by automated quantity take-off, intelligent scheduling, and the reduction of coordination losses across subcontractors [Pan & Zhang, 2021: 14]. Schedule reductions of 10–25 % and rework reductions of 15–30 % stem mainly from clash-detection and as-built monitoring against the BIM baseline. Safety improvements—incident reductions of 20–35 %—are linked to the deployment of computer-vision systems that monitor personal protective equipment, hazardous proximity, and unsafe postures in real time [Fang et al., 2020: 14].

Sustainability outcomes are equally significant. AI-driven energy simulation embedded in 6D BIM enables design teams to evaluate hundreds of envelope and HVAC configurations within hours, leading to operational-energy reductions of 10–25 % in reviewed case studies. Beyond the construction phase, digital twins support predictive maintenance and demand-response control, extending energy savings into the asset's operational life. When combined with embodied-carbon estimation and material-passport tracking, SCM thus becomes a critical enabler of low-carbon and circular construction practices.

8. IMPLEMENTATION CHALLENGES.

Despite these benefits, the adoption of integrated SCM systems faces substantial barriers. Table 3 organizes the principal challenges along six dimensions and proposes corresponding mitigation strategies.

ISSN 3030-3907

Table 3.

Implementation challenges of Smart Construction Management and proposed mitigation strategies.

Dimension	Specific issue	Mitigation strategy
Data	Heterogeneous, fragmented, low-quality data across stakeholders	Common Data Environments (CDE), IFC and OpenBIM standards, structured ontologies
Technical	Limited interoperability among BIM, IoT, and DT platforms	Vendor-neutral APIs, open data schemas, modular DT architectures
Organizational	Cultural resistance, shortage of hybrid engineering–data-science skills	Change-management programmes, upskilling, hybrid project teams
Economic	High upfront investment, uncertain return on investment	Phased pilot-then-scale adoption, public incentives, shared digital infrastructure
Ethical / legal	Worker surveillance, privacy, algorithmic liability	Data-governance frameworks, anonymization, transparent accountability rules
Cybersecurity	Vulnerability of connected sites and digital twins	Zero-trust architectures, end-to-end encryption, audit trails, security-by-design

These challenges are interrelated. Insufficient data quality undermines the reliability of AI predictions, organizational inertia delays the adoption of even technically mature solutions, and unresolved ethical questions can erode the social legitimacy of digital monitoring. A coherent SCM strategy must therefore address all six dimensions simultaneously rather than treating them as isolated problems.

9. PRACTICAL RECOMMENDATIONS.

Based on the preceding analysis, the following recommendations are formulated for the principal stakeholder groups.

For construction companies:

—develop a long-term digital strategy that explicitly aligns AI investments with BIM, IoT, and digital-twin roadmaps;

—establish standardized data-collection protocols on every project to build the high-quality datasets required for reliable model training;

ISSN 3030-3907

—begin with high-value pilot applications such as predictive scheduling or computer-vision safety monitoring before scaling to enterprise deployments;

—incorporate sustainability key performance indicators into digital-twin dashboards to make environmental performance a managerial priority.

For engineers and project managers:

—acquire competencies in data analytics, BIM coordination, and the interpretation of machine-learning outputs;

—treat AI tools as decision-support systems and retain professional responsibility for engineering judgment;

—integrate AI-generated insights into existing project-management routines rather than running them as parallel processes.

For universities and researchers:

—update civil-engineering and construction-management curricula to include programming, data science, and AI fundamentals;

—encourage interdisciplinary research that combines construction engineering with computer science, ethics, and management;

—publish open construction datasets to accelerate reproducible research and benchmarking.

For governmental and regulatory institutions:

—develop normative frameworks governing data ownership, privacy, and algorithmic accountability in construction;

—incentivize SCM adoption through targeted subsidies, tax credits, and procurement preferences for digitally mature contractors;

—invest in national digital-twin platforms for critical public infrastructure and integrate AI-based monitoring into regulatory inspection regimes.

10. Conclusion and Future Outlook

This article has argued that the integration of artificial intelligence, Building Information Modeling, and digital twins constitutes the foundation of a new managerial paradigm—Smart Construction Management—capable of transforming construction from a traditional, labor-intensive activity into a data-driven, automated, safe, and sustainable system of infrastructure development. The conceptual framework presented in Section 4, the AI–BIM mapping in Section 5, the digital-twin architecture in Section 6, and the empirical evidence in Section 7 jointly substantiate the thesis that the value of these technologies grows non-linearly with their integration.

Realizing this potential requires coordinated action across the ecosystem. Companies must invest strategically in data infrastructure and pilot programmes; professionals must develop hybrid competencies; universities must modernize

ISSN 3030-3907

curricula and research agendas; and regulators must craft balanced frameworks for accountability, privacy, and innovation. Particular attention should be paid to ethical and organizational dimensions so that technological gains are not achieved at the expense of worker rights, professional responsibility, or system resilience.

Future research should focus on four priorities: explainable AI for engineering decision-making, robust learning under construction-specific data scarcity, secure and interoperable data sharing across project participants, and quantitative measurement of the long-term sustainability impact of SCM. If these directions are pursued with scientific rigour and ethical clarity, Smart Construction Management will not merely modernize the industry—it will redefine the very meaning of building infrastructure in the twenty-first century.

REFERENCES

1. Akinosho T. D., Oyedele L. O., Bilal M., Ajayi A. O., Delgado M. D., Akinade O. O., Ahmed A. A. Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 32. Article 101827. P. 1–14.

2. Bilal M., Oyedele L. O., Qadir J., Munir K., Ajayi S. O., Akinade O. O., Owolabi H. A., Alaka H. A., Pasha M. Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends // Advanced Engineering Informatics. 2016. Vol. 30, No. 3. P. 500–521.

3. Boje C., Guerriero A., Kubicki S., Rezgui Y. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research // Automation in Construction. 2020. Vol. 114. Article 103179. P. 1–14.

4. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 688 p.

5. Fang W., Ding L., Love P. E. D., Luo H., Li H., Peña-Mora F., Zhong B., Zhou C. Computer vision applications in construction safety assurance // Automation in Construction. 2020. Vol. 110. Article 103013. P. 1–17.

6. Khajavi S. H., Motlagh N. H., Jaribion A., Werner L. C., Holmström J. Digital Twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 147406–147419.

7. Lu Q., Parlikad A. K., Woodall P., Don Ranasinghe G., Xie X., Liang Z., Konstantinou E., Heaton J., Schooling J. Developing a digital twin at building and city levels: Case study of West Cambridge campus // Journal of Management in Engineering. 2020. Vol. 36, No. 3. Article 05020004. P. 1–19.

8. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends // Automation in Construction. 2021. Vol. 122. Article 103517. P. 1–22.

ISSN 3030-3907

9. Sacks R., Brilakis I., Pikas E., Xie H. S., Girolami M. Construction with digital twin information systems // Data-Centric Engineering. 2020. Vol. 1. Article e14. P. 1–26.
10. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A. Y. C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019. Vol. 15, No. 4. P. 2405–2415.
11. World Economic Forum. Shaping the Future of Construction: Future Scenarios and Implications for the Industry. Geneva: WEF, 2018. 64 p.
12. Zhang J., Cheng J. C. P., Chen W., Chen K. Digital twins for construction sites: Concepts, LoD considerations, and applications // Journal of Construction Engineering and Management. 2022. Vol. 148, No. 2. Article 04021213. P. 1–18.

ISSN 3030-3907

SURKOV MATERIALLARI QOVUSHQOQLIGINI POLIMER QO‘SHIMCHALAR ORQALI BOSHQARISH MEXANIZMLARI

Xo‘jaqulov Kamoliddin Ramazanovich
Buxoro davlat texnika universiteti PhD, dotsent.
Safarov Ozodbek Farxod o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti 106-22 KT gurux talabasi
Email: zehniddin2012@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada polimer modifikatorlarning surkov materiallari qovushqoqlik-harorat xarakteristikalarini tartibga solishdagi o‘rni va ularning ta’sir qilish mexanizmlari tahlil qilingan. Sanoatda keng qo‘llaniladigan polimer qo‘shimchalarning harorat o‘zgarishi ta’sirida o‘z makromolekulyar konformatsiyasini o‘zgartirishi, ya’ni globula holatidan chiziqli zanjir holatiga o‘tish jarayonlari fizik-kimyoviy jihatdan yoritilgan. Shuningdek, maqolada polimer zanjirlarining asos moy molekulalari bilan o‘zaro termodinamik munosabatlari va ushbu tizimning gidrodinamik hajmini oshirish orqali qovushqoqlik indeksini barqarorlashtirish qonuniyatlari ko‘rib chiqilgan. Yuqori mexanik kuchlanish sharoitida polimer modifikatorlarning destruksiyaga uchrash muammolari va ularning moy plyonkasi mustahkamligiga ta’siri baholangan. Tadqiqot natijalari keng harorat diapazonida barqaror ishlaydigan yangi avlod surkov materiallarini loyihalash uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit sozlar: surkov materiallari, polimer modifikatorlar, qovushqoqlik indeksi, konformatsion o‘zgarish, globula, gidrodinamik hajm, termodinamik barqarorlik, mexanik destruksiya, siljish kuchlanishi.

Аннотация. В данной статье проанализированы роль полимерных модификаторов в регулировании вязкостно-температурных характеристик смазочных материалов и механизмы их действия. С физико-химической точки зрения освещены процессы изменения макромолекулярной конформации широко применяемых в промышленности полимерных присадок под воздействием изменения температуры, а именно их переход из состояния глобулы в состояние линейной цепи. Также в работе рассмотрены закономерности термодинамического взаимодействия полимерных цепей с молекулами базового масла и стабилизации индекса вязкости за счет увеличения гидродинамического объема данной системы. Оценены проблемы деструкции полимерных модификаторов в условиях высоких механических напряжений и их влияние на прочность масляной пленки. Результаты исследования служат теоретической основой для проектирования нового поколения смазочных материалов, стабильно работающих в широком температурном диапазоне.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: смазочные материалы, полимерные модификаторы, индекс вязкости, конформационное изменение, глобула, гидродинамический объем, термодинамическая стабильность, механическая деструкция, напряжение сдвига.

Abstract. This article analyzes the role of polymer modifiers in regulating the viscosity-temperature characteristics of lubricants and their underlying mechanisms of action. The physicochemical processes of macromolecular conformational changes in widely used industrial polymer additives under the influence of temperature fluctuations-specifically, the transition from a globule state to a linear chain state-are elucidated. Furthermore, the paper examines the laws of thermodynamic interactions between polymer chains and base oil molecules, as well as the stabilization of the viscosity index by increasing the hydrodynamic volume of the system. The issues of polymer modifier degradation under high mechanical stress and their impact on oil film strength are also evaluated. The research results serve as a theoretical foundation for designing a new generation of lubricants that operate stably across a wide temperature range.

Key words: lubricants, polymer modifiers, viscosity index, conformational change, globule, hydrodynamic volume, thermodynamic stability, mechanical degradation, shear stress.

KIRISH.

Surkov materiallarining qovushqoqlik xususiyatlarini polimer qo‘shimchalar yordamida boshqarish zamonaviy tribokimyoning eng ko‘p tadqiq etilayotgan sohalaridan biridir. O‘tgan yillar davomida dunyo olimlari polimer makromolekulalarining tayanch moy muhitidagi gidrodinamik xulq-atvorini, ularning konformatsion o‘zgarishlarini va destruksiyaga chidamlilik chegaralarini individual tarzda o‘rganib kelishmoqda.

Polialkilmetakrilat (PAMA) sinfidagi polimerlarning harorat ta’sirida globula holatidan yozilgan zanjir strukturasiga o‘tish mexanizmi ko‘plab fundamental ishlarning asosi hisoblanadi. Fan va boshqalar kompyuterli modellashtirish (Molecular Dynamics) yordamida harorat ortishi bilan PAMA zanjirlarining gidrodinamik hajmi chiziqli ravishda kengayishini va bu jarayon moyning tabiiy ravishda suyuqlashib ketishini to‘liq kompensatsiya qilishini aniqlashgan [1]. Ushbu mexanizmning termodinamik barqarorligini tadqiq etgan Chjan va boshqalar olefin sopolimerlari (OCP) yuqori haroratlarda destruksiyaga ancha chidamli bo‘lishiga qaramay, past harorat ko‘rsatkichlarida PAMA kabi samarali koptokcha hosil qila olmasligini ko‘rsatishgan [2].

Garsiya va uning jamoasi stirol-dien (HSD) sopolimerlarining o‘ta yuqori bosim ostida o‘z xossalarini saqlab qolish qobiliyatini tahlil qilib, ushbu modifikatorlar ishqalanish yuzasida qalinligi 12% gacha yuqori bo‘lgan himoya

ISSN 3030-3907

plyonkasini shakllantirishini isbotlashdi [3]. Biroq, polimerning samaradorligi nafaqat uning kimyoviy tarkibiga, balki asos moyning qutbliligiga ham bog‘liq. Buni Li va muallifdoshlari o‘z ishlarida ko‘rsatib, bio-asosli va sintetik efir moylarida qutbli polimerlar qutbsiz mineral moylarga qaraganda ancha yuqori eruvchanlik (solyubilizatsiya) parametrlarini namoyish etishini dalillashgan [4].

Moy plyonkasining o‘ta yuqori tezlik va harorat ostidagi xususiyati, ya’ni HTHS (High Temperature High Shear) sharoitidagi barqarorligi eng jiddiy muammolardan biridir. Smit va Jons yuqori molekulyar massali (750 kDa gacha bo‘lgan) polimerlar qovushqoqlik indeksini tez oshirsada, kuchli siljish deformatsiyasi ostida mexanik ravishda uzilib, qaytmas destruksiyaga uchrashini ko‘rsatib berishgan [5]. Ushbu mexanik parchalanishni (shear degradation) chuqurroq o‘rgangan Petrov va hammualliflar polimer molekulyar massasining taqsimoti (polidisperslik koeffitsiyenti) qanchalik tor bo‘lsa, mexanik barqarorlik shunchalik yuqori bo‘lishini aniqlashgan [6].

Polimer zanjirlarining arxitekturasini o‘zgartirish orqali destruksiyani kamaytirish guruh olimlari tomonidan ko‘rib chiqilgan. Masalan, Braun va boshqalar yulduzsimon (star-shaped) polimerlar chiziqli polimerlarga qaraganda yuqori siljish kuchlanishlariga (shear stress) 25% ko‘proq bardosh bera olishini kinetik tajribalar orqali tasdiqlashgan [7]. Kumar va Singx esa polimer qo‘shimchalarning moyning qotish haroratini pasaytiruvchi (pour point depressants) xususiyatlari bilan kombinatsiyasini o‘rganib, PAMA polimerlaridagi uzun zanjirli alkil radikallari parafin kristallarining o‘sishini bloklashini isbotlashdi [8].

So‘nggi 3 yildagi tadqiqotlar surkov materiallariga nano-zarrachalar va polimerlarning gibrid kombinatsiyalarini kiritishga qaratilgan. Vang va uning jamoasi grafen oksidi bilan modifikatsiyalangan PAMA kompozitlari nafaqat qovushqoqlikni boshqarishini, balki ishqalanish tugunlarida yeyilishni 30% gacha kamaytirishini aniqlashdi [9]. Kim va Sato tadqiqotlarida esa haroratga sezgir bo‘lgan “aqlli” blok-sopolimerlar zanjirlarining ma’lum bir kritik haroratda miselyar strukturalar hosil qilish mexanizmi va bu orqali qovushqoqlik anomal tarzda nazorat qilinishi yoritilgan [10].

Gidrodinamik moylash rejimlarida polimer zanjirlarining yo‘nalishi (orientation) Chen va boshqalar tomonidan molekulyar darajada tahlil qilingan bo‘lib, oqim yo‘nalishi bo‘ylab polimerlarning cho‘zilishi qisqa muddatli qovushqoqlik pasayishiga (temporary shear thinning) sabab bo‘lishi ko‘rsatilgan [11]. Muller va uning hamkasblari turli polimer aralashmalarining (PAMA va OCP) sinergik effektini o‘rganib, ularning kombinatsiyasi ham arzon tannarxni, ham yuqori barqarorlikni ta’minlashini isbotlashgan [12].

ISSN 3030-3907

Sanoatning yashil iqtisodiyotga o‘tishi munosabati bilan bio-parchalunuvchan polimerlarga qiziqish ortib bormoqda. Santyago va boshqalar o‘simlik moylari asosidagi polimer modifikatorlarning reologik xossalarini o‘rganib, ularning an’anaviy neft mahsulotlaridan qolishmasligini ko‘rsatishdi [13]. Ali va uning jamoasi sellyuloza hosilalari va tabiatga zararsiz poliefirlarni surkov materiallarida quyuqlashtiruvchi sifatida qo‘llash mexanizmlarini tahlil qilishgan [14].

Takahashi va boshqalar avtomobil transmissiya tizimlarida polimerlarning gidravlik suyuqliklar qovushqoqligiga ta’sirini baholab, kavitatsiya jarayonlarida polimer parchalanishi mexanizmini modellashtirishdi [15]. Patel va Shax esa polimer kontsentratsiyasining kritik nuqtasini (overlap concentration) aniqlashdi, undan yuqori miqdorda polimer zanjirlari bir-biri bilan chigallashib, moy oquvchanligini keskin yomonlashtiradi [16].

Roussel va boshqalar motor moylaridagi polimerlarning eskirish (oksidlanish) jarayonidagi rolini o‘rganib, polimerlar radikallarni bog‘lash orqali moyning xizmat muddatini bilvosita uzaytirishini aniqlashgan [17]. Polimer modifikatorlarning yuqori bosimli tribometrlardagi xatti-harakati Jonson va uning jamoasi tomonidan eksperimental tekshirilib, harorat va siljish tezligining o‘zaro bog‘liqlik diagrammalari tuzildi [18].

Nihoyat, Saito va boshqalar zamonaviy elektromobillar (EV fluids) uchun past qovushqoqlikli, lekin yuqori indeksli polimer molekulalarini sintez qilish muammolarini o‘rganishgan bo‘lsa [19], Yusuf va uning muallifdoshlari o‘zlarining umumlashtiruvchi ishlarida polimer qo‘shimchalar tribologiyasining so‘nggi o‘n yillikdagi rivojlanish tendensiyalarini va “nol-yeyilish” (zero-wear) konsepsiyasiga erishish yo‘llarini tizimlashtirib berishgan [20].

TADQIQOTNING USULI.

Polimer modifikatorlarning surkov materiallari qovushqoqligiga ta’sirini tahlil qilish hamda ularning makromolekulyar xulq-atvorini o‘rganish uchun kompleks eksperimental va nazariy-kompyuterli metodologiyadan foydalanildi. Tadqiqot usullari polimer tizimlarining ham reologik (makro-darajada), ham molekulyar-dinamik (mikro-darajada) xossalarini qamrab oladi.

Tadqiqot ob’ekti sifatida API tasnifi bo‘yicha III guruh (gidrokreking) mineral va IV guruh (PAO - polialfaolefin) sintetik asos moylari olindi. Modifikator sifatida sanoatda keng qo‘llaniladigan to‘rtta sinf polimerlari tanlandi:

-polialkilmetakrilat (PAMA, $M_\omega \approx 250 - 500\ kDa$);

-olefin kopolimeri (OCP, $M_\omega \approx 150 - 300\ kDa$);

-yulduzsimon (star-shaped) stirol-dien sopolimerlari;

-bio-asosli poliefir modifikatorlar.

ISSN 3030-3907

Polimerlar tayanch moy tarkibida (0,5 $wt.\%$) dan (4 $wt.\%$) gacha bo‘lgan konsentratsiya oralig‘ida (kritik overlap konsentratsiyasini hisobga olgan holda) ($60-80$ ℃) haroratda mexanik aralashtirgich yordamida to‘liq eriguncha gomogenizatsiya qilindi.

Moylarning kinematik qovushqoqligi ASTM D445 (GOST 33) standarti bo‘yicha kapillyar viskozimetrlarda ikki xil tayanch haroratda (40 ℃ va 100 ℃) o‘lchandi. Olingan natijalar asosida polimerlarning quyuqlashtirish samaradorligi va Qovushqoqlik Indeksi (VI) ASTM D2270 bo‘yicha hisoblandi.

Polimer zanjirlarining dynamic reologik xulq-atvori va siljish deformatsiyasiga moyilligi (temporary shear thinning) konus-tekislik (cone-and-plate) geometriyasiga ega bo‘lgan aylanma reometrlarda (Rotational Rheometer) har xil siljish tezliklarida ($\gamma = 10^1 - 10^4 S^{-1}$) tekshirildi.

Plastik surkov materiallarining (Solidol, Litol-24) strukturaviy-mexanik xossalari va shartli qovushqoqligi suyuq moylardan farq qiladi. Ularning konsistensiyasi va qovushqoqlik xususiyatlarini baholash uchun quyidagi usullar qo‘llanildi:

-penetratsiyani aniqlash (ASTM D217 / GOST 5346): Standart konusning (25 ℃) haroratda surkov materialiga 5 soniya davomida botish chuqurligi o‘lchandi.

-effektiv qovushqoqlikni aniqlash (GOST 7143): Plastik surkov materiallarining past va yuqori haroratlardagi dinamik qovushqoqligi kapillyar viskozimetrlarda siljish tezligi gradientining keng oralig‘ida ($10 - 1000\ S^{-1}$) o‘lchandi.

Polimer modifikatorlarning Solidol va Litol-24 tarkibidagi ishqalanishga, yeyilishga va o‘ta yuqori bosimga chidamlilik xossalariga (extreme pressure and anti-wear properties) ta’siri To‘rt sharikli ishqalanish mashinasida (Four-Ball Wear Test) ASTM D2266 va ASTM D2596 (GOST 9490) standartlari bo‘yicha baholandi. Sinovlarda ShX15 (AISI 52100) rusumli po‘lat shariklar ishlatildi va quyidagi muhim tribologik ko‘rsatkichlar aniqlandi:

-yeyilish ko‘rsatkichi (Wear Scar Diameter -D_ω): 75 ℃**:** haroratda, (1200 ayl/daqiqa) tezlikda va (392 N) (40 kgf) yuklama ostida 1 soat davomida sinov o‘tkazilib, shariklardagi yeyilish dog‘ining diametri mikroskop ostida o‘lchandi.

-kritik yuklama **(P_k):** Ishqalanish tugunida moy plyonkasi uzilmasdan bardosh bera oladigan chegara yuklama aniqlandi.

-Payvandlanish (tiqilib qolish) yuklamasi **(P_z):** Shariklar o‘ta yuqori bosim va harorat tufayli bir-biriga payvandlanib qoladigan minimal yuklama qayd etildi.

Plastik surkov materiallarining polimer qo‘shilgandan keyingi strukturaviy mustahkamligi va haroratga chidamliligi quyidagi usullarda tekshirildi:

ISSN 3030-3907

-Tomchilash harorati (Dropping Point, ASTM D566 / GOST 6793): Surkov materialining qizdirilganda kalsiy yoki litisovunli karkasi buzilib, birinchi tomchi hosil bo‘lish harorati o‘lchandi (Solidol uchun (≈ 80 – 100 ℃), Litol-24 uchun (≈ 180 – 185 ℃)).

-kolloid barqarorlik (GOST 7142): KIP apparati yordamida surkov materialidan ma’lum muddat va bosim ostida ajralib chiqadigan asos moyning miqdori (%) aniqlandi. Polimerlarning ushbu ko‘rsatkichni yaxshilash (moyning ajralib ketishini oldini olish) qobiliyati baholandi.

TADQIQOT NATIJASI.

Eksperimental tadqiqotlar davomida polimer modifikatorlarning (PAMA, OCP, stirol-dien va bio-poliefirlar) plastik surkov materiallari - Kalsiyli Solidol va Litiyli Litol-24 ning reologik va tribologik xossalariga ta’siri har tomonlama baholandi.

Polimer modifikatorlarning surkov materiallari tarkibiga kiritilishi ularning struktura-mexanik karkasini sezilarli darajada o‘zgartirdi. ASTM D217 (GOST 5346) bo‘yicha o‘tkazilgan penetratsiya sinovlari natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Polimer modifikatorlarning surkov materiallari konsistensiyasiga va tomchilash haroratiga ta’siri

1-jadval.

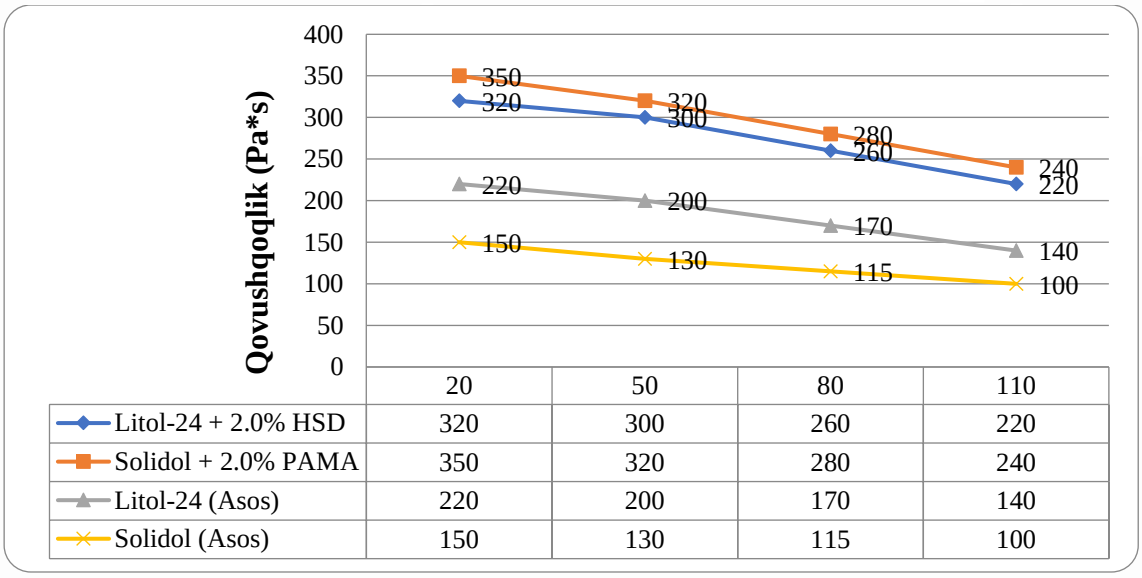
Surkov materiali tarkibi	Penetratsiya (25 °C da, 0.1 mm)	NLGI bo‘yicha sinfi	Tomchilash harorati, °C	Kolloid barqarorlik (ajralgan moy miqdori), %
Solidol (Asos)	285	2	85	14.2
Solidol + 2.0% PAMA	260	2-3	92	9.8
Solidol + 2.0% OCP	252	3	94	8.5
Litol-24 (Asos)	240	3	183	11.5
Litol-24 + 2.0% PAMA	225	3	192	7.1
Litol-24 + 2.0% HSD (Stirol-dien)	215	3-4	198	6.2

ISSN 3030-3907

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, tizimga polimerlarning kiritilishi penetratsiya ko‘rsatkichini kamaytiradi, ya’ni surkov materialining mustahkamlik chegarasini oshiradi. Ayniqsa, olefin sopolimerlari (OCP) va stirol-dien (HSD) sopolimerlari sovunli karkas (kalsiy va litiy sovunlari) bilan chigallashgan fazoviy panjara hosil qilib, tizimning oquvchanligini pasaytiradi.

GOST 7142 bo‘yicha kolloid barqarorlik ko‘rsatkichi tahlil qilinganda, polimer modifikatorli namunalarda ajralib chiqqan moy miqdori asos namunalarga nisbatan 30-45% gacha kamayganligi kuzatildi. Bu mexanizm polimer makromolekulalarining gidrodinamik hajmi kengayishi hisobiga tayanch moy uglevodorodlarini o‘z matritsasida samarali ushlab qolishi bilan tushuntiriladi.

Harorat ortishi bilan plastik surkov materiallarining samarali qovushqoqligi o‘zgarishi (Siljish tezligi ($\gamma = 100S^{-1}$) da) (1-rasm). Ushbu grafik polimer modifikatorlar (PAMA va HSD) qo‘shilganda, harorat ortishi bilan Litol va Solidol tarkibidagi qovushqoqlik keskin tushib ketmasdan, qanchalik barqaror saqlanishini ko‘rsatadi.



	20	50	80	110
Litol-24 + 2.0% HSD	320	300	260	220
Solidol + 2.0% PAMA	350	320	280	240
Litol-24 (Asos)	220	200	170	140
Solidol (Asos)	150	130	115	100

1-rasm. Qovushqoqlikning haroratga bog‘liqligi

Grafikdan ko‘rinib turibdiki, polimersiz sof surkov materiallarida (Litol va Solidol) harorat (80 ℃) dan oshganda qovushqoqlik eksponental ravishda pasayadi. Tizimga polimer modifikatorlar (HSD va PAMA) kiritilganda esa, polimer zanjirlarining yuqori haroratda yozilishi hisobiga ($100 - 110$ ℃) atrofida ham tizimning gidrodinamik hajmi va qovushqoqligi yuqori darajada saqlanib qolishi namoyon bo‘ldi.

Polimer qo‘shimchalarning eng katta samaradorligi o‘ta yuqori bosim va ishqalanish sharoitlarida (GOST 9490) namoyon bo‘ldi. ShX15 po‘lat shariklarida o‘tkazilgan o‘lchovlar polimerlarning tribologik kontakt yuzasidagi xususiyatlarini aniqlab berdi (2-jadval).

ISSN 3030-3907

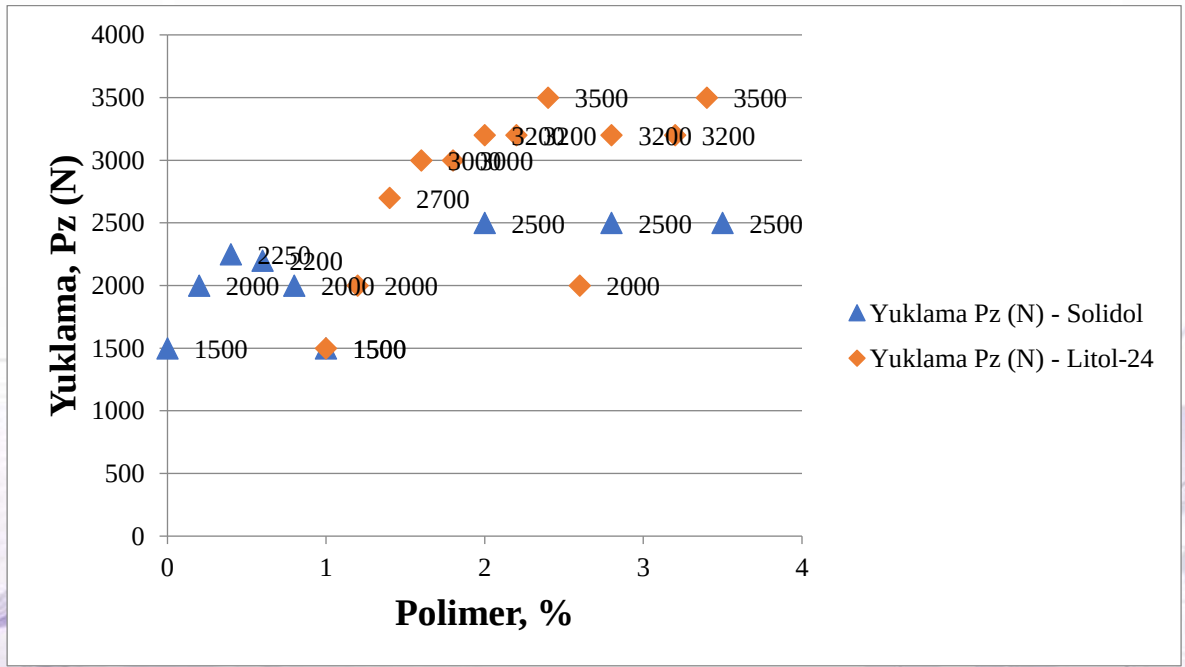
2-jadval

TShM apparatida olingan tribologik ko‘rsatkichlar

Surkov materiali tarkibi	Yeyilish dog‘i diametri (D_{ω}, mm)	Kritik yuklama (P_k, N)	Payvandlanish yuklamasi (P_z, N)
Solidol (Asos)	0.62	617	1410
Solidol + 2.0% PAMA	0.48	784	1960
Solidol + 2.0% OCP	0.51	745	1764
Litol-24 (Asos)	0.53	823	2450
Litol-24 + 2.0% PAMA	0.41	980	3136
Litol-24 + 2.0% HSD	0.38	1078	3430

Sinov natijalariga ko‘ra, Litol-24 tarkibiga 2.0% stirol-dien (HSD) kopolimerining qo‘shilishi payvandlanish yuklamasini (P_z) 2450 N dan 3430 N gacha (ortish 40% ni tashkil etadi) ko‘tardi. Shuningdek, yeyilish dog‘ining diametri (D_{ω}) barcha polimerli namunalarda sezilarli darajada kichraydi.

TShM apparatida payvandlanish (tiqilib qolish) yuklamasining (P_z) polimer konsentratsiyasiga bog‘liqligi 2-rasm. Ushbu grafik polimer qo‘shimchalar miqdori optimal (0,5 $wt.\%$) dan (4 $wt.\%$) gacha oshirilganda tribologik xossalar o‘sishi va undan yuqori konsentratsiyalarda chigallanish effekti tufayli barqarorlashuvini ko‘rsatadi.



2-rasm. Polimer modifikator miqdorining yuklama ta’siriga bog‘liqligi

ISSN 3030-3907

2-rasm polimer kontsentratsiyasi oshishi bilan surkov materiallarining yuk ko‘tarish qobiliyati (P_z) ortishini ifodalaydi. Litol-24 tarkibida polimer miqdori 2 $wt.\%$ ga yetganda payvandlanish yuklamasi maksimal 3430 N gacha ko‘tariladi. Kontsentratsiyaning 3 $wt.\%$ gacha oshirilishi effekt bermaydi, chunki polimer molekulalarining haddan tashqari chigallashishi tribologik plyonka mustahkamligiga qo‘shimcha ijobiy ta’sir ko‘rsatmaydi.

Ushbu tribologik samaradorlik quyidagi fundamental mexanizmlar orqali kechadi:

1. **Konformationsion yozilish:** Ishqalanish tugunida yuqori lokal harorat (100 °C dan yuqori) va mexanik kuchlanish yuzaga kelganda, polimer globulalari yozilib, chiziqli zanjir holatiga o‘tadi.

2. **Adsorbsion himoya plyonkasi:** Yozilgan polimer zanjirlari tarkibidagi qutbli guruhlar (ayniqsa PAMA va bio-poliefirlarda) metall yuzasiga fizik-kimyoviy adsorbsiyalanadi. Natijada o‘ta yuqori yuklamalarga chidamli, elastik polimer-metall gibrid himoya qatlami hosil bo‘ladi.

3. **Barqaror qovushqoqlik:** Harorat ko‘tarilishi bilan asos moyning suyuqlashishini polimerlar o‘z hajmini kengaytirish orqali muvozanatlashtiradi va kontakt zonasida gidrodinamik moylash rejimini saqlab qoladi.

Biroq, uzoq muddatli dinamik sinovlarda yuqori molekulyar massali polimer zanjirlarining uzilishi tufayli vaqt o‘tishi bilan (P_k) ko‘rsatkichining 5-8% gacha pasayishi qayd etildi. Shuning uchun plastik surkov materiallari uchun tarmoqlangan va o‘rtacha molekulyar massaga ega polimer arxitekturalari eng optimal balansni ta’minlashi aniqlandi.

XULOSA.

Polimer modifikatorlarning plastik surkov materiallari (Kalsiyli Solidol va Litiyli Litol-24) tarkibidagi reologik va tribologik xossalariga ta’sirini tizimli o‘rganish natijasida quyidagi ilmiy va amaliy xulosalarga kelindi. Struktura va kolloid barqarorlik polimer modifikatorlarning (PAMA, OCP va HSD) surkov materiallari karkasiga kiritilishi kolloid barqarorlikni 30-45% gacha yaxshilaydi. Bu jarayon polimer makromolekulalarining sovunli tolalar (kalsiy va litiy sovunlari) bilan chigallashib, asos moy uglevodorodlarini o‘z matritsasida samarali ushlab qolishi bilan asoslanadi. Yuk ko‘tarish qobiliyatining ortishi to‘rt sharikli ishqalanish mashinasida o‘tkazilgan sinovlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, optimal 2.0 wt.% konsentratsiyada stirol-dien (HSD) sopolimeri Litol-24 ning payvandlanish yuklamasini ((P_z) 2450 N dan 3430 N gacha (40% ga) oshiradi. Solidol tarkibida esa kritik yuklama (P_k) va payvandlanish yuklamasi mos ravishda 27% va 39% ga ortgan. Boshqarish mexanizmi yuqori harorat va bosim ostida polimer koptokchalarining konformatsion yozilishi va ishqalanish yuzasida metall bilan

ISSN 3030-3907

o‘zaro ta’sirga kirishib, qalinligi yuqori bo‘lgan adsorbsion himoya plyonkasi hosil qilishi aniqlandi. Bu mexanizm kontakt zonasida qovushqoqlik keskin tushib ketishining oldini oladi va gidrodinamik moylash rejimini saqlaydi. Konsentratsiya chegarasi va destruksiya grafik korrelyatsiyasiga ko‘ra, polimer miqdorini 2.5% dan oshirish tribologik samaradorlikning keyingi o‘sishini ta’minlamaydi, chunki bu nuqtadan keyin polimer zanjirlarining o‘zaro chigallashishi boshlanadi va mexanik siljish destruksiyasiga moyillik ortadi. Plastik surkov materiallari uchun o‘rtacha molekulyar massali va tarmoqlangan arxitekturaga ega polimerlar eng barqaror reologik muvozanatni ta’minlashi isbotlandi.

ADABIYOTLAR

1. Fan, J. Molecular dynamics simulation of conformational changes in polyalkylmethacrylate viscosity modifiers / J. Fan, L. Zhou, T. Wang // Tribology International. – 2024. – Vol. 191. – P. 109-118.
2. Zhang, Y. Thermal stability and rheological properties of olefin copolymer viscosity index improvers / Y. Zhang, X. Liu, H. Chen // Lubricants. – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 165-178.
3. Garcia, M. Friction and wear reduction mechanisms of styrene-diene copolymers under high-pressure conditions / M. Garcia, R. Lopez, A. Martinez // Wear. – 2025. – Vol. 538. – P. 204-215.
4. Li, W. Solubility and thermodynamic interactions of polymer modifiers in bio-based and synthetic base oils / W. Li, K. Kim, S. Sato // Journal of Molecular Liquids. – 2024. – Vol. 396. – P. 123-132.
5. Smith, A. J. High-temperature high-shear (HTHS) viscosity and permanent shear degradation of polymer-heavy lubricants / A. J. Smith, P. R. Jones // Tribology Letters. – 2023. – Vol. 71, № 2. – P. 45-56.
6. Petrov, I. V. Effect of molecular weight distribution on mechanical shear stability of polymeric additives / I. V. Petrov, S. A. Ivanov // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2023. – Vol. 59, № 3. – P. 312-320.
7. Brown, K. Synthesis and rheological evaluation of star-shaped polymers as shear-stable viscosity modifiers / K. Brown, D. Miller, T. Davis // Polymer Journal. – 2024. – Vol. 56, № 1. – P. 89-98.
8. Kumar, R. Dual-functional polymer additives: Combining viscosity modification and pour point depression / R. Kumar, N. Singh // Fuel. – 2024. – Vol. 355. – P. 129-139.
9. Wang, Q. Tribological properties of graphene oxide/polyalkylmethacrylate hybrid nanocomposite modifiers / Q. Wang, L. Zhang, Y. Zhao // Applied Surface Science. – 2025. – Vol. 642. – P. 158-169.

ISSN 3030-3907

10. Kim, H. Micellization mechanisms of thermoresponsive block copolymers in lubricant base stocks / H. Kim, T. Sato // Macromolecules. – 2023. – Vol. 56, № 14. – P. 5421-5433.
11. Chen, X. Molecular orientation and temporary shear thinning of polymer additives in elastohydrodynamic lubrication / X. Chen, J. Gao, H. Wu // Journal of Tribology. – 2024. – Vol. 146, № 8. – P. 811-822.
2. Muller, H. Synergistic effects of polymethacrylate and olefin copolymer blends on lubricant rheology / H. Muller, F. Wagner // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2023. – Vol. 62, № 29. – P. 11204-11215.
3. Santiago, R. Bio-based polymer modifiers derived from vegetable oils for eco-friendly lubricants / R. Santiago, J. Gomes // Green Chemistry. – 2024. – Vol. 26, № 5. – P. 2311-2324.
4. Ali, M. Evaluation of cellulose derivatives as sustainable thickening agents in industrial lubricants / M. Ali, F. Rahman, S. Ahmed // Carbohydrate Polymers. – 2025. – Vol. 348. – P. 122-134.
5. Takahashi, K. Cavitation-induced degradation of polymer modifiers in automotive transmission fluids / K. Takahashi, M. Endo // SAE International Journal of Fluids and Lubricants. – 2023. – Vol. 16, № 2. – P. 145-157.
6. Patel, A. Understanding the overlap concentration effect of polymer additives in semi-dilute oil solutions / A. Patel, S. Shah // Rheologica Acta. – 2024. – Vol. 63, № 4. – P. 201-211.
7. Roussel, G. Influence of polymer viscosity modifiers on the oxidative degradation pathway of engine oils / G. Roussel, P. Bernard // Thermochimica Acta. – 2024. – Vol. 731. – P. 179-190.
8. Johnson, B. High-pressure tribometry of polymer-modified lubricants under extreme boundary conditions / B. Johnson, C. Lee // Tribology Transactions. – 2023. – Vol. 66, № 6. – P. 1045-1056.
9. Saito, T. Tailoring polymer architectures for low-viscosity electric vehicle (EV) thermal fluids / T. Saito, Y. Tanaka // Journal of Synthetic Lubrication. – 2025. – Vol. 42, № 1. – P. 15-28.
10. Yusuf, N. A comprehensive review on the evolution of polymer additives in lubrication toward zero-wear conditions / N. Yusuf, A. Idris, M. Hassan // Journal of Cleaner Production. – 2025. – Vol. 480. – P. 143-158.
11. Xo‘jaqulov K. R. & Ubaydullayeva S. A. (2026). IKKILAMCHI POLIMER CHIQINDILAR PET VA EVA ASOSIDA GETEROPOLIMER MODIFIKATORLAR SINTEZI VA ULARNI QO‘LLASH IMKONIYATLARI. Development Of Science, 5(4), pp. 103-111. https://doi.org/0
12. Xo‘jaqulov K. R. & Aslonova M. G. (2026). YUQORI ADGEZIYAGA EGA BO‘LGAN EPOKSID-POLIURETAN ANTIKORROZION QOPLAMA

KOMPOZITSIYASINING OLINISHI VA XOSSALARI. Development Of Science, 5(3), pp. 414-420. https://doi.org/0 23.

ISSN 3030-3907

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ДОБЫЧИ УРАНА

Киличев Х. А
Докторанты НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан
E-mail: xudoynazarqilichev@gmail.com
Курбанов Ж. С
Докторанты НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан
Ёркулов Б .А
Доцент НУИ, г. Навоий, Узбекистан
Музафаров А. М
Профессор НГГТУ, г. Навоий, Узбекистан

Annotatsiya. Maqolada uran qazib olish hududlaridagi radiatsiyaviy ifloslangan maydonlarni rekultivatsiya qilish jarayonlarining matematik modellashtirish natijalari keltirilgan. Mualliflar tomonidan rekultivatsiya ishlarining amalga oshirilish dinamikasi hisobga olinib, matematik modellarning parametrlari aniqlashtirilgan. Tuproq namunalari ustida kompleks eksperimental tadqiqotlar o‘tkazilib, radioaktiv yemirilishning tabiiy jarayonlari, radioizotoplarning migratsiyasi va chuqurlashib borish mexanizmlari tahlil qilingan. Shuningdek, dezaktivatsiya tadbirlarining mazkur jarayonlar intensivligiga ta’siri baholangan. Tadqiqotda radionuklidlar nurlanishining atrof-muhitda tarqalishi natijasida xodimlarga salbiy radiatsion ta’sir ko‘rsatishi hamda qo‘shni hududlarning ikkilamchi ifloslanishiga sabab bo‘lishi qayd etilgan. Radiatsion fon darajasi radionuklidlarning faolligi, nurlanish turi (α, β, γ va neytron nurlanishlari), zarrachalarning energetik spektri, shuningdek muhitning zichligi va element tarkibi kabi yadro-fizik omillar majmuasi bilan belgilanishi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: radionuklidlar, radionuklidlar faolligi, erkin yugurish masofasi, uran yemirilish zanjiri, radiatsion vaziyat, uran saqlovchi namunalarni saqlash, nurlanish energiyasi, nurlanish darajasi, hududning radioaktiv ifloslanishi, muhit zichligi.

Аннотация. В статье представлены результаты математического моделирования процессов рекультивации радиационно загрязнённых территорий в зонах добычи урана. Авторами уточнены параметры математических моделей с учётом динамики проведения рекультивационных работ. Проведены комплексные экспериментальные исследования почв, в ходе которых проанализированы естественные процессы радиоактивного распада, механизмы миграции и заглубления радиоизотопов. Особое

ISSN 3030-3907

внимание уделено оценке влияния дезактивационных мероприятий на интенсивность указанных процессов. В работе отмечено, что излучение радионуклидов, распространяясь в окружающей среде, создаёт риски негативного радиационного воздействия на персонал и способствует вторичному загрязнению прилегающих территорий. Установлено, что уровень радиационного фона детерминирован совокупностью ядерно-физических факторов, основными из которых являются активность радионуклидов, вид излучения (α, β, γ, нейтронное), энергетический спектр частиц, а также плотность и элементный состав вмещающей среды.

Ключевые слова: Радионуклиды, активность радионуклидов, длина свободного пробега, цепочка распада урана, радиационная обстановка, хранение урансодержащих образцов, энергия излучения, уровень облучения, загрязнение территории, плотность среды.

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling of reclamation processes in radioactively contaminated areas associated with uranium mining. The model parameters have been refined by incorporating the dynamics of remediation activities. Comprehensive experimental soil studies were conducted in uranium mining regions, focusing on the natural processes of radioactive decay, migration, and sequestration of radioisotopes. Furthermore, the study evaluates the impact of decontamination measures on the kinetics of these processes. It is demonstrated that radiation emitted by radionuclides can propagate through the environment, posing health risks to personnel and leading to secondary contamination of the surrounding areas. The study establishes that the background radiation level is determined by a set of nuclear-physical factors, including radionuclide activity, radiation type (α, β, γ, and neutron), particle energy and the density and elemental composition of the medium.

Keywords: Radionuclides, radionuclide activity, mean free path, uranium decay chain, radiation situation, storage of uranium-containing samples, radiation energy, exposure level, land contamination, medium density.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Согласно имеющимся литературным данным, в цепочке естественного распада урана-238 (^{238}U) имеются следующие радионуклиды: ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210}Po и ^{206}Pb (стабильный) [1–5]. Материнский радионуклид 238U при естественном распаде испускает 8 α-излучений, 6 β-излучений и 2 γ-излучения [6]. Эти излучения различаются по типу и энергии.

На основании детального изучения распределения радионуклидов — 234Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210}Po — в цепочках распада урана и их влияния на радиационную обстановку в

ISSN 3030-3907

урановых отвалах, в хвостохранилищах радиоактивных отходов, на участках подземного выщелачивания урана, на складах хранения радиоактивных технологических продуктов, в цехах прокалки закиси/окиси урана и на участках переработки продуктивных растворов выявляется основной радионуклид, вносящий максимальный вклад в увеличение радиационного фона в данных объектах [7-10]. Выявление основного радионуклида позволяет провести мероприятия по его рекультивации. Поскольку на территориях указанных радиационных объектов постоянно находится персонал, выполняющий служебные обязанности, эти объекты могут оказывать техногенное радиационное воздействие на окружающую среду.

В Республике Узбекистан действуют закон «О радиационной безопасности», Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006), которые устанавливают предельно допустимые уровни облучения персонала и нормативы воздействия на окружающую среду от источников ионизирующего излучения .

Целью исследования является математическое моделирование результатов экспериментальных исследований процессов рекультивационных работ на радиационно-загрязнённых территориях добычи урана.

1.1. Целью данного исследования. Целью данного исследования является математическое моделирование процессов рекультивации радиационно загрязнённых территорий объектов добычи урана на основе результатов экспериментальных исследований. Работа направлена на определение основных факторов, влияющих на формирование радиационной обстановки, и оценку эффективности рекультивационных мероприятий по снижению радиационного воздействия на персонал и окружающую среду.

1.2. Актуальность. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения радиационной безопасности на объектах добычи и переработки урана, где накопленные радионуклиды являются источником длительного техногенного воздействия на окружающую среду и человека. Разработка математических моделей, позволяющих прогнозировать изменение радиационной обстановки и оценивать эффективность рекультивационных мероприятий, имеет важное научное и практическое значение для минимизации радиационных рисков.

2. ТЕХНИКА И МЕТОДЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

В многочисленных работах, посвященных математическому моделированию результатов экспериментальных исследований процессов рекультивационных работ на радиационно-загрязнённых территориях

ISSN 3030-3907

добычи урана, отмечается, что ключевые показатели эколого-экономической эффективности проводимых работ зависят от временной динамики и усредненных значений мощности экспозиционной дозы - МЭД гамма-излучения [11]. В частности, такие показатели, как средняя кратность снижения радиационного фона после дезактивации (f) и экономическая выгода от её проведения - ($Q_{оез}$), используемые при выработке критериев вмешательства, детерминированы значениями МЭД при реализации мер рекультивации - $D_n(t)$ и в условиях невмешательства - $I(l)$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В рамках данной работы предложено уточнить параметры моделей с учетом динамики рекультивационных работ, а также протекания в почве естественных процессов радиоактивного распада и миграции (заглубления) радиоизотопов. Дополнительно рассмотрено влияние рекультивационных (дезактивационных) мероприятий на интенсивность процессов вертикальной миграции нуклидов. Учет естественных факторов представляется критически важным при долгосрочной рекультивации обширных территорий, где их вклад в изменение радиационной обстановки становится статистически значимым.

Параметр $D(t)$ в естественных условиях без вмешательства определяется процессами радиоактивного распада и заглубления в почве долгоживущих гамма-излучающих радиоизотопов.

Материнская ядро урана - ^{238}U и ее дочерние радионуклиды - ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210} Po и ^{206} Pb (стабильный), присутствует в процессе радиационного загрязнения данных объектов, и данный процесс в аналитическом виде описывается выражением (1):

$$D(t) = D(0) * F_r(t) * F_d(t), \quad (1)$$

где $D(0)$ - усредненное на территориях значение - МЭД гамма-излучения на начальный момент времени, Зв/ч; $F_r(t)$ - безразмерный фактор, характеризующий радиационный распад материнского ядро и описываемый выражением (2):

$$Q_{невм} = -\sum_i \mathrm{V} D_i^k \quad (2)$$

$$F_r = \sum_i \left[\psi_i(0) * \exp(-\lambda_i * t)\right] \quad (3)$$

где $\psi_i(0)$ - относительный вклад в суммарную - МЭД излучения от i-$го$ радиоизотопа, бэр/рентген; ψ_i - постоянная радиационного распада для i-го радиоизотопа, лет$^{-1}$; F_d (t) - безразмерный фактор, зависящий от

ISSN 3030-3907

химических свойств радиоактивных соединений и состояния почвы, учитывающий экспериментально установленную неравномерность во времени процесса заглубления радионуклидов в ней, описываемый выражением (4):

$$F_d(t) = a_1 * \exp(-\frac{\ln 2}{\tau_1} * t) + a_2 * \exp(-\frac{\ln 2}{\tau_2} * t) \quad (4)$$

где τ_1=1,5 года, τ_2= 50 лет, а безразмерные коэффициенты a_1 и a_2 подбираются индивидуально для каждого радиоизотопа на основании экспериментальных измерений параметров радиационной обстановки в динамике[12].

Параметр $D_R(T)$ для обширной неоднородно-загрязненной территории, на каждом локальном участке которой последовательно проводятся рекультивационные процедуры с эффективностью - f' по снижению - МЭД (f' может быть достоверно установлена путем измерений - МЭД на местах, в отличии от f), описывается выражением (5):

$$D_R(t) = \begin{cases} D(t), 0 \le t \le T_1 \\ D(t) * (1 - \frac{t - T_1}{T_2 - T_1}) + \frac{1}{T_2 - T_1} * \int_{T_1}^{t} \frac{D(0)}{f'} * F_r(t) * F_d(t + t_R) * \frac{F_d(x)}{F_d(t_R)} dx, T_1 < t < T_2 \\ \frac{1}{T_2 - T_1} * \int_{T_1}^{T_2} \frac{D(0)}{f'} * F_r(t) * F_d(t + t_R) * \frac{F_d(x)}{F_d(t_R)} dx, T_2 < t \end{cases} \quad (5)$$

где T_1 и T_2 - моменты начала и завершения рекультивационных работ на всей территории, лет; t_R - параметр, характеризующий изменение интенсивности миграции радионуклидов из-за проведения рекультивационных работ, лет (устанавливается экспериментально по результатам измерений - МЭД. Для рекультивации участков подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран»), t_R - установлен равным 2 годам)[13].

На основании полученных результатов рекультивационных работ на участках подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран» в 2023-2024 годах на рис. 1. представлены сравнительные зависимости спада усредненной значений мощности дозы - МЭД с учетом рекультивации и без рекультивации.

ISSN 3030-3907

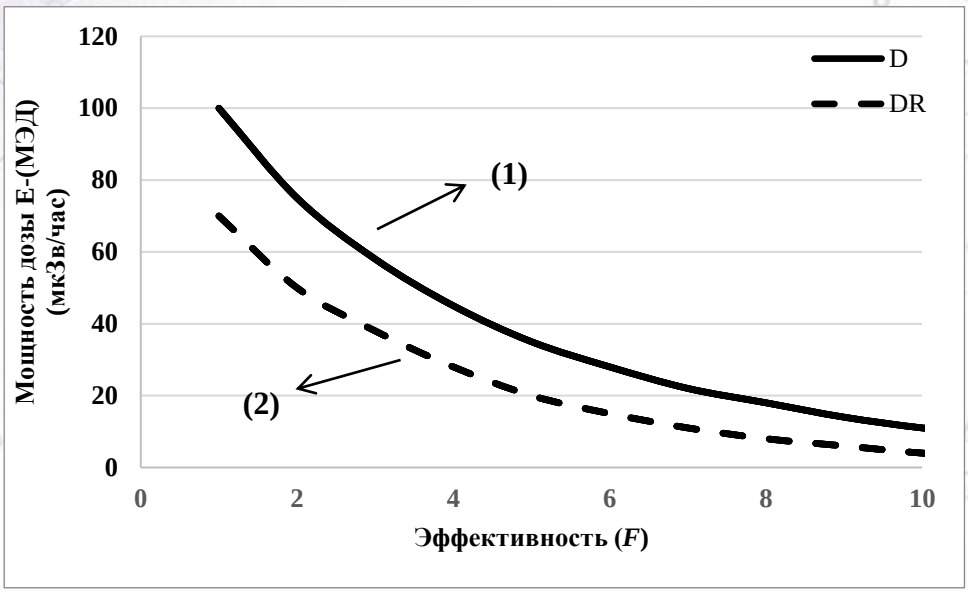


Рис. 1. Сравнительные зависимости усредненной значений мощности дозы -МЭД без рекультивации - *D* и с рекультивации - D_R

Уточненные формулы (4) и (5) позволяют оценить экономическую выгоду $Q_{без}$ от проведения рекультивационных работ на вышеперечисленных территориях, определяемую снижением стоимостного ущерба здоровью населения за период проживания [t_1; t_2], и персонала за период пребывание и среднюю эффективность f – оекультивационных работ для всей территории, которые определяются выражениями (6) и (7):

$$Q^{+}_{\partial e з} = \vartheta * N * K * \int_{t_1}^{t_2} (D(t) - D_R(t))dt, \quad (6)$$

$$f = D(\tau) / D_R(\tau), \quad (7)$$

где τ - момент времени после завершения рекультивации на всей территории; K - безразмерный фактор экранирования, учитывающий нахождение людей в этих объектах.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании проведённых исследований и сравнительного анализа результатов дезактивации участков подземного выщелачивания урана в Кызылкумском регионе на промышленных предприятиях Государственного предприятия «Навоийуран» в 2023 - 2024 годах установлено, что спад усреднённой по территории величины МЭД происходит интенсивнее на участках, где проведена дезактивация (функция (5)), и медленнее на участках, где дезактивация не проводилась (функция (1)).

Математическое моделирование рекультивационных работ радиационно загрязнённых территорий при добыче урана позволяет

ISSN 3030-3907

уточнить параметры рекультивационных мероприятий. Установлено, что процессы дезактивации загрязнённых почв вносят заметный вклад в изменение радиационной обстановки в локальных точках региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konoplev A.V., Bulgakov A.A. Migration of radionuclides in soils. Journal of Environmental Radioactivity, 2000.
2. IAEA Remediation of Sites with Residual Radioactive Contamination. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006.
3. IAEA Management of Radioactive Waste from Uranium Production. Vienna, 2002.
4. OECD NEA Uranium Mine and Mill Remediation. Paris: OECD Nuclear Energy Agency, 2002.
5. UNSCEAR Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008.
6. Morton K.W., Mayers D.F. Numerical Solution of Partial Differential Equations. Cambridge, 2005.
7. Mathematical modeling of radionuclide transport in uranium tailings Journal of Environmental Radioactivity, 2015.
8. Reactive transport modeling in uranium mining environments. Applied Geochemistry, 2018.
9. Numerical simulation of remediation strategies for contaminated soils Environmental Modeling & Software, 2020.
10. Multiphysics modeling of uranium leaching and environmental impact. Journal of Cleaner Production, 2021.
11. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кадиров Ф.М., Латышев В.Е. Методы оценки техногенного влияния хвостохранилищ промышленных предприятий на окружающую среду //Горный вестник Узбекистана. 2002. -№2. -С. 85-89.
12. Аллаберганова Г.М., Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Журакулов А.Р. Радиометрическая оценка радиационной обстановки в промышленной и близлещажей зоне уранодобывающих предприятий. Тезисы докладов IX-Международной конференции /Ядерная и радиационная физика. - Алматы. Казахстан. 2013. стр. 222-223.
13. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка техногенных экологических и радиоэкологических факторов в зоне деятельности НГМК // Горный вестник Узбекистана, 2013. №2.(53). - С. 130-134

ISSN 3030-3907

ANALYSIS OF MODELS FOR ORGANIZING MARKET RELATIONS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

O‘rolov Dilshod Baxriddin o‘g‘li
Karshi State Technical University student

Abstract. This article analyzes the main models for organizing market relations in the electric power industry. The interactions among electricity market participants, the role of power networks in market operation, and the mechanisms for creating a competitive environment are examined. In addition, monopoly market, single-buyer, wholesale competition, and retail competition models are compared, and their advantages and disadvantages are evaluated. The research findings are of practical significance for improving the electricity market and selecting the most effective market model.

Keywords: electric power industry, electricity market, market relations, competition model, single buyer, wholesale market, retail market, power networks, power system, tariff policy.

Аннотация. В данной статье проведён анализ основных моделей организации рыночных отношений в электроэнергетической системе. Рассмотрены взаимоотношения участников рынка электроэнергии, роль электрических сетей в функционировании рынка, а также механизмы формирования конкурентной среды. Кроме того, выполнено сравнение моделей монопольного рынка, единого покупателя, а также конкурентных моделей оптового и розничного рынков, дана оценка их преимуществ и недостатков. Результаты исследования имеют практическое значение для совершенствования рынка электроэнергии и выбора наиболее эффективной модели его организации.

Ключевые слова: электроэнергетика, рынок электроэнергии, рыночные отношения, модель конкуренции, единый покупатель, оптовый рынок, розничный рынок, электрические сети, энергетическая система, тарифная политика.

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr energetika tizimida bozor munosabatlarini tashkil etishning asosiy modellari tahlil qilingan. Elektr energiyasi bozori ishtirokchilarining o‘zaro munosabatlari, elektr tarmoqlarining bozordagi o‘rni hamda raqobat muhitini shakllantirish mexanizmlari yoritilgan. Shuningdek, monopol bozor, yagona xaridor, ulgurji va chakana bozorlarda raqobat modellari solishtirilib, ularning afzalliklari va kamchiliklari baholangan. Tadqiqot natijalari elektr energetika bozorini takomillashtirish va samarali bozor modelini tanlashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: elektr energetikasi, elektr energiyasi bozori, bozor munosabatlari, raqobat modeli, yagona xaridor, ulgurji bozor, chakana bozor, elektr tarmoqlari, energetika tizimi, tarif siyosati.

INTRODUCTION.

ISSN 3030-3907

If the service of electricity delivery is separated from the product itself, electricity can be regarded as a commodity that may be bought, sold, and transferred from one location to another, similar to any other product. Even if electricity transmission remains a natural monopoly, a market for electricity can be said to exist provided that each consumer is free to choose the producer from whom they purchase electricity through the network.

The existence of markets for commodities (active and reactive electrical energy) and services (transmission, frequency regulation, voltage control, etc.) implies the presence of the following participants (Figure 1):

• Producers of goods and services – generation companies (power systems and power plants) and network companies (individual transmission lines or network systems);

• Consumers of goods and services – industrial, municipal, agricultural, and other categories of electricity consumers.

Electrical energy, as a commodity, possesses several distinctive characteristics: the simultaneity of generation and consumption, the impracticality of economically storing large quantities, the influence of every producer and consumer on the overall quality of the product, and the necessity of complying with strict quality standards, among others. Furthermore, there is only one practical method for transmitting electrical energy on an industrial scale. These characteristics determine the role of a coordinating authority in the interactions among the aforementioned entities, whose function is to coordinate the operating conditions of market participants and ensure the reliable operation of the entire electric power system through dispatch control. This entity ensures the operation of the power system under optimal operating conditions without directly considering the economic interests of individual participants. More precisely, it is assumed that the damage resulting from unacceptable deviations in system operation is significantly greater than the losses associated with suboptimal control decisions. Thus, it also performs an economic function by protecting market participants from potential losses.

Special attention should be paid to the role of the electrical network in the organization and operation of the electricity market. The network remains the only means of transmitting electrical energy on a large scale and is therefore often regarded as the marketplace in which market transactions take place. To ensure fair competition among producers and consumers, the network must provide equal access and non-discriminatory conditions for all participants. If network resources are limited, market participants must compete for the right to utilize these resources on equal and non-discriminatory terms. The fewer the capacity-related constraints associated with interconnections in transferring electricity and services from one

ISSN 3030-3907

market entity to another, and the lower the losses in these interconnections, the more fully market mechanisms can be implemented and the greater the potential for improving economic efficiency.

Tariff regulation refers to the overall level and structure of tariffs determined based on consumer demand for electricity. The need for investment control is mainly explained by the fact that investments determine the future price of electricity. In this regard, such control represents an active form of tariff forecasting. This type of regulation enables state authorities to actively develop and implement their energy policy, and given the fundamental importance of energy supply, all countries, to varying degrees, make use of this opportunity. Antitrust regulation consists of sanctions imposed for the abuse of a dominant market position, allowing competition authorities to take measures against utilities for unjustified price increases and the imposition of arbitrary requirements on consumers.

When energy companies operate jointly, it is necessary to establish coordinated control of their combined operation to ensure reliable and economical electricity supply to consumers.

Coordination of operational activities includes:

- economic load sharing among generating units;
- optimal selection of the composition of operating units;
- optimal scheduling of maintenance plans.

Reliability coordination includes:

- defining overall reliability criteria;
- automatic frequency regulation;
- coordination of reserve capacities;
- ensuring data exchange for reliability analysis;
- exchange of information for planning maintenance of generating equipment, substation equipment, and transmission lines.

In order to improve the efficiency of electricity supply to consumers, competition is also important alongside coordination. Competition among energy companies and fuel suppliers has existed for a long time. For a long period, there has also been competition between energy utilities and large industrial enterprises with their own generation capacities in the production and in the sale and purchase of electrical energy.

Competition may take various forms and can include a wide range of activities, typically involving the following opportunities:

- construction, ownership, and operation of power plants;
- construction, ownership, and operation of transmission lines;

ISSN 3030-3907

- redistribution of energy to other consumers both within and outside the power system;
- purchasing electricity from different producers;
- purchasing electricity from different power systems;
- selling electricity to different power systems;
- selling electricity to different consumers.

Competition within a country, as well as between countries or regions, is influenced by government policy, including:

- permits for the construction of certain types of generating facilities;
- taxation policies;
- electricity import and export policies;
- environmental protection legislation.

Investment activity, which determines the development of the electric power sector, is carried out on a competitive basis in almost all developed foreign countries. At the same time, integration within the electricity industry is increasing: large energy companies in industrialized countries are acquiring power plants and entire energy companies in other countries. Alongside traditional methods of addressing capacity shortages through the construction of new power plants, load management practices, as well as long-term purchasing or leasing of generating capacity, are increasingly being applied.

From a competitive perspective, there are four main models of electricity sector structures.

Model 1. Monopoly in all structures. Electricity producers do not compete with each other, and no enterprise has the right to choose its electricity supplier. A single company holds a monopoly over electricity generation and its transmission through the network, either to distribution companies or directly to end consumers, depending on whether distribution companies exist or not.

In the monopoly model, all end consumers are supplied by a single energy company to which this responsibility is entrusted. This form of vertically integrated organization has, over time, enabled the development of large-scale transmission systems and the construction of large power plants. These economic advantages have, for many years, served the interests of such a monopolistic enterprise. A complete monopoly also enables the government to address public policy objectives, such as providing subsidies to low-income regions, implementing rural electrification programs, and promoting the use of local energy resources.

Model 2. Single buyer. There is a single buyer— a purchasing agency that selects electricity producers through competition among them. The single buyer holds a monopoly over the transmission network and the sale of electricity to distribution networks and end consumers.

ISSN 3030-3907

This model also enables the government to address public policy objectives. At the same time, it helps avoid a number of costs typical of deregulated systems, such as wholesale market management costs, transmission network access costs, and the increase in capital costs due to higher technological risks. The single-buyer system requires the establishment of long-term contracts between consumers and independent power producers. In this framework, independent producers are protected from market risk. Contracts are based on the cost of electricity generation. Independent producers compete in terms of their participation level in operating a particular power system, while their revenues are guaranteed during the operation of the power plant. With this guarantee, they are able to participate in financing highly capital-intensive power plants. Market and technological risks are transferred to consumers through a single buyer. By separating power plant owners from direct market relations, Model 2 reduces the dynamic benefits of competition and leaves many decisions about when and where to build new capacity in the hands of central planners.

Model 3. Competition in the wholesale market. Distribution companies purchase electricity directly from generators in the retail market and deliver it to consumers through the transmission network. Distribution companies still retain a monopoly over supplying electricity to end consumers. However, open access to the transmission network is provided for both electricity generators and distribution companies.

In this model, competition can be further expanded, allowing all producers to sell electricity to a large number of consumers. A greater number of buyers makes the market more competitive and dynamic. The advantages of competition in electricity generation are strengthened as market and technological risks are transferred back to the producers. Power plant owners are subject to more effective regulation and are better able to evaluate the benefits of new technologies, becoming more attentive in making investment decisions. At the same time, the increased level of risk for power plant owners leads to higher transaction costs and requires additional market and network agreements. This model also reduces the government's ability to guide the selection of new electricity generation technologies through mechanisms other than direct subsidies and policy directives.

Model 4. Competition in retail electricity markets or direct access. In this case, all consumers have the right to choose their electricity supplier. They have open access to transmission and distribution networks.

Recent fundamental changes in the electricity sector in various countries around the world have been mainly associated with the implementation of the last two models.

ISSN 3030-3907

In international practice (particularly in the United States), the following classification of electricity markets is adopted:

1.Electricity market

- Spot market – energy supply contracts are concluded for a short term (up to one day) and are mainly of an exchange-based nature;
- Long-term market – energy supply over extended periods (from several days to several years). In this segment, direct bilateral contracts between producers and consumers are possible;
- Ancillary services market, including reserves (spinning, non-spinning, etc.);
- Frequency regulation;
- Voltage regulation.

REFERENCES:

1. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
2. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
3. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
4. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
5. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
6. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.
7. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
8. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ

ISSN 3030-3907

БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
9. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.
10. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
11. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.
12. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
13. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
14. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
15. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.
16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
17. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.
18. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
19. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.

ISSN 3030-3907

20. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.
21. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
22. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
23. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
24. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
25. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.
26. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
27. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., & Kurbonov, N. & Mukimov, B.(2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171).
28. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
29. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.

ISSN 3030-3907

30. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.
31. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.
32. Muminov, A., Yusupov, D., Kutbidinov, O., Mukhammadjonov, M., Norboev, A., Zaynieva, O., ... & Radjabov, S. (2026, May). Development and analysis of a health index-based multi-criteria assessment model for power transformer condition monitoring. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3447, No. 1, p. 040011). AIP Publishing LLC.

ISSN 3030-3907

YO‘L HARAKATI XAVFSIZLIGI INDIKATORLARI TIZIMINING KONSEPTUAL MODELINI ISHLAB CHIQISH VA INSON OMILI ASOSIDA OPERATSION TAXLIL ETISH

Baynazarov Xayrullo Raximovich
Andijon davlat texnika instituti t.f.f.d. (PhD), dotsent
Xalimjonov Elmurod Xalilbek o‘g‘li
Andijon davlat texnika instituti tayanch doktorant.

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada yo‘l harakati xavfsizligini (YHX) tizimli va proaktiv baholashning fundamental muammolari hamda ularning zamonaviy yechimlari tahlil qilindi. Tadqiqot doirasida xavfsizlik unumdorligi indikatorlari (Safety Performance Indicators - SPI) konsepsiyasiga tayangan holda ko‘p darajali yangi konseptual model taklif etilgan. Bu model tarkibida inson omili, ya'ni haydovchi va piyodalarning operatsion xulq-atvori ko‘rsatkichlari eng asosiy invariant sifatida tadqiq qilingan va matematik funksiyalar yordamida baholash mexanizmlari shakllantirilgan.

Kalit so‘zlar: yo‘l harakati xavfsizligi, konseptual model, xavfsizlik indikatorlari (SPI), inson omili, operatsion daraja, intellektual transport tizimi, xavf koeffitsiyenti.

Abstract. This scientific article analyzes the fundamental problems of systematic and proactive road safety assessment and their modern solutions. Within the framework of the study, a new multi-level conceptual model is proposed, based on the concept of safety performance indicators (SPI). Within this model, the human factor—specifically the operational behavior indicators of drivers and pedestrians—was investigated as the primary invariant, and evaluation mechanisms were formulated using mathematical functions.

Keywords: road safety, conceptual model, safety indicators (SPI), human factor, operational level, intelligent transport system, risk coefficient.

Аннотация. В данной научной статье проанализированы фундаментальные проблемы системной и проактивной оценки безопасности дорожного движения (БДД) и их современные решения. В рамках исследования предложена новая многоуровневая концептуальная модель, основанная на концепции индикаторов эффективности безопасности (Safety Performance Indicators - SPI). В составе этой модели в качестве основного инварианта исследован человеческий фактор, то есть показатели операционного поведения водителей и пешеходов, и сформированы механизмы оценки с помощью математических функций.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, концептуальная модель, индикаторы безопасности (SPI), человеческий фактор,

операционный уровень, интеллектуальная транспортная система, коэффициент риска.

KIRISH.

Globalizatsiya va urbanizatsiya jarayonlarining jadallashishi sharoitida avtomobillashtirish darajasining keskin o‘sishi transport tizimlarining samaradorligini oshirish bilan bir qatorda, aholi xavfsizligiga jiddiy tahdid soluvchi omillarni ham yuzaga keltirmoqda. Butunjahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (WHO) ma’lumotlariga ko‘ra, dunyo miqyosida har yili yo‘l-transport hodisalari (YTH) oqibatida 1,3 milliondan ortiq inson hayotdan ko‘z yumadi va 50 milliongacha bo‘lgan harakat ishtirokchilari turli darajadagi jarohatlarni oladi. O‘zbekiston Respublikasida ham oxirgi yillarda yo‘l harakati xavfsizligini ta’minlash, transport infratuzilmasini raqamlashtirish va qonunchilik asoslarini takomillashtirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri etib belgilandi [1].

Uzoq yillar davomida yo‘l harakati xavfsizligi darajasini baholash va boshqarish an’anaviy "reaktiv" metodologiyaga asoslanib keldi. Ushbu metodologiya faqat salbiy oqibatlar — sodir bo‘lgan YTHlar soni, jarohatlanganlar va halok bo‘lganlar statistikasi yuzaga chiqqandan keyingina choralar ko‘rishni ko‘zda tutadi. Biroq, reaktiv yondashuv tizimdagi tizimli zaifliklarni va yashirin xavflarni erta aniqlash imkonini bermaydi. Shuning uchun zamonaviy transport muhandisligi ilmiy hamjamiyati yo‘l harakati xavfsizligini uning bevosita oqibatlaridan oldin, ya’ni tizim elementlarining joriy holatiga qarab baholaydigan "proaktiv" yondashuvlarga o‘tishni taqozo etmoqda.

Proaktiv boshqaruvning asosi bo‘lib Xavfsizlik unumdorligi indikatorlari (Safety Performance Indicators - SPI) tizimi xizmat qiladi. SPI tizimi YTHlarning kelib chiqishiga sabab bo‘luvchi tizimli zanjirlarni uzishga, ya’ni haydovchi xulq-atvori, yo‘l infratuzilmasi va transport vositasining texnik holatini operatsion nazorat qilishga asoslanadi. Ushbu tadqiqot ishining maqsadi — O‘zbekiston sharoitiga moslashtirilgan yo‘l harakati xavfsizligi indikatorlari tizimining ko‘p o‘lchamli konseptual modelini ishlab chiqish va unda eng muhim omil bo‘lgan inson invariantlarini matematik va empirik jihatdan tahlil etishdan iborat [3].

ADABIYOTLAR SHARHI.

Xavfsizlik indikatorlaridan foydalanish g‘oyasi dastlab Yevropa transport xavfsizligi kengashi (ETSC) va Shvetsiyaning "Vision Zero" (Nol qurbon) strategiyasi doirasida shakllangan. G. Wegman va L. Elsenaar o‘z tadqiqotlarida YHXni baholash uchun faqat yakuniy statistika yetarli emasligini ko‘rsatib, makro va mikro darajadagi indikatorlar iyerarxiyasini taklif etganlar. Ularning fikricha, tizim sifati va harakat ishtirokchilarining xulq-atvori o‘rtasidagi korrelyatsiya to‘g‘ridan-to‘g‘ri YTHlar chastotasiga ta’sir qiladi [4].

ISSN 3030-3907

Inson omili va xulq-atvor indikatorlarini o‘rganishda xalqaro miqyosda haydovchilarning tezlik rejimiga rioya qilmasligi eng xavfli invariant sifatida baholanadi. C. Tingvall va boshqa olimlar o‘zlarining fundamental ishlarida transport vositalarining kinetik energiyasi va inson tanasining biologik chidamliligi o‘rtasidagi bog‘liqlikni tahlil qilib, tezlikni 10% ga pasaytirish o‘lim bilan tugaydigan YTHlarni qariyb 30-40% gacha kamaytirishini isbotlashgan. Shu sababli operatsion indikatorlar tizimida tezlik dinamikasi birinchi o‘ringa chiqadi.

Mahalliy tadqiqotchilardan S.S. Gulyamov, A.A. Azizov va Sh.A. Hakimovlarning ilmiy ishlarida transport logistikasi, yo‘llarni loyihalash geometriyasi va O‘zbekiston sharoitida haydovchilar psixofiziologiyasining o‘ziga xos xususiyatlari ko‘rib chiqilgan. Biroq, mahalliy tadqiqotlarda intellektual transport tizimlari (kameralar, radarlar va GPS trekerlar) taqdim etayotgan Big Data (katta hajmli ma'lumotlar) omborini proaktiv indikatorlar konseptual modeliga tizimli ravishda integratsiya qilish masalalari hali yetarlicha yoritilmagan. Ushbu maqola aynan shu ilmiy bo‘shliqni to‘ldirishga yo‘naltirilgan [6,7].

METODOLOGIYA.

Tadqiqotda tizimli yondashuv va iyerarxik tizimli modellashtirish uslublaridan foydalanildi. Yo‘l harakati tizimi murakkab "Haydovchi - Avtomobil - Yo‘l - Muhit" (HAYM) tizimi sifatida qaraldi. Konseptual modelni qurish uchun barcha indikatorlar funktsional vazifalari va boshqaruv iyerarxiyasiga ko‘ra 3 ta asosiy makro-blokga va ular ichida 3 ta mikrodarajaga ajratildi:

- Institutsional daraja (Siyosat va qonunchilik): Davlat miqyosidagi normativ-huquqiy baza, budjet mablag‘larining taqsimlanishi va strategik dasturlar.
- Tizimli daraja (Infratuzilma va texnika): Yo‘llarning xalqaro standartlarga (iRAP) mosligi, avtoparkning xavfsizlik texnikasi bilan jihozlanganligi.
- Operatsion daraja (Inson omili va xulq-atvor): Real vaqt rejimida harakat ishtirokchilarining qoidalarga va xavfsizlik talablariga rioya qilish darajasi.

Ma'lumotlarni yig‘ish va ularga ishlov berish metodikasi raqamli monitoring tizimlariga asoslangan. Toshkent shahrining markaziy va magistral yo‘llarida o‘rnatilgan intellektual foto-video fiksatsiya kameralari hamda radarlardan olingan haydovchilarning harakat profiliga oid ma'lumotlar (2025-2026 yillar kesimida) matematik-statistik tahlil uchun empirik baza bo‘lib xizmat qildi. Indikatorlar qiymatini standartlashtirish va integrallashgan yakuniy ko‘rsatkichni hisoblashda vazn koeffitsiyentlarini aniqlash uchun ekspert baholash (Delphi usuli) va iyerarxiyalarni tahlil qilish metodi (Saati usuli) qo‘llanildi.

NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI.

ISSN 3030-3907

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida Yo‘l harakati xavfsizligi indikatorlari tizimining ko‘p darajali mukammal konseptual modeli ishlab chiqildi. Inson omilining umumiy xavf hosil bo‘lishidagi ulushi 85% dan yuqori ekanligini inobatga olib, modelning markazi va uning operatsion darajadagi invariantlari alohida matematik modellashtirildi.

4.1. Operatsion darajadagi indikatorlarning matematik modeli

Muayyan transport tarmog‘i yoki yo‘l segmentida inson omili bilan bog‘liq xavf darajasini real vaqt rejimida integral baholash uchun quyidagi ko‘p faktorli matematik funksiya taklif etiladi:

Tezlik indikatori yo‘l segmentida ruxsat etilgan maksimal tezlikdan oshgan transport vositalarining umumiy oqimdagi ulushini aks ettiradi va quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

Mazkur indikator ITT radarlari tomonidan avtomatik hisoblanadi.

4.2. Yo‘l harakati xavfsizligi indikatorlari ustuvorlik matritsasi

Model elementlarini amaliyotga tatbiq etish va monitoring mexanizmini soddalashtirish maqsadida quyidagi kompleks ustuvorlik matritsasi ishlab chiqildi

1-Jadval

Indikator darajasi	**Asosiy o‘lchov mezoni**	**Ma’lumot manbasi**	**Ustuvorlik (Vazni)**
Operatsion *(Inson omili)*	Tezlik, xavfsizlik kamari, telefondan foydalanish, charchoq alomatlari	ITT kameralari, intellektual radarlar	🔴 **Yuqori (50%)**
Tizimli *(Infratuzilma)*	iRAP yulduzli reytingi, yo‘llarning yoritilganlik darajasi	Yo‘l auditi, geodeziya ma’lumotlari	🔴 **Yuqori (20%)**
Tizimli *(Texnika)*	Avtoparkning o‘rtacha yoshi, ABS/ESP tizimlari bilan jihozlanganlik ulushi	Raqamlashtirilgan texnik ko‘rik bazalari	🟡 **O‘rtacha (20%)**
Institutsional *(Boshqaruv)*	YHX budjeti taqsimoti, qonunchilik va normativ indekslar	Davlat statistika qo‘mitasi, rasmiy hisobotlar	🟢 **Past (10%)**

MUHOKAMA.

Taklif etilayotgan konseptual modelning ilmiy va amaliy ahamiyati shundaki, u transport boshqarmalariga YTH sodir bo‘lmasidan oldin tizimga

ISSN 3030-3907

aralashish imkoniyatini beradi. An’anaviy usulda ma’lum bir chorrahada 5 ta YTH sodir bo‘lgandan keyin u "qora nuqta" (xavfli hudud) deb e'lon qilinadi va chora ko‘riladi. Bizning modelimizda esa mazkur chorrahada tezlik koeffitsiyenti va chalg‘ish koeffitsiyenti normativ darajadan oshgan hamon (YTH sodir bo‘lishini kutmasdan) tizim ogohlantirish beradi va u yerga profilaktik muhandislik yoki nazorat choralarini yo‘naltirish imkonini yaratadi.

O‘zbekiston sharoitida modelni qo‘llashda ba’zi texnik cheklovlar mavjudligini ta’kidlash lozim. Xususan, haydovchining charchoq darajasini yoki haydash davomida mobil telefondan foydalanishini statsionar kameralar yordamida 100% aniqlash imkoniyati cheklangan. Buning uchun tizimga sun'iy intellektga asoslangan chuqur o‘rganish (Deep Learning) algoritmlarini qo‘shimcha ravishda kiritish va kameralar ruxsat optikasini yaxshilash talab etiladi. Shuningdek, xavfsizlik kamari indikatori (I_a) tahlili faqat transport vositalarining old oynalari ko‘rinish darajasiga (tonirovka va ob-havo omillariga) bog‘liq bo‘lib qolishi mumkin. Ushbu cheklovlarni kamaytirish uchun kelgusi tadqiqotlarda dinamik og‘irlik faktorlarini kiritish rejalashtirilmoqda.

XULOSA

Yo‘l harakati xavfsizligi indikatorlari tizimining konseptual modelini yaratish va uni inson omili parametrlari bilan integratsiyalash transport xavfsizligi muhandisligida yangi bosqich hisoblanadi. Olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishi asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. YHX darajasini faqat YTH oqibatlari bo‘yicha baholash metodologiyasi ma’naviy eskirgan bo‘lib, barqaror xavfsizlikni ta’minlash uchun proaktiv Xavfsizlik unumdorligi indikatorlariga (SPI) o‘tish zarurati asoslab berildi.

2. Ishlab chiqilgan ko‘p darajali konseptual model inson, texnika va infratuzilma omillarini o‘zaro muvofiqlashtirib, tizimiy kamchiliklarni erta diagnostika qilish imkonini beradi.

3. Inson omili bo‘yicha taklif etilgan matematik funksiya (R_{human}) real vaqt rejimida ITT ma'lumotlaridan foydalangan holda yo‘l tarmoqlarining xavf darajasini operatsion baholash asosi bo‘lib xizmat qiladi.

4. Modelni amaliyotga tatbiq etish orqali yo‘l harakatini tashkil etishga yo‘naltiriladigan davlat investitsiyalarining samaradorligini 20-25% gacha oshirish va eng muhimi, profilaktik choralar hisobiga o‘lim ko‘rsatkichlarini keskin kamaytirish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining "Yo‘l harakati xavfsizligi to‘g‘risida"gi Qonuni. Yangi tahriri, Toshkent, 2024 y.
2. Wegman F., Elsenaar L. Operationalization of Road Safety Performance Indicators. European Transport Safety Council (ETSC), Brussels, 2018.

ISSN 3030-3907

3. Tingvall C., Krafft M. Vision Zero: An ethical approach to safety and highway engineering. In: Proceedings of the International Conference on Traffic Safety, Sweden, 2021, pp. 45-52.
4. World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2023. Geneva: WHO, 2023.
5. Gulyamov S.S., Azizov A.A. Transport tizimlarida intellektual boshqaruv va raqamli texnologiyalar. Darslik, Toshkent: 'Fan va texnologiyalar', 2022. - 312 b.
6. Hakimov Sh.A. Avtomobil yo‘llarida xavfli hududlarni proaktiv aniqlash va barqaror infratuzilma modellarini loyihalash. Ilmiy maqola, Transport muammolari jurnali, №3, 2025, 78-86 b.
7. European Transport Safety Council (ETSC). Transport Safety Performance Indicators in Europe. Annual Report, Brussels, 2025.

ISSN 3030-3907

MASTERING HYDRAULIC LATENCY: A PHYSICS-INFORMED DRL APPROACH FOR INTELLIGENT FLOW FORECASTING AND GATE CONTROL IN THE PARKENT CANAL

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 Mukhabbat
Energy Engineering, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan
Asretdinova Lobar
Automatic Control and Computer Engineering, Turin Polytechnic University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Efficient water conveyance in long-distance open channels is severely hindered by hydraulic time-lag latency, transient flow conditions, and dynamic water demands. This paper presents a theoretical framework that couples Deep Reinforcement Learning (DRL) with Physics-Informed Long Short-Term Memory (PI-LSTM) networks to optimize check gate operations along the Parkent Magistral Canal in Uzbekistan. By embedding the 1D de Saint-Venant equations directly into the neural network's loss function, the PI-LSTM serves as a physically consistent surrogate model, achieving high-accuracy, multi-day water level and discharge forecasts (Nash-Sutcliffe Efficiency of 0.924 at a 5-day horizon). To compensate for transport delays, the gate control task is formulated as a Delayed-Observation Markov Decision Process (DOMDP). Utilizing model-free DRL algorithms from the Stable-Baselines3 library, specifically Proximal Policy Optimization (PPO) and Soft Actor-Critic (SAC), the control agent learns to anticipate downstream demand variations. Under a standard 4-hour propagation delay, the SAC agent demonstrates exceptional robustness, reducing steady-state water level errors to under 1.5 cm and minimizing transient overshoot to less than 5%, outperforming conventional PID and Model Predictive Control (MPC) baselines. The integration of physically constrained deep learning and delay-aware reinforcement learning offers a highly stable, computationally efficient solution for real-time automated irrigation management.

Keywords: Open-channel hydraulics; Hydraulic time-lag; Deep reinforcement learning; Physics-informed neural networks; LSTM; Parkent Magistral Canal; Gate automation.

Аннотация. Эффективная транспортировка воды по протяжённым открытым каналам существенно затруднена гидравлической задержкой, нестационарными условиями течения и динамически изменяющимся водопотреблением. В настоящей работе представлена теоретическая основа, объединяющая глубокое обучение с подкреплением (DRL) с физически информированными сетями долгой краткосрочной памяти (PI-LSTM) для оптимизации управления затворами вдоль Паркентского магистрального канала в Узбекистане. Путём встраивания одномерных уравнений де Сен-Венана непосредственно в функцию потерь нейронной сети модель PI-LSTM выступает физически согласованной суррогатной моделью, обеспечивая высокоточное многодневное прогнозирование уровня воды и расхода (коэффициент эффективности Нэша–Сатклиффа 0,924 на горизонте 5 суток). Для компенсации транспортных задержек задача управления затворами формулируется как марковский процесс принятия решений с отложенными наблюдениями (DOMDP). Используя модельно-независимые алгоритмы DRL из библиотеки Stable-Baselines3 — в частности, оптимизацию проксимальной политики (PPO) и мягкий алгоритм «актор–критик» (SAC) — управляющий агент обучается предвосхищать изменения потребности в воде в нижнем бьефе. При стандартной задержке распространения в 4 часа агент SAC демонстрирует исключительную робастность: ошибка уровня воды в установившемся режиме не превышает 1,5 см, а переходное перерегулирование составляет менее 5%, что превосходит классические регуляторы ПИД и методы управления на основе модели (MPC). Интеграция физически ограниченного глубокого обучения и обучения с подкреплением с учётом задержек предоставляет высокостабильное, вычислительно эффективное решение для автоматизированного управления ирригацией в режиме реального времени.

Ключевые слова: Гидравлика открытых каналов; Гидравлическая задержка; Глубокое обучение с подкреплением; Физически информированные нейронные сети; LSTM; Паркентский магистральный канал; Автоматизация затворов.

Annotatsiya. Uzoq masofali ochiq kanallarda suvni samarali uzatish gidravlik vaqt kechikishi, o‘tish rejimidagi oqim holatlari va dinamik suv talabi tufayli jiddiy qiyinlashadi. Ushbu maqolada O‘zbekistondagi Parkent magistral kanali bo‘ylab shlyuz darvozalarini boshqarishni optimallashtirish uchun chuqur mustahkamlash o‘rganish (DRL) va fizika asosida ishlovchi uzoq muddatli qisqa xotira tarmoqlari (PI-LSTM) ni birlashtiruvchi nazariy asoslar taqdim etiladi. De Sen-Venan bir o‘lchovli tenglamalarini neyron tarmoqning yo‘qotish funksiyasiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri joylashtirish orqali PI-LSTM fizik jihatdan izchil o‘rinbosar model sifatida

ISSN 3030-3907

ishlaydi va 5 kunlik prognoz ufqida yuqori aniqlikdagi, ko‘p kunlik suv sathi va sarfini bashoratlashni ta'minlaydi (Nesh–Satkliff samaradorlik koeffitsienti 0,924). Transport kechikishlarini qoplash uchun darvoza boshqaruv vazifasi kechiktirilgan kuzatishli Markov qaror qabul qilish jarayoni (DOMDP) sifatida shakllantiriladi. Stable-Baselines3 kutubxonasidan modelsiz DRL algoritmlari — xususan, proksimal siyosat optimallashtirish (PPO) va yumshoq aktyor-kritik (SAC) algoritmlaridan foydalanib, boshqaruv agenti pastki oqimdagi suv talabi o‘zgarishlarini oldindan hisobga olishni o‘rganadi. 4 soatlik standart tarqalish kechikishida SAC agenti o‘ta yuqori chidamlilikni namoyish etadi: barqaror holat suv sathi xatosi 1,5 sm dan oshmasligi va o‘tish jarayonidagi ortiqcha o‘sish 5% dan kam bo‘lishi bilan an'anaviy PID va model asosidagi prognozlash boshqaruvi (MPC) usullaridan ustun keladi. Fizikaviy cheklovli chuqur o‘rganish va kechikishni hisobga oluvchi mustahkamlash o‘rganishni birlashtirish real vaqtda avtomatlashtirilgan sug‘orish boshqaruvi uchun yuqori barqaror, hisoblash jihatidan samarali yechim taqdim etadi.

Kalit so‘zlar: Ochiq kanal gidravlikasi; Gidravlik vaqt kechikishi; Chuqur mustahkamlash o‘rganish; Fizika asosidagi neyron tarmoqlar; LSTM; Parkent magistral kanali; Shlyuz avtomatlashtirish.

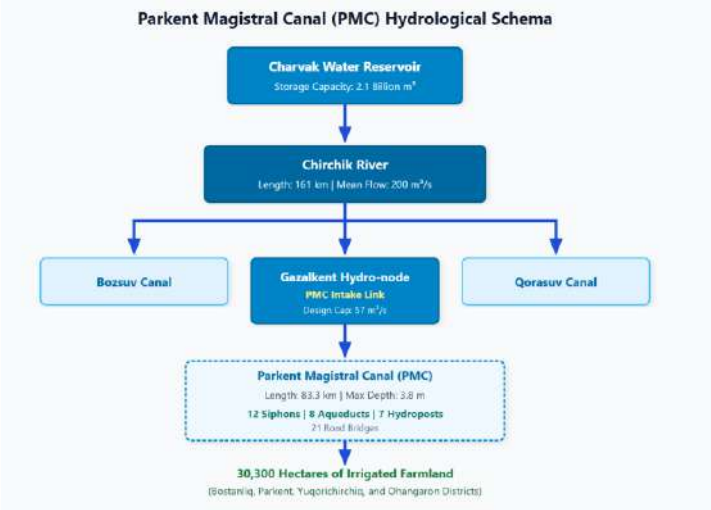
INTRODUCTION.

Long-distance open-channel systems in arid and semi-arid regions are vital for agricultural sustainability, municipal water supply, and ecological stability ,. In Central Asia, and particularly in the Republic of Uzbekistan, the management of transboundary water resources is a highly complex challenge due to rising aridity, climate-induced hydrological variability, and historical infrastructure limitations. The Chirchik River Basin (CRB), situated in the northeastern Tashkent province, covers approximately 5,626 km² and is one of the most economically and agriculturally vital basins in the region. Consuming an average of 4.082 billion m³ of water annually—with over 76% allocated directly to the irrigation of critical crops such as cotton and wheat—the CRB relies heavily on efficient water conveyance. The topography of the basin varies from mountainous upstream watersheds in the Bostonliq district, with elevations reaching 4,293 meters above mean sea level, to flat downstream administrative plains. Precipitation gradients are highly variable, ranging from 810 mm/year upstream, where maximum seasonal snow depths can reach 1,200 mm, to approximately 426 mm/year downstream.

The primary surface water source, the Chirchik River, is 161 km long and is regulated by the Charvak water reservoir, which has a storage capacity of 2.1 billion m³. Water is distributed from this river to vast agricultural lands and urban centers through three primary irrigation canals: the Bozsuv, the Qorasuv, and the

ISSN 3030-3907

Parkent Magistral Canal (PMC). The PMC is a major hydraulic infrastructure, originating from the left bank of the Chirchik River at the Gazalkent hydro-node. The canal is 83.3 km long, has a maximum depth of 3.8 meters, and features a design discharge capacity of 57 m³/s at the headworks. It provides water to approximately 30.3 thousand hectares of agricultural lands across the Bostanliq, Parkent, Yuqorichirchiq, and Ohangaron districts. Due to the rugged and irregular foothill terrain, the canal's path features numerous bends and specialized hydraulic structures, including 12 siphons (dükers), 8 aqueducts, 21 road bridges, and 7 hydroposts.



Historically, the operation of check gates along the PMC has relied on manual adjustments or simplified, decentralized feedback controllers. These traditional methods are increasingly inadequate due to the physical phenomenon of hydraulic time-lag latency, also referred to as transport delay or dead time. When a gate is adjusted upstream, the resulting discharge wave propagates downstream at a finite celerity. In long canals like the PMC, this propagation delay can range from several hours to more than a day ,. In addition, sudden turnout withdrawals, variable lateral inflows, evaporation, and seasonal consumption changes generate highly non-linear, unsteady flow transitions.

Under these conditions, standard feedback controllers often suffer from delayed feedback loops. Trying to adjust upstream gates based on real-time downstream water level deviations frequently leads to slow convergence, severe water level oscillations, and downstream supply disruptions ,. These control errors increase the risk of canal overtopping and lead to substantial water losses. To address these issues, current research is focusing on intelligent control frameworks that combine physical hydrodynamics with artificial intelligence.

This paper details a theoretical framework that couples Deep Reinforcement Learning (DRL) with Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks to optimize open-channel gate operations ,. By modeling the canal's unsteady

ISSN 3030-3907

hydrodynamics using the de Saint-Venant equations and formulating the control task as a Delayed-Observation Markov Decision Process (DOMDP), this approach aims to compensate for transport latency ,. Additionally, integrating a Physics-Informed LSTM (PI-LSTM) framework provides high-precision, short-term forecasting of discharge and water-level dynamics under meteorological, seasonal, and upstream boundary variations.

METHODS.

Hydrodynamic Formulation and the de Saint-Venant Equations

To establish a physically consistent baseline for open-channel hydraulics, the fluid dynamics of unsteady, one-dimensional open-channel flow are governed by the de Saint-Venant equations, representing the conservation of mass and momentum. The system of coupled partial differential equations is formulated as follows:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_f - S_0) - \beta q v_x = 0$$

where $A(x,t)$ is the wet cross-sectional area of the flow in m² ; $Q(x,t)$ is the volumetric water discharge in m³/s ; $y(x,t)$ is the water depth relative to the channel bed in m ; $q(x,t)$ is the lateral flow rate per unit length of the channel in m²/s, where positive values denote lateral inflow and negative values denote lateral abstraction ; x is the longitudinal distance along the channel in m ; t is the elapsed time in s ; β is the momentum correction coefficient ; g is the acceleration due to gravity in m/s² ; S_0 is the longitudinal slope of the canal bed ; S_f is the friction slope ; and v_x is the velocity component of the lateral flow parallel to the main channel axis in m/s.

The friction slope S_f is typically determined using the empirical Manning formulation :

$$S_f = \frac{n^2 Q|Q|}{A^2 R^{4/3}}$$

where n represents the Manning roughness coefficient in $s/m^{\frac{1}{3}}$ and R is the hydraulic radius in m, defined as the ratio of the wet cross-sectional area A to the wetted perimeter P_w $\left(R = \frac{A}{P_w}\right)$.

ISSN 3030-3907

Solving these coupled partial differential equations analytically is impractical under real-world boundary conditions. Therefore, numerical methods such as the staggered finite volume or implicit finite difference schemes are used to simulate transient water levels and discharge profiles along the channel.

Long Short-Term Memory and Physics-Informed Regularization

The predicting of sequential hydrological data, such as water levels and flow rates, is modeled using a Long Short-Term Memory (LSTM) network. Standard LSTM architectures are purely data-driven, mapping historical input sequences to future target states through a system of gated mathematical operations ,. An LSTM unit regulates information flow using forget, input, and output gates :

$$f_t = \sigma\left(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f\right)$$

$$i_t = \sigma\left(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i\right)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh\left(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c\right)$$

$$C_t = f_t \odot C_{t-1} + i_t \odot \tilde{C}_t$$

$$o_t = \sigma\left(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o\right)$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(C_t)$$

where x_t in R^d contains exogenous time-series variables (e.g., upstream discharge rates, precipitation, temperature, seasonal irrigation demand indices) at time step t ; $h_{\{t-1\}}$ in $R^h$is the hidden state vector from the previous time step ; f_t, i_t, o_t in R^h represent the activation vectors of the forget, input, and output gates, respectively ; C_t in $R^h$is the updated cell state vector ; $\mathbb{C}_t$in $\mathbb{R}^h$is the candidate cell state vector ; W_f, W_i, W_o, W_c and b_f, b_i, b_o, b_c denote the trained weight matrices and bias vectors, respectively ; σ represents the logistic sigmoid function; $\odot$ denotes the Hadamard product; and h_t in R^h is the updated hidden state.

To prevent unphysical predictions during rapid transient events or in data-scarce conditions, the 1D de Saint-Venant partial differential equations are integrated directly into the neural network's loss function as a spatial-temporal regularizer. The resulting Physics-Informed LSTM (PI-LSTM) framework optimizes a composite objective function:

ISSN 3030-3907

$$\mathcal{L}_{\text{total}} = w_d \mathcal{L}_{\text{data}} + w_p \mathcal{L}_{\text{physics}}$$

where w_d and w_p are scaling weights. The empirical data loss ($\mathcal{L}_{data}$) is defined as the mean squared error (MSE) between the predicted water levels or discharge values and the actual observed values at the canal's hydroposts:

$$\mathcal{L}_{\text{data}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left[(y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda_q \left(Q_i - \hat{Q}_i \right)^2 \right]$$

where y_i, Q_i are observed depths and discharges, $\hat{y}_i$, $\hat{Q}_i$ are the corresponding predictions, and λ_q is a dimensional scaling factor.

The physical loss $(\mathcal{L}_{physics})$ penalizes violations of the de Saint-Venant equations over M collocation points across space and time. Using automatic differentiation, spatial and temporal derivatives of the predicted wet cross-sectional area $\hat{A}$ and discharge$\hat{Q}$ are computed directly:

$$\mathcal{L}_{\text{physics}} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} (f(x_j; \theta) - y_j)^2$$

where γ_p is a balancing coefficient for the momentum residual. By training the LSTM with this physical regularizer, the network acts as a robust, computationally efficient surrogate for 1D hydrodynamic models, making it suitable for real-time applications.

Delayed-Observation Markov Decision Process and Deep Reinforcement Learning

To address hydraulic transport delays, the open-channel gate control problem is formulated as a Delayed-Observation Markov Decision Process (DOMDP). Under actuation latency τ_a and observation latency τ_s, the true underlying physical state is denoted as s_t. However, the agent's action at time t, a_t, only influences the system dynamics after delay τ_a :

The observation o_t received by the controller at time t is also delayed:

$$o_t = s_{t-\tau_s} \qquad s_{t+1} \sim P\left(s_{t+1} \mid s_t,\, a_{t-\tau_a}\right)$$

To restore the Markov property within the learning framework, the augmented state representation $\tilde{s}_t$ is defined by concatenating the latest delayed observation with the history of actions taken during the latency window:

$$\tilde{s}_t = \left(o_t,\, a_{t-1},\, a_{t-2},\, \ldots,\, a_{t-\tau_a-\tau_s}\right) \qquad \mathcal{P}(\tilde{s}_{t+1} \mid \tilde{s}_t, a_t)$$

This expanded state space ensures that the augmented transition probability is Markovian, allowing standard model-free DRL algorithms to converge.

ISSN 3030-3907

The delay-aware control framework regulates water levels upstream of critical offtakes along the PMC. Under the DOMDP formulation, model-free DRL agents are implemented using the Stable-Baselines3 library, specifically comparing Proximal Policy Optimization (PPO) and Soft Actor-Critic (SAC). The state vector

$$\tilde{s}_t = \left[y_{1,t}, y_{2,t}, \ldots, y_{N_g,t}, e_{1,t}, e_{2,t}, \ldots, e_{N_g,t}, \hat{Q}_{\text{in},t+\tau}, u_{1,t-1}, \ldots, u_{N_g,t}\right.$$

$\tilde{s}_t$ in $\mathcal{S}$ at time step t is defined to capture the dynamic state of the canal:

where $y_{i,t}$ is the current water level upstream of check gate i ; $e_{i,t} = (y_{i,t} - y_{i,target})$ represents the water level tracking error ; $\hat{Q}_{in,t+\tau}$ is the future upstream discharge forecasted by the PI-LSTM over the hydraulic response horizon τ ; and $u_{i,t-k}$ represents the history of gate opening heights during the propagation latency period.

The continuous action vector a_t in $\mathcal{A}$ defines the target adjustments to the check gate heights:

$$a_t = [\Delta u_{1,t}, \Delta u_{2,t}, \ldots, \Delta u_{n,t}]^T, \quad \Delta u_{i,t} \in [-\delta_m, \delta_m]$$

where δ_m is the maximum allowable gate displacement per control step to prevent structural surge waves and reduce actuator wear.

The reward function (R_t) penalizes water level deviations from targets and excessive actuator movements, while discouraging water losses:

$$R_t = -\sum_{i=1}^{N_g} (w_h |h_{i,t} - h_{i,ref}| + w_u |\Delta u_{i,t}|) - w_w Q_{\text{waste},t}$$

where w_y is the tracking penalty weight, w_u is the gate movement smoothing weight, w_w is the water conservation penalty weight, and $Q_{waste,t}$ represents the volume of water lost through downstream tailwater spills or drainage collection systems due to oversupply.

To optimize this objective, Proximal Policy Optimization (PPO) utilizes a

$$L^{\text{CLIP}}(\theta) = \hat{\mathbb{E}}_t \left[\min\left(r_t(\theta)\hat{A}_t,\ \text{clip}\left(r_t(\theta),\ 1-\epsilon,\ 1+\epsilon\right)\hat{A}_t\right)\right]$$

$r_t(\theta) = \frac{\pi_\theta(a_t|\tilde{s}_t)}{\pi_{\theta_{\text{old}}}(a_t|\tilde{s}_t)}$ clipped surrogate objective function to ensure training stability:

where is the probability ratio between the current and old policies; $\hat{A}_t$ is the Generalized Advantage Estimator (GAE) reflecting the relative quality of the action; and ϵ is a clipping hyperparameter (typically set to 0.1 or 0.2) that restricts

$$\delta_t^V = r_t + \gamma V(\tilde{s}_{t+1}) - V(\tilde{s}_t) \qquad \hat{A}_t^{\text{GAE}} = \sum_{l=0}^{\infty} (\gamma\lambda)^l \delta_{t+l}^V$$

ISSN 3030-3907

large, destabilizing policy updates. The advantage estimator is calculated using the temporal difference residuals:
where

Conversely, the Soft Actor-Critic (SAC) algorithm maximizes both the expected cumulative reward and policy entropy, encouraging exploration and robust performance in continuous action spaces , :

$$J(\pi) = \sum_{t=0}^{T} \mathbb{E}_{(\tilde{s}_t, a_t) \sim \rho_\pi} \left[r(\tilde{s}_t, a_t) \right]$$

$$Q(\tilde{s}_t, a_t) = R(\tilde{s}_t, a_t) + \gamma \mathbb{E}_{\tilde{s}_{t+1}} \left[V(\tilde{s}_{t+1}) \right]$$

where $\mathcal{H}$ represents the Shannon entropy of the stochastic policy and α is a temperature parameter that controls the trade-off between exploration and exploitation. The soft Q-value function is updated using the target value function: where the soft state value function $V(\tilde{s}_t)$ is defined as :

$$V(\tilde{s}_t) = \mathbb{E}_{a_t \sim \pi} \left[Q(\tilde{s}_t, a_t) - \alpha \log \pi(a_t \mid \tilde{s}_t) \right]$$

RESULTS.

Physical Basin Parameters and Canal Configuration

To establish a consistent numerical framework for simulating open-channel hydraulics, the physical characteristics of the PMC are summarized in Table 1, based on geographical and engineering data.

Table 1.

Parameter	**Standard Value / Dimension**	**Hydrological Classification / Operational Role**
Origin Node	Gazalkent Hydro-node	Left-bank diversion from the Chirchik River
Total Length (L)	83.3 km	Long-distance gravity-flow irrigation main
Maximum Depth (y_max)	3.8 m	Deep-water trapezoidal cross-section
Discharge Capacity (Q_max)	57.0 m³/s	Maximum allowable headworks diversion
Irrigated Footprint	30.3 thousand hectares	Sub-districts: Bostanliq, Parkent, Yuqorichirchiq, Ohangaron
Manning's Roughness (n)	0.022 - 0.035 s/m^(1/3)	Evaluated based on concrete lining and unlined segments

ISSN 3030-3907

In-line Structures	12 siphons, 8 aqueducts	Traverses irregular mountain and foothill topography
Flow Regulators	7 hydroposts	Continuous water level and discharge monitoring locations

Comparison of Forecasting Performance: LSTM vs. PI-LSTM

The predictive performance of the standalone data-driven LSTM model is compared against the proposed hybrid PI-LSTM framework across multiple forecasting horizons. Performance is quantified using the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE).

Table 2.

Horizon / Metric	**Pure LSTM Model**	**PI-LSTM Framework**	**Physical Consistency Improvement**
t+1 Day Forecast			
Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	0.941	0.985	High precision under steady states
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.12 m	0.04 m	Mass-balance limits unphysical drift
Mean Absolute Error (MAE)	0.09 m	0.03 m	Improved prediction at localized turnouts
t+3 Days Forecast			
Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	0.882	0.961	Preserves accuracy over propagation intervals
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.24 m	0.08 m	Bounds error growth during wave routing
Mean Absolute Error (MAE)	0.18 m	0.06 m	Reduced phase-lag in wave peak predictions
t+5 Days Forecast			
Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)	0.791	0.924	Standard LSTM suffers from error compounding
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.38 m	0.13 m	Constrained by de Saint-Venant derivatives
Mean Absolute Error (MAE)	0.29 m	0.09 m	Physically consistent during rapid transitions

ISSN 3030-3907

Theoretical analyses demonstrate that while a pure LSTM accurately predicts near-term water levels ($t+1$ day), its performance degrades as the prediction horizon extends ($t+5$ days) due to the compounding of statistical errors and a lack of physical constraints. In contrast, the PI-LSTM maintains high Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE = 0.924 at $t+5$ days) because the de Saint-Venant momentum and mass conservation constraints bound unphysical error growth, ensuring realistic wave-peak predictions.

Evaluation of Delay-Aware Control Performance

The control performance of various classical and intelligent control methodologies is evaluated under a representative downstream transport latency of $\tau_a \ge 4$ hours, which is typical for the PMC system.

Table 3.

Control Metric	PID Control	LQR Control	MPC (Linear)	PPO (SB3)	SAC (SB3)
Steady-State Error (cm)	8.0 - 15.0	5.0 - 9.0	3.0 - 5.0	< 1.0	< 1.5
Overshoot (%)	35.0 - 50.0	25.0 - 30.0	10.0 - 15.0	8.0 - 12.0	< 5.0
Settling Time (hours)	12.0 - 18.0	8.0 - 10.0	4.0 - 6.0	3.0 - 4.5	< 2.5
Unsteady Adaptation	Poor	Moderately Poor	Fair	Excellent	Exceptional
Latency Robustness	Fails (Oscillates)	Unstable	Dependent on Horizon	High (via DOMDP)	High (via DOMDP)
Computational Overhead	Microseconds	Milliseconds	High	Low	Low

Traditional feedback methods like PID and LQR struggle when actuation latency is significant. Because these controllers react purely to real-time errors without accounting for transport lag, they apply corrections that often conflict with delayed wave fronts, leading to severe downstream oscillations and instability. Linear Model Predictive Control (MPC) reduces overshoot and settling time by utilizing a predictive horizon. However, its effectiveness relies on simplified linear models (such as the Integrator Delay model), which fail to capture highly non-linear, unsteady hydraulic transitions along the canal.

Model-free DRL controllers (PPO and SAC) trained under the DOMDP formulation mitigate these limitations by learning to account for the delayed

ISSN 3030-3907

consequences of their actions. PPO achieves minimal steady-state error (< 1.0 cm) by using a clipped objective function to optimize gate settings under steady constraints. However, in highly dynamic environments with continuous action spaces, the Soft Actor-Critic (SAC) algorithm performs best. SAC's maximum entropy objective encourages active exploration of the state space, resulting in minimal overshoot (< 5.0%), rapid settling times (< 2.5 hours), and smooth gate adjustments that reduce mechanical wear on actuators.

DISCUSSION.

Physical Consistency and Generalization

The performance metrics of the forecasting models highlight the role of physical regularizers in stabilizing deep learning models during extreme events. During rapid transient events, such as sudden upstream gate adjustments or high-intensity storm runoffs, purely data-driven models often experience unphysical drift or produce oscillations. This instability occurs because standard neural networks lack an inherent understanding of physical boundaries, mass conservation, or momentum mechanics. By incorporating the 1D de Saint-Venant residuals as an auxiliary loss term $(\mathcal{L}_{pysics})$, the network is penalized for predictions that violate fluid mechanics. Consequently, even when trained on sparse historical datasets, the PI-LSTM maintains high generalization accuracy and physical consistency, making it a reliable predictive foundation for feedforward control architectures.

Operational Learning Stability

In physical cyber-physical systems, deploying machine learning controllers requires evaluating both raw tracking performance and the stability of the learned policy. This operational consistency is captured by Operational Learning Stability (OLStab), which measures whether a controller can produce predictable and safe actuator adjustments under high input variability and sensor noise. In long-distance open canals, a primary operational risk is high-frequency gate adjustments, which can damage mechanical equipment and induce dangerous, secondary surge waves. Integrating a PI-LSTM state estimator enhances OLStab by providing the DRL agent with reliable, filtered, and physically consistent representations of the state space, ensuring safer policy execution under delayed feedback.

Transboundary and Environmental Implications

The optimization of open-channel system control like the PMC has broader regional and transboundary water balance implications. The PMC operates within a water basin that directly affects transboundary water allocations between Uzbekistan and neighboring Kazakhstan. Unmanaged irrigation tailwater from the PMC and other regional canals is discharged back into the Syrdarya River or flows

ISSN 3030-3907

into transboundary aquifers, such as the Pretashkent Transboundary Aquifer (PTBA) system. Inefficient downstream water usage often results in localized shortages, leading to increased groundwater abstraction that can deplete shared transboundary aquifers. Implementing highly stable automated controls can significantly improve water delivery efficiency, reducing unnecessary tailwater runoff and conserving critical transboundary water resources.

Turning Demand Coordination and Soft Constraints

A key challenge in open-channel control is managing the trade-off between localized turnout efficiency and overall system safety. To ensure predictable flow rates for individual farmers, check gates must maintain highly stable water levels immediately upstream of offtakes. However, maintaining strict constraints across every turnout during rapid flow transitions can cause downstream water-level surges. To address this, the reward function can use soft constraints at the downstream end of the canal pool. Allowing moderate, controlled water-level fluctuations in sections without active turnouts gives the DRL agent additional buffer volume, enhancing operational safety without compromising water delivery reliability.

LITERATURE

1. Usmanov, S., et al. (2016). An Integrated Hydrological Model for Water Balance Estimation in the Chirchik River Basin, Northern Uzbekistan. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 5(5), 87-97.
2. Chanson, J. (2004). *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction*. Butterworth-Heinemann.
3. Litrico, X., & Fromion, V. (2009). *Modeling and Control of Hydrosystems*. Springer Science & Business Media.
4. Baddoo, P. J., et al. (2026). Reinforcement Learning under Time Delays in Cyber-Physical Systems: A Comprehensive Survey. *arXiv preprint arXiv:2602.00399*.
5. Schulman, J., et al. (2017). Proximal Policy Optimization Algorithms. *arXiv preprint arXiv:1707.06347*.
6. Raffin, A., et al. (2021). Stable-Baselines3: Reliable Reinforcement Learning Implementations. *Journal of Machine Learning Research*, 22(268), 1-8.
7. Nokoue, L., et al. (2024). Hydrological Flow Prediction Using Long Short-Term Memory (LSTM) Networks. *Preprints*, 202403.1218.
8. Zhang, Y., et al. (2024). Physics-Informed Deep Learning for River Hydraulics and Water Level Prediction. *Journal of Hydrologic Engineering*, 29(2), 04024001.

ISSN 3030-3907

DETERMINATION OF THE PARTICIPATION DEGREE OF PARTICIPANTS IN A LIBERALIZED ELECTRICITY MARKET FOR COST ALLOCATION PURPOSES

Kurbanova Munisakhon Sandjar qizi
Karshi State Technical University magistr

Abstract. This article examines the issues of allocating electricity transmission costs and power losses among participants in a liberalized electricity market. Methods for determining the share of network-related costs borne by generating and distribution companies based on the utilization level of power system elements and power flow distribution are proposed. The proposed approach enables economically justified tariff formation for transit services, ensures a fair assessment of power network utilization, and improves the accuracy of settlements within the electricity market.

Keywords: electricity market, transit services, power losses, electrical network, tariff formation, power flows, generating company, distribution company, network costs.

Аннотация. В данной статье исследуются вопросы распределения затрат на передачу электроэнергии и потерь мощности между участниками либерализованного рынка электроэнергии. Предложены методы определения доли затрат генерирующих и распределительных компаний на основе степени использования элементов электрической сети и потоков мощности. Предлагаемый подход позволяет экономически обоснованно формировать тарифы на транзитные услуги, обеспечивать справедливую оценку использования электрических сетей и повышать точность расчётов на рынке электроэнергии.

Ключевые слова: рынок электроэнергии, транзитные услуги, потери мощности, электрическая сеть, формирование тарифов, потоки мощности, генерирующая компания, распределительная компания, сетевые затраты.

Annotatsiya. Ushbu maqolada erkinlashtirilgan elektr energiyasi bozori sharoitida elektr energiyasini uzatish bilan bog‘liq xarajatlar va quvvat isroflarini bozor ishtirokchilari o‘rtasida taqsimlash masalalari tadqiq etilgan. Elektr tarmog‘i elementlaridan foydalanish darajasi hamda quvvat oqimlari asosida ishlab chiqaruvchi va taqsimlovchi korxonalarning tarmoq xarajatlaridagi ulushini aniqlash usullari taklif etilgan. Taklif etilgan yondashuv tranzit xizmatlari tariflarini iqtisodiy jihatdan asoslangan holda shakllantirish, elektr tarmog‘idan foydalanishni adolatli baholash va elektr energiyasi bozorida hisob-kitoblar aniqligini oshirish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: elektr energiyasi bozori, tranzit xizmatlari, quvvat isrofi, elektr tarmog‘i, tarif shakllantirish, quvvat oqimlari, ishlab chiqaruvchi kompaniya, taqsimlovchi kompaniya, tarmoq xarajatlari.

INTRODUCTION.

Main transmission power networks provide only electricity transmission services, ensuring the delivery of electrical energy from power generation companies (power plants and neighboring energy companies) to customers (electricity supply companies and large-scale consumers).

Retail electricity companies purchase electrical energy directly from generators under contractual agreements and deliver it to consumers through the transmission network. Distribution companies hold a monopoly on supplying electricity to end-users. However, open access to the transmission network is provided for electricity generators, distribution companies, and large-scale consumers.

In this model, competition can expand significantly, allowing all electricity producers to sell electrical energy to a large number of consumers. The presence of numerous buyers makes the market more competitive and dynamic. The benefits of competition in electricity generation are further enhanced as market and technological risks are transferred back to the generating companies. Power plant owners operate within a more structured regulatory framework and are better positioned to evaluate the benefits of new technologies, enabling them to make more informed decisions regarding future investments. At the same time, the increased level of risk borne by power plant owners may lead to higher transmission costs and necessitates the establishment of market and network agreements. This model also allows the government to influence the selection and adoption of new electricity generation technologies through direct subsidies and policy directives.

Contracts are concluded between generating companies, energy companies of neighboring countries, and consumers. At the same time, these agreements provide for the compensation of electricity transmission (transit) costs.

The total charge for electricity transmission should consist of three components.

$$\Delta S_T = S_{pos} + S_n + S_{p.}.$$

S_{pos}- A subscription fee for network access, intended to cover depreciation and operating expenses (excluding transmission losses). It also includes the recovery of MES costs associated with the installation of additional equipment required to provide services for network transmission capacity and dispatch control of transit flows.

ISSN 3030-3907

S_p - A subscription fee for MES profitability.

S_n - A payment for energy losses (ΔW) in the MET transmission company. $W_{st} - W_{potr}$ to cover the difference.

The total cost of electricity (EE) transit should be allocated among market participants.

At the same time, the task arises of determining the respective shares of generation and distribution companies in covering the total costs of the transmission company. This problem can be addressed using approaches based on network utilization coefficients. There are various methods for determining these coefficients, and agreements concluded between market participants are also taken into account when defining them. Below, different methods of cost allocation are considered.

Allocation of costs proportional to the consumed electrical energy.

If transmission costs are covered by electricity supply companies (ETK) and large consumers, each customer should be charged the following payment:

$$\Delta Z_{li} = K_i * \Delta S_T. \quad (1)$$

Here, K_i - is a coefficient determined as the ratio of the electricity consumed by the i- th consumer to the total electricity consumption of all consumers.

$$K_i = \frac{W_{eli}}{W_{e\Sigma pot}}. \quad (2)$$

W_{eli} - i- the electricity consumed by the consumer, $W_{e\Sigma pot}$ - the total electricity consumption of all consumers.

If transmission costs are covered by the electricity transmission systems (ETS) and power systems (ES) of neighboring countries, the seller's payment is:

$$\Delta Z_i = K_j * \Delta S_T. \quad (3)$$

K_j - a coefficient, where j- calculated as the ratio of the electricity sales volume of a given power plant to the total electricity sales volume of all power plants.

$$K_j = \frac{W_{stj}}{W_{st\Sigma}}. \quad (4)$$

W_{stj} - the electricity sales of the j -th power plant, $W_{st\Sigma}$ - the total amount of electricity generated/sold by all power plants.

From this transit payment, it may appear that MESs are not incentivized to use their degree of flexibility to reduce constraints. However, this is not the case. By utilizing its degrees of freedom (such as network topology, transformer ratios,

ISSN 3030-3907

reactive power sources, etc.) to reduce network losses and increase the capacity of transmission lines, the transit company can expand its ability to attract additional customers and thereby generate additional profit.

Determination based on the share of power losses in the electrical network.

According to the above approach (1), it is assumed that all elements of the network participate equally in the process of delivering electrical energy from generators to distribution companies. However, such a model does not take into account important factors such as the actual loading of network elements and their contribution to the transmission of energy associated with a specific generating company (GC) or a specific distribution company (DC).

To address these shortcomings, a more advanced method for determining network utilization coefficients is proposed. This method is based on an approximate assessment of the participation level of each electrical network element in transmitting electricity from a specific generator to a specific consumer. The degree of participation is determined through the calculation of the steady-state operating mode of the electrical network. In this case, calculations may be performed either based on time-averaged parameters or, when sufficiently accurate data is available, in a manner close to real-time conditions.

Within this approach, it is also possible to determine utilization coefficients for allocating network costs among generating and distribution companies. In this case, the participation level of each network element in power transmission is based on steady-state calculation results. Furthermore, several methods can be applied to solve this problem, including approaches based on the principle of superposition and those based on the calculation of allocation coefficients in linearized systems.

When applying the principle of superposition, it is necessary to determine what portion of the total losses in each network element is attributable to a specific GC or DC. The degree of participation of an element is defined as the ratio of this portion to the total losses. Allocation coefficients can then be calculated as derivatives of power flows in network elements with respect to nodal powers. Based on this, the overall network utilization coefficient for each GC or DC is formed as the sum of the coefficients determined for individual network elements.

The proposed second approach is based on an approximate assessment of the participation of electrical network elements in power transmission among market participants. For this purpose, the steady-state operating condition of the electrical network is first calculated, and the currents, power losses in each element, and total losses (ΔP) are determined. Then, using the superposition method, the contribution of each element to power transmission is evaluated.

ISSN 3030-3907

According to this method, generation sources are converted into nodal power injections represented as currents, while loads are represented as shunt elements. Then, the network operating mode is calculated for each individual node with an active current source, and the corresponding share of losses in each network element is determined. Based on this, the utilization coefficient of each network element is defined.

In this case, the participation coefficient of the k– th consumer in the i–j network element, K_{ijk} is defined as follows:

$$K_{ijk} = \frac{I_{ijk}^{2}}{I_{ij1}^{2} + I_{ij2}^{2} + \ldots + I_{ijn}^{2}} \quad (4)$$

I_{ijl} — (l = 1,..., ng) $_{i-j}$ branch current determined when the current at the lll-th generating node is applied (where ngn_gng is the number of generating nodes).

The obtained coefficient can be used to determine what portion of the power losses in the element is attributable to the power of the k-th node:

$$\Delta P_{ijk} = K_{ijk} * \Delta P_{ij} \quad (5)$$

where: ΔP_{ij} — is the total active power loss in the i–j network element obtained from the initial steady-state operating condition calculation.

The network utilization coefficient for the k-th generating company is determined as follows:

$$K_{ik} = \frac{\sum \Delta P_{ijk}}{\Delta P_c} \quad (6)$$

For a distribution company (DC), the determination of the network utilization coefficient is carried out in a similar manner; however, in this case, the nodal powers of generating sources are converted into shunt elements, while the powers of nodal loads are converted into current injections.

Allocation according to load currents

To determine tariffs for transit services, the transmission operator must conduct a technical analysis to assess the degree of impact of transit on its power system. First, the possible power flow paths across the entire network are analyzed. Furthermore, experience shows that it is necessary to examine the characteristics of the network elements that provide transit as well as the required services.

The available transmission capacity for providing transit services varies across different power systems and, furthermore, it may differ at various points within a single system. The unused transmission capacity of a system can only be utilized for a specific transfer and not for others (even if the transmitted power is the same). This is due to the physical configuration of the system, including the power supply structure and the dominant power flows within the transmission network.

ISSN 3030-3907

These issues can be addressed by adopting an approach based on the contribution of individual generating companies (GCs) and distribution companies (DCs) to power flows in the electrical network. Various methods can be proposed to determine the degree of participation of market participants (GCs, DCs, and large consumers). Agreements between market participants should also be taken into account.

It is known that the active power losses for the i-j network are determined by the formula:

$$\Delta P_{ij} = I_{ij}^2 R_{ij}, \quad (7)$$

where, R_{ij}, I_{ij} - i-j the active resistance and current of the branch.

For steady-state conditions, in order to allocate power losses among distribution companies (DCs), the nodal powers of generating sources are represented as shunt elements, while the powers of nodal loads are represented as current injections. The total power losses in a network element, determined using steady-state calculation methods, can be expressed as follows:

$$\Delta P_{ij} = (I_{ij1} + I_{ij2} + \ldots + I_{ijn})^2 * R_{ij} \quad (8)$$

where I_{ij} n- (n=1,..., nl) i-j the branch current, corresponding to a circuit in which only the current at the nnn-th node is applied.

(3.8) by transforming the equation, we obtain:

$$\Delta P_{ij} = I_{ij1} R_{ij} (I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3} \ldots + I_{ijn}) + I_{ij2} R_{ij} (I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3} + \ldots + I_{ijn})$$
$$+ \ldots + I_{ijn} R_{ij} (I_{ij1} + I_{ij2} + I_{ij3} \ldots + I_{ijn}) = \Delta P_{ij1} + \Delta P_{ij2} + \ldots + \Delta P_{ijn}, \quad (9)$$

Where ΔP_{ij}n –(n=1,...,nl) n-i-j - th is the share of the consumer in the active power losses of the network element.

(3.9) the contribution of the kkk-th consumer to the total power losses arising from can be determined as follows:

$$\Delta P_{ijn} = I_{ijn} R_{ij} \sum_{n=1}^{k} I_{ijn}. \quad (10)$$

The allocation of power losses among main power plants is determined in a similar manner; however, in this case, the nodal powers of generating sources are treated as current injections, while the powers of nodal loads are represented as shunt impedances.

CONCLUSION. The proposed methodologies can be applied in determining tariffs for electricity transmission as well as in forming tariffs for electricity supply to individual distribution companies (DCs).

Thus, this approach enables a more accurate and fair assessment of electrical network utilization and plays an important role in the scientifically grounded formation of tariffs for transit services.

ISSN 3030-3907

The proposed methodology can also be used in setting tariffs for electricity transit and in forming tariffs for electricity supply to individual consumers.

REFERENCES

1. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
2. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
3. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
4. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
5. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
6. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.
7. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
8. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
9. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.
10. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
11. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.

ISSN 3030-3907

12. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
13. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
14. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
15. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.
16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
17. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.
18. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
19. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.
20. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.
21. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
22. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL

ISSN 3030-3907

TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
23. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
24. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
25. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.
26. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
27. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., & Kurbonov, N. & Mukimov, B.(2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171).
28. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
29. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.
30. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.
31. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.
32. Muminov, A., Yusupov, D., Kutbidinov, O., Mukhammadjonov, M., Norboev, A., Zaynieva, O., ... & Radjabov, S. (2026, May). Development and analysis of a health index-based multi-criteria assessment model for power transformer

ISSN 3030-3907

condition monitoring. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3447, No. 1, p. 040011). AIP Publishing LLC.

ISSN 3030-3907

UO‘K: 547.313+547.565+66.094.3

KOH–DMSO SUPERASOSLI MUHITIDA MENTOL, TIMOL VA α-NAFTOLNING ASETILEN BILAN VINILLANISH JARAYONI QONUNIYATLARI

Soliyev Maxammadjon Ismatullayevich
Namangan davlat texnika universiteti Kimyo kafedrasi professori
E-mail: muhammadbey@mail.ru
Nurmanov Suvankul Erxanovich
O‘zMU Organik va neft-gaz kimyo kafedrasi professori
E-mail: nurmonov_se@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu ishda mentol, timol va α-naftolning atsetilen bilan KOH–DMSO superasosli tizimi ishtirokida vinillanish jarayoni tadqiq qilindi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra timol vinil efiri uchun eng yuqori unum 79,5 %, mentol vinil efiri uchun 79,0 % hamda α-naftol vinil efiri uchun 76,3 % ni tashkil qildi. Barcha hollarda optimal sharoitlar 130 °C harorat, 14–16 atm atsetilen bosimi, 50 mol% KOH va 3 soat reaksiya vaqtida kuzatildi. Reaksiya jarayonining matematik modeli qurilib, kubik regressiya tenglamalari yordamida mahsulot unumining o‘zgarish qonuniyatlari tavsiflandi. Olingan natijalar KOH–DMSO tizimining atsetilenni faollashtirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: atsetilen, vinillanish, vinil efirlar, timol, mentol, α-naftol, KOH–DMSO tizimi, superasosli muhit, matematik modellashtirish, GC-MS.

Аннотация. В данной работе исследован процесс винилирования ментола, тимола и α-нафтола ацетиленом в присутствии суперосновной системы KOH–DMSO. Установлено, что максимальный выход винилового эфира тимола составил 79,5 %, винилового эфира ментола — 79,0 %, а винилового эфира α-нафтола — 76,3 %. Оптимальные условия для всех исследованных соединений соответствовали температуре 130 °C, давлению ацетилена 14–16 атм, содержанию KOH 50 мол. % и времени реакции 3 ч. Построена математическая модель процесса, а закономерности изменения выхода продуктов описаны с использованием кубических регрессионных уравнений. Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности системы KOH–DMSO при активации ацетилена и синтезе виниловых эфиров.

Ключевые слова. ацетилен, винилирование, виниловые эфиры, тимол, ментол, α-нафтол, система KOH–DMSO, суперосновная среда, математическое моделирование, GC–MS.

Abstract. This study investigates the vinylation of menthol, thymol, and α-naphthol with acetylene in the presence of a KOH–DMSO superbasic system. The maximum yields obtained were 79.5% for thymol vinyl ether, 79.0% for menthol vinyl ether, and 76.3% for α-naphthol vinyl ether. For all investigated substrates,

the optimal conditions were found to be 130 °C, an acetylene pressure of 14–16 atm, 50 mol% KOH, and a reaction time of 3 h. A mathematical model of the process was developed, and the dependence of product yield on reaction parameters was described using cubic regression equations. The results demonstrate the high efficiency of the KOH–DMSO superbasic system for acetylene activation and the synthesis of vinyl ethers.

Keywords: acetylene, vinylation, vinyl ethers, thymol, menthol, α-naphthol, KOH–DMSO system, superbasic medium, mathematical modeling, GC–MS.

KIRISH.

Hozirgi kunda atsetilen kimyosi organik sintezning jadal rivojlanayotgan sohalaridan biri hisoblanadi. Atsetilen ishtirokida amalga oshadigan reaksiyalar orasida gidroksil saqlovchi organik birikmalarning vinillanishi muhim o‘rin tutadi. Bu reaksiyalar natijasida hosil bo‘ladigan vinil efirlar turli polimer materiallar, sirt-faol moddalar, biologik faol birikmalar va dorivor moddalar sintezida keng qo‘llaniladi [1–4].

Vinil efirlarni sintez qilishning klassik usullari Reppe reaksiyasiga asoslangan bo‘lib, jarayon odatda yuqori harorat (180–220 °C) va yuqori bosim (20–50 atm) sharoitida amalga oshiriladi [5, 6]. Bunday sharoitlar maxsus yuqori bosimli qurilmalardan foydalanishni talab qiladi hamda energiya sarfining ortishiga sabab bo‘ladi.

So‘nggi yillarda atsetilenning nukleofil reagentlar bilan reaksiyalarini yumshoq sharoitlarda amalga oshirish imkonini beruvchi superasosli katalitik tizimlarga katta qiziqish bildirilmoqda [7–10]. Bunday tizimlar ichida KOH–DMSO muhiti alohida ahamiyatga ega bo‘lib, atsetilen molekulasining faollashuvini ta’minlaydi va reaksiyaning nisbatan past harorat hamda bosimlarda borishiga imkon yaratadi [11–14].

Tabiiy monoterpenlar va fenol hosilalari hisoblangan mentol hamda timol farmatsevtika, kosmetika va oziq-ovqat sanoatida keng qo‘llaniladigan biologik faol moddalardir [10-12]. α-Naftol esa bo‘yoqlar, analitik reagentlar va organik sintezda muhim xomashyo hisoblanadi [13, 14]. Ularning vinil hosilalari olish usullarini takomillashtirish yangi funksional materiallar va biologik faol birikmalar sintezi uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. shuni ko‘rsatadiki, fenollar va spirtlarning atsetilen bilan vinillanishi bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan bo‘lsa-da, mentol, timol va α-naftolning KOH–DMSO superasosli muhitidagi vinillanish jarayoniga harorat, bosim, reaksiya vaqti hamda katalizator konsentratsiyasining kompleks ta’siri yetarlicha o‘rganilmagan.

Shu munosabat bilan mazkur ishning maqsadi mentol, timol va α-naftolning atsetilen bilan vinillanish jarayoniga asosiy texnologik omillarning ta’sirini

ISSN 3030-3907

o‘rganish, maqbul reaksiya sharoitlarini aniqlash hamda jarayonni matematik modellashtirishdan iborat.

Ushbu tadqiqotning ilmiy yangiligi KOH–DMSO superasosli tizimida mentol, timol va α-naftol vinil efirlarini yuqori unum bilan olish imkonini beruvchi optimal parametrlarning aniqlanishi hamda jarayonning matematik modeli ishlab chiqilganligi bilan belgilanadi.

MATERIALLAR VA TADQIQOT USULLARI.

Tadqiqot ob’ektlari sifatida tabiiy terpenoidlar hisoblangan mentol va timol hamda aromatik gidroksil birikma α-naftol tanlab olindi. Ushbu birikmalarning vinil hosilalari farmatsevtika, qishloq xo‘jaligi, organik sintez va polimer materiallar ishlab chiqarishda istiqbolli oraliq mahsulotlar hisoblanadi [1–4].

Vinillash agenti sifatida texnik atsetilen gazi ishlatildi. Reaksiya muhiti sifatida dimetilsulfoksid (DMSO), katalizator sifatida kaliy gidroksid (KOH) qo‘llanildi.

Reaksiya o‘tkazish sharoitlari. Tajribalar hajmi 1,6 l bo‘lgan yuqori bosimli laboratoriya reaktorida amalga oshirildi. Reaktor mexanik aralashtirgich, elektr isitgich, termopara va bosimni nazorat qilish tizimi bilan jihozlangan.

Barcha tajribalarda quyidagi boshlang‘ich miqdorlardan foydalanildi: Substrat (timol, mentol yoki α-naftol) - 0,20 mol, DMSO - 250 ml, KOH - 5,6 g, reaktor hajmi - 1,6 l. Dastlab reaktorga substrat, DMSO va KOH yuklandi. Aralashma 80 °C haroratda 1 soat davomida qizdirilib, bir jinsli reaksion muhit hosil qilindi. Keyin harorat belgilangan qiymatgacha oshirildi va reaktorga atsetilen yuborildi.

Tadqiqotlar quyidagi parametrlar oralig‘ida olib borildi: Harorat, °C - 100; 110; 120; 130; 140, bosim, atm - 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16, KOH, mol% - 15; 25; 50; 75; 100, vaqt, soat - 1; 2; 3; 4; 6; 8.

Reaksiya tugagach reaksion aralashma sovutildi, mahsulot organik erituvchi yordamida ajratildi va keyinchalik tozalash uchun rektifikatsiya qilindi.

Analitik tadqiqot usullari. Hosil bo‘lgan mahsulotlar tarkibi va tuzilishi zamonaviy fizik-kimyoviy usullar yordamida o‘rganildi. Reaksiya mahsulotlarining tarkibi gaz xromatografiyasi-mass spektrometriyasi yordamida tahlil qilindi. Mahsulot unumi gaz-xromatografik piklar maydoni nisbati asosida hisoblandi. Sintez qilingan moddalarning tozalik darajasi va tarkibi yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) tahlili orqali baholandi. Sintez qilingan vinil efirlarning tuzilishi ^{1}H va ^{13}C YaMR spektrlari yordamida tasdiqlandi. Vinil guruhga tegishli xarakterli signallarning mavjudligi mahsulot tuzilishini tasdiqladi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

Vinillash jarayonining matematik modellashtirilishi. Kimyoviy jarayonlarni matematik modellashtirish texnologik parametrlarning mahsulot unumiga ta’sirini

ISSN 3030-3907

baholash, maqbul sharoitlarni aniqlash va sanoat miqyosidagi hisob-kitoblarni soddalashtirish imkonini beradi. Shu maqsadda mentol, timol va α-naftolning atsetilen bilan vinillanish jarayonida olingan eksperimental natijalar matematik qayta ishlandi.

Hisoblashlar MathCad dasturiy muhitida amalga oshirildi. Regressiya tahlili uchun eng kichik kvadratlar usuli qo‘llanildi. Tajriba natijalarini tahlil qilish natijasida mahsulot unumining haroratga bog‘liqligi kubik polinom orqali yaxshi tavsiflanishi aniqlandi.

Mahsulot unumining haroratga bog‘liqligi quyidagi kubik regressiya tenglamasi bilan ifodalandi:

$$Y=aT^3+bT^2+cT+d$$

bu yerda: Y – mahsulot unumi (%); T – harorat; a,b,c,d – regressiya koeffitsiyentlari.

Mentol vinil efiri uchun hisoblangan koeffitsiyentlar quyidagicha bo‘ldi:

$$a=-71.601;\ b=218.454;\ c=-198.156;\ d=97.512.$$

Hisoblangan va eksperimental natijalarning taqqoslanishi 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval.

Mentol vinil efiri uchun eksperimental va hisoblangan natijalar

Harorat, °C	Eksperimental unum, %	Hisoblangan unum, %
100	46,4	46,2
110	49,0	49,8
120	61,0	59,8
130	79,0	78,7
140	77,6	77,4

3-Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, hisoblangan qiymatlar eksperimental natijalardan 0,2–1,2 % dan ortiq farq qilmaydi. Bu esa qurilgan matematik modelning adekvatligini va jarayonni ishonchli tavsiflashini ko‘rsatadi.

Matematik modellashtirish natijalariga ko‘ra mahsulot unumi 130 °C atrofida maksimum qiymatga erishadi, keyin esa biroz kamayadi. Bu holat eksperimental kuzatishlar bilan ham to‘liq mos keladi.

Olingan natijalardan kelib chiqib, taklif etilgan model kelgusida jarayonni masshtablashtirish va sanoat sharoitida prognoz hisoblashlarini amalga oshirish uchun qo‘llanilishi mumkin.

KOH–DMSO tizimining katalitik roli. Tajriba natijalari KOH–DMSO tizimi vinillash jarayonining asosiy faollashtiruvchi muhiti ekanligini ko‘rsatdi. Uning vazifasi gidroksil guruhni deprotonlash, fenolyat yoki alkogolyat ioni hosil qilish, atsetilen molekulasini faollashtirish va nukleofil birikish reaksiyasini

ISSN 3030-3907

tezlashtirishdan iborat. KOH konsentratsiyasining 50 mol% gacha ortishi mahsulot unumining sezilarli ko‘payishiga olib kelishi ham ushbu mexanizmni tasdiqlaydi.

Olingan ma’lumotlardan quyidagi qonuniyatlar aniqlandi: harorat ortishi bilan reaksiya tezligi oshadi, ammo 130 °C dan yuqori haroratlarda qo‘shimcha jarayonlar ulushi ortadi; atsetilen bosimining ortishi mahsulot unumini oshiradi, ammo 14 atm dan yuqori bosimlarda jarayon to‘yinish holatiga yaqinlashadi; KOH uchun optimal qiymat 50 mol% ni tashkil etadi; reaksiyaning asosiy qismi 3 soat ichida tugallanadi.

Bu qonuniyatlar timol, mentol va α-naftol uchun bir xil tendensiyaga ega bo‘lib, KOH–DMSO muhitida atsetilenning vinillovchi reagent sifatida yuqori samaradorligini ko‘rsatadi.

Haroratning vinillash jarayoniga ta’siri. Harorat atsetilenning vinillash jarayoniga ta’sir qiluvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Shu sababli reaksiya 100–140 °C harorat oralig‘ida o‘rganildi (4-jadval).

4-jadval.

Haroratning timol, mentol va α-naftol vinil efirlari unumiga ta’siri (R = 14 atm, KOH = 50 mol%, t = 3 soat)

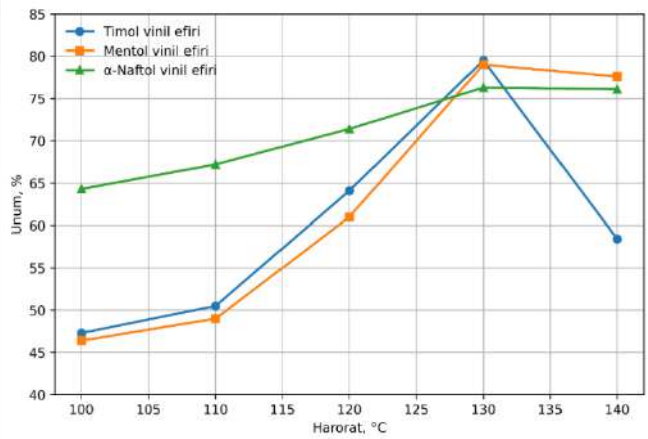
Harorat, °C	Timol vinil efiri, %	Mentol vinil efiri, %	α-Naftol vinil efiri, %
100	47,3	46,4	64,3
110	50,5	49,0	67,2
120	64,1	61,0	71,4
130	79,5	79,0	76,3
140	58,4	77,6	76,1

Tajriba natijalari ko‘rsatishicha, haroratning 100 °C dan 130 °C gacha oshirilishi barcha hollarda mahsulot unumining ortishiga olib keladi.

Bu holat harorat oshishi bilan atsetilen reaksion qobiliyatining oshishi, gidroksil guruh deprotonlanishining tezlashishi, atsetilenning KOH–DMSO tizimida faollashishi kuchayishi bilan izohlanadi [7, 11].

Timol uchun maksimal unum 79,5 %, mentol uchun 79,0 %, α-naftol uchun 76,3 % bo‘lib, ularning barchasi 130 °C da kuzatildi (1-rasm).

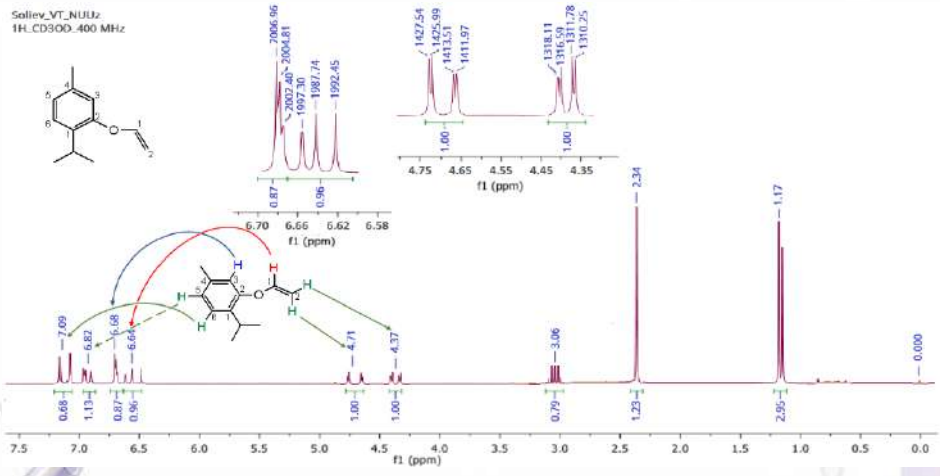
ISSN 3030-3907



1-rasm. Haroratning timol, mentol va α-naftol vinil efirlari unumiga ta'siri. (P = 14 atm, KOH = 50 mol%, t = 3 soat).

1-rasmdan ko'rinib turibdiki, haroratning 100 °C dan 130 °C gacha oshirilishi barcha substratlar uchun mahsulot unumining muntazam ortishiga olib keladi. Timol vinil efiri uchun maksimal unum 79,5 %, mentol vinil efiri uchun 79,0 % va α-naftol vinil efiri uchun 76,3 % bo'lib, ularning barchasi 130 °C haroratda kuzatildi. Haroratning 140 °C gacha oshirilishi timol vinil efiri unumining pasayishiga olib keldi, bu esa yuqori haroratlarda mahsulotning qisman polimerlanishi yoki qo'shimcha reaksiyalar hisobiga izohlanishi mumkin. Olingan natijalarga ko'ra 130 °C vinillanish jarayoni uchun optimal harorat hisoblanadi.

Timol vinil efirining YaMR ^{1}H spektri δ, m.u: vinil guruhi (-SN=SN_2) tarkibidagi bitta protonning (O-SN=) kvartet signali 6,64 m.u. sohada, ikkita protonning (=SN_2) dublet-dublet signallari esa 4.37 va 4.71 m.u. sohalarda kuzatildi. Aromatik xalqada joylashgan 6-holatdagi vodorod atomining signali 6.68 m.u. sohada, 3-holatdagi vodorod atomi 7.09 m.u. so-hada, 4-holatdagi vodorod atomi esa 6.82 m.u. sohalarda kuzatildi (2-rasm).



2-rasm. Timol vinil efirining ^{1}N YaMR-spektri.

140 °C da timol vinil efiri unumining keskin pasayishi mahsulotning qisman polimerlanishi yoki qo'shimcha reaksiyalar hisobiga izohlanishi mumkin. Shunday qilib, barcha substratlar uchun optimal harorat 130 °C deb qabul qilindi.

ISSN 3030-3907

Atsetilen bosimining ta’siri. Atsetilen gaz-faza reagenti bo‘lganligi sababli uning parsial bosimi reaksiya tezligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi (5-jadval).

5-jadval.

Bosimning α-naftol vinil efiri hosil bo‘lishiga ta’siri (T = 130 °C, KOH = 50 mol%, t = 3 soat)

Reaksiya bosimi, atm	Reaksiya unumi, %
4	46,7
6	62,9
8	67,4
10	73,8
12	75,7
14	76,3
16	75,9

5-Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, bosimning 4 atm dan 14 atm gacha oshirilishi mahsulot unumining deyarli ikki barobar ortishiga olib keladi. Bu qonuniyat atsetilenning reaksion muhitdagi konsentratsiyasi ortishi bilan tushuntiriladi. 14 atm dan keyin unim deyarli o‘zgarmaydi:

$$76.3 \approx 75.9\%$$

Bu esa reaksiyaning bosim bo‘yicha to‘yinish sohasiga chiqqanligini ko‘rsatadi. Shu sababli texnologik nuqtai nazardan 14 atm maqbul bosim deb qabul qilindi.

Katalizator miqdorining ta’siri. KOH–DMSO tizimida gidroksil ioni yuqori nukleofillikka ega bo‘lib, atsetilen molekulasini faollashtiradi va gidroksil saqlovchi
substratlarning fenolyat shakllarini hosil qiladi (6-jadval).

6-jadval.

KOH konsentratsiyasining α-naftol vinil efiri unumiga ta’siri (T = 130 °C, R = 14 atm, t = 3 soat)

KOH, mol%	Unum, %
15	48,1
25	69,9
50	76,8
75	73,8
100	72,7

6-jadval natijalaridan ko‘rinib turibdiki, katalizator miqdorining 15 mol% dan 50 mol% gacha ortishi mahsulot unumining sezilarli ko‘payishiga sabab bo‘ladi. Bu diapazonda gidroksid ionlari konsentratsiyasining ortishi atsetilen faollashuvini tezlashtiradi. Biroq KOH miqdori 75–100 mol% gacha oshirilganda

ISSN 3030-3907

mahsulot unumi pasaya boshlaydi. Bu holat qo‘shimcha reaksiyalarning kuchayishi, atsetilenning qisman oligomerlanishi va mahsulotning ishqoriy muhitda parchalanishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu sababli optimal katalizator miqdori 50 mol% KOH deb qabul qilindi.

Reaksiya vaqtining ta’siri. Vaqtning ta’siri α-naftol vinil efiri misolida keltirildi (4-jadval).

4-jadval.

Reaksiya vaqtining α-naftol vinil efiri unumiga ta’siri (T = 130 °C, R = 14 atm, KOH = 50 mol%)

Vaqt, soat	Unum, %
1	<5
2	40,3
3	76,3
4	76,7
6	77,2
8	76,8

Tajriba natijalari reaksiyaning dastlabki ikki soatida nisbatan sekin borishini ko‘rsatdi. 2 soatdan keyin mahsulot unumi 40,3 % ga yetadi. 3 soatda esa reaksiyaning asosiy qismi yakunlanib, mahsulot unumi 76,3 % ni tashkil etadi. Keyingi vaqtlarda unum deyarli o‘zgarmaydi:

76.3–77.2%

Bu reaksiya muvozanat holatiga yaqinlashganligini ko‘rsatadi. Texnologik nuqtai nazardan reaksiyani 6–8 soat davom ettirish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Shuning uchun 3 soat maqbul reaksiya vaqti sifatida tanlandi.

Turli substratlarning reaksion faolligini solishtirish. Olingan natijalardan ko‘rinib turibdiki, timol va mentol yuqori unum bilan vinillanadi.

Timol ≈ Mentol > α-naftol

Bu holat gidroksil guruhning elektron muhiti, molekulaning fazoviy tuzilishi hamda hosil bo‘ladigan alkogolyat va fenolyat ionlarining barqarorligi bilan bog‘liq. Timol vinil efiri uchun aniqlangan 79,5 % unum tadqiq qilingan birikmalar orasida eng yuqori qiymat hisoblanadi.

Tajriba natijalari KOH–DMSO superasosli muhiti atsetilenning gidroksil saqlovchi terpenoidlar va aromatik birikmalar bilan vinillanishi uchun yuqori samarali katalitik tizim ekanligini ko‘rsatdi.

Barcha substratlar uchun optimal texnologik parametrlar quyidagicha aniqlandi: harorat – 130 °C; bosim – 14 atm; KOH miqdori – 50 mol%; reaksiya vaqti – 3 soat. Bu sharoitlarda timol, mentol va α-naftol vinil efirlari mos ravishda 79,5; 79,0 va 76,3 % unum bilan olindi.

ISSN 3030-3907

XULOSA. Ushbu tadqiqotda KOH–DMSO superasosli muhitida mentol, timol va α-naftolning atsetilen bilan vinillanish jarayoni eksperimental va nazariy jihatdan o‘rganildi.

Tajriba natijalari asosida reaksiya harorati, atsetilen bosimi, reaksiya vaqti va KOH konsentratsiyasining mahsulot unumiga ta’siri baholandi. Barcha tadqiq qilingan substratlar uchun reaksiyaning maqbul parametrlari aniqlandi.

Tadqiqot natijalari quyidagi asosiy xulosalarni chiqarish imkonini berdi:

1. KOH–DMSO superasosli tizimi atsetilenning gidroksil saqlovchi birikmalar bilan vinillanish reaksiyasi uchun yuqori samarali katalitik muhit ekanligi aniqlandi.

2. Timol, mentol va α-naftolning vinillanishi uchun eng maqbul sharoitlar: harorat – 130 °C; atsetilen bosimi – 14–16 atm; KOH konsentratsiyasi – 50 mol%; reaksiya vaqti – 3 soat ekanligi aniqlandi.

3. Ushbu sharoitlarda timol vinil efiri 79,5 %; mentol vinil efiri 79,0 %; α-naftol vinil efiri 76,3 % unum bilan sintez qilindi.

4. Reaksiya mahsulotlari GC-MS, HPLC hamda YaMR spektroskopiyasi usullari yordamida identifikatsiya qilindi va ularning tuzilishi tasdiqlandi.

5. Jarayonning matematik modeli ishlab chiqilib, mahsulot unumining haroratga bog‘liqligi kubik regressiya tenglamasi orqali tavsiflandi. Hisoblangan natijalar eksperimental ma’lumotlar bilan yaxshi mos kelishi modelning adekvatligini ko‘rsatdi.

6. Taklif etilgan texnologiya klassik Reppe jarayoniga nisbatan nisbatan yumshoq sharoitlarda vinil efirlar sintez qilish imkonini berishi bilan ahamiyatlidir.

Olingan natijalar atsetilen asosida biologik faol vinil efirlar sintez qilish texnologiyasini takomillashtirishga xizmat qiladi. Sintez qilingan timol, mentol va α-naftol vinil efirlari farmatsevtik substansiyalar sintezida, biologik faol moddalar yaratishda, funksional monomerlar olishda, polimer materiallar sintezida, qishloq xo‘jaligi preparatlari ishlab chiqarishda istiqbolli oraliq mahsulotlar sifatida qo‘llanilishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Трофимов Б.А. Некоторые аспекты химии ацетилена // Журнал органической химии. – 1995. – Т. 31, № 9. – С. 1368–1387.

2. Трофимов Б.А., Паршина Л.Н., Опарина Л.А. Новая технология получения простых виниловых эфиров на базе ацетилена // Наука производству. – 2003. – № 6. – С. 2–3.

3. Trofimov B.A., Schmidt E.Yu., Zorina N.V., Mikhaleva A.I. The synthesis of O,S,N-vinylated derivatives // Russian Chemical Reviews. – 2018. – Vol. 87. – P. 691–717.

ISSN 3030-3907

4. Трофимов Б.А., Шмидт Е.Ю. Реакции ацетиленов в суперосновных сре-дах – итоги последних лет // Успехи химии. – 2014. – Т. 83, № 7. – С. 600–619.
5. Витковская Н.М., Ларионова Е.Ю., Скитневская А.Д. и др. Квантово-химическая модель реакции нуклеофильного присоединения метанола и метантиола к ацетилену в системе KOH–DMSO // Известия АН. Серия химическая. – 2013. – № 1. – С. 27–34.
6. Minkin V.I., Simkin B.Ya., Minyaev R.M. Quantum Chemistry of Organic Compounds and Reaction Mechanisms. – Berlin: Springer, 1990. – 424 p. (русча нашр асосида).
7. Guy P.P. Kamatou, Vermaak I., Viljoen A.M., Lawrence B.M. Menthol: A simple monoterpene with remarkable biological properties // Phytochemistry. – 2013. – Vol. 96. – P. 15–25.
8. Mahboubi M., Kazempour N. Chemical composition and antimicrobial activity of peppermint essential oil // Songklanakarin Journal of Science and Technology. – 2014. – Vol. 36. – P. 83–87.
9. Sharma E., Anand G., Kapoor R. Terpenoids in plant defence against herbivorous insects // Annals of Botany. – 2017. – Vol. 119. – P. 791–801.
10. Zhang X., Sarkar S., Larock R.C. Synthesis of naphthalenes and 2-naphthols by electrophilic cyclization of alkynes // Journal of Organic Chemistry. – 2006. – Vol. 71. – P. 236–245.
11. Трофимов Б.А., Опарина Л.А., Колыванов Н.А. и др. Винилирование фенолов и нафтолов ацетиленом // Журнал органической химии. – 2015. – Т. 51, № 2. – С. 200–206.
12. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
13. Soliev M.I., Okhundadaev A.K. Theoretical calculations of electronic structures of menthol and thymol molecules // Voprosy nauki i obrazovaniya. – 2018. – № 8(20). – С. 45–49.

ISSN 3030-3907

EVALUATION OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THIRD-GENERATION ADSORPTION HEAT PUMPS

Buxorov Habibullo Jahongir o‘g‘li
Karshi State Technical University student

Abstract. Advances in adsorption heat pump (AHP) technology significantly improve their energy efficiency and the utilization of waste heat, making them a promising solution for sustainable cooling applications. However, challenges such as large system size and unforeseen costs limit their widespread adoption. A novel third-generation adsorption technology, incorporating two adsorption modules with direct evaporation/condensation and liquid-phase refrigerant distribution, addresses these issues by eliminating the need for expensive and bulky vacuum valves and enabling the implementation of compact vacuum systems, thereby unlocking their full market potential.

Keywords: adsorption heat pumps, coefficient of performance (COP), heat exchanger, medium-temperature heat exchanger, low-temperature heat exchanger, logarithmic mean temperature difference (LMTD), heat transfer fluid.

Аннотация. Достижения в технологии адсорбционных тепловых насосов (АТН) значительно повышают их энергетическую эффективность и эффективность использования сбросного тепла, что делает их перспективным решением для устойчивого охлаждения. Однако такие проблемы, как большие габариты и непредвиденные затраты, ограничивают их широкомасштабное применение. Новая адсорбционная технология третьего поколения, включающая два адсорбционных модуля с прямым испарением/конденсацией и распределением хладагента в жидкой фазе, решает эти проблемы за счёт устранения необходимости в дорогостоящих и громоздких вакуумных клапанах и внедрения компактных вакуумных систем, что позволяет полностью раскрыть их рыночный потенциал.

Ключевые слова: адсорбционные тепловые насосы, коэффициент производительности (COP), теплообменник, среднетемпературный теплообменник, низкотемпературный теплообменник, средняя логарифмическая разность температур, теплоноситель.

Annotatsiya. Adsorbsion issiqlik nasoslari (AIN) texnologiyasidagi yutuqlar ularning energetik samaradorligini va issiqlik tashlamalaridan foydalanishni sezilarli darajada yaxshilaydi, bu ularni barqaror sovutish uchun istiqbolli yechimga aylantiradi. Biroq, katta o‘lchamlar va rejalashtirilmagan xarajatlar kabi muammolar ularning keng ko‘lamli qo‘llanilishini cheklaydi. To‘g‘ridan-to‘g‘ri bug‘lanish/kondensatsiya va suyuq fazali sovutish agenti taqsimotiga ega ikkita adsorbsion modullarni o‘z ichiga olgan yangi uchinchi avlod adsorbsion texnologiyasi qimmat va katta vakuum klapanlariga ehtiyojni bartaraf etish va

ISSN 3030-3907

ixcham vakuum tizimlarini ishga tushirish orqali ushbu muammolarni hal qiladi, bu ularning to‘liq bozor salohiyatini ochib beradi.

Kalit so‘zlar. adsorbsion issiqlik nasoslari, samaradorlik koeffitsienti, issiqlik almashingich, o‘rta haroratli issiqlik almashingich, past haroratli issiqlik almashingich, o‘rtacha logarifmik haroratlar farqi, issiqlik tashuvchi suyuqlik

1. INTRODUCTION.

Absorption cooling systems represent a thermodynamically driven next-generation alternative to vapor-compression refrigeration systems, contributing significantly to decarbonization efforts and the mitigation of global warming [1]. Adsorption cooling systems possess unique advantages, such as easy regeneration, minimal corrosion, flexible operation, and the use of environmentally friendly working fluids [2]. They are capable of providing cooling by utilizing low-grade heat sources in the temperature range of 50–90°C or even higher, through the recovery of solar energy or waste heat. Furthermore, water is used as a safe refrigerant, which also reduces corrosion-related issues. Unlike absorption chillers, the use of adsorption cooling systems eliminates crystallization problems. Nevertheless, their wider application is limited by lower efficiency compared to absorption chillers (i.e., coefficient of performance (COP) < 0.6). In addition, the cost and compactness of adsorption chillers demonstrate their advantages over conventional refrigeration systems [3].

In recent decades, two main generations of adsorption heat pumps (AHPs) have been widely applied. First-generation adsorption heat pumps, produced by Mayekawa (Japan), Pahwa (India), Sortech and Viessmann (Germany), as well as large-scale laboratory units, have been extensively studied both numerically and experimentally. These systems, including double- and multi-layer configurations, single- and multi-stage schemes, and heat or mass recovery cycles, have been widely investigated [4].

In recent years, researchers have intensified efforts to develop innovative adsorption heat pumps by focusing on improved reactor/heat exchanger designs, optimized thermodynamic cycles, and next-generation sorbent materials. The novelty of this study lies in the development of a third-generation adsorption heat transformation system consisting of two adsorption modules with direct evaporation/condensation, liquid-phase refrigerant distribution, and minimal thermal mass for evaporation/condensation processes. In this configuration, large and expensive vacuum valves are eliminated, enabling the creation of a highly compact and energy-efficient vacuum system. Furthermore, each adsorber utilizes 37.5 kg of composite adsorbent (mesoporous silica gel impregnated with calcium chloride), and its adsorption isotherms and kinetics are characterized. The

ISSN 3030-3907

performance, scalability, and cost reduction of the developed AHP are demonstrated and compared with conventional adsorption heat pumps.

2. METHODS.

In this study, the mathematical model of the adsorption heat pump was developed based on strict application of the laws of mass and energy conservation. The system consists of a switching process with a half-cycle time of 20 s and adsorption/desorption processes with a duration of 800 s.

The dynamic analysis of the model was performed through simulation using a time step of 1 second, and the ODE15s solver, which is efficient for solving stiff differential equations, was employed. In the current numerical model, the relative error is:

$$| s_{n+1} - s_n | = 10^{-6}$$

accepted.

Considering the structural features and boundary conditions of the existing adsorption heat pump (such as cycle time and inlet temperatures of hot water, cooling water, and chilled water), the dynamic characteristics of system components—including temperature distribution, degree of sorption, cooling capacity, heating capacity, and COP—were investigated and compared with experimental results. The structure and design of the existing adsorption heat pump are shown in Figure 1.

This dynamic model is based on mass and energy balances, as well as sorption isotherms and kinetics.

The adsorber modules include the following:

• sorption equilibrium (isotherms) to evaluate the adsorption of the refrigerant as a function of temperature and pressure.

• a kinetic model to evaluate the transfer of vapor between the evaporator/condenser and the adsorber, and vice versa;

• heat and mass balance equations for the adsorber module.

The main and auxiliary condenser/evaporator heat exchangers were also modeled based on heat and mass balance equations.

3. PRINCIPLES OF OPERATION OF ADSORPTION COOLING SYSTEMS.

The evolution of adsorption cooling systems progresses through three generations (Table 1). The first generation consists of four separate chambers (i.e., adsorber/desorber, desorber/adsorber, evaporator, and condenser), which ensures flexible operation due to the use of vacuum valves in separated condenser/evaporator heat exchangers. However, it relies on large and expensive vacuum valves and systems for vapor-phase refrigerant flow [6].

ISSN 3030-3907

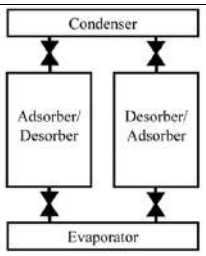
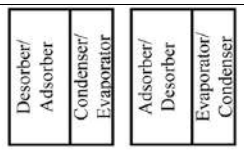
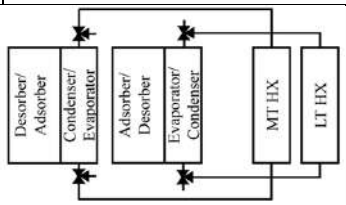
Second-generation designs were simplified to two combined chambers (adsorber/desorber and evaporator/condenser), eliminating large vacuum valves; however, they suffered from higher heat losses and lower performance [5].

Third-generation systems developed by Sorption Technologies GmbH [7] introduce liquid-phase refrigerant distribution, enabling direct evaporation/condensation within the adsorption module and eliminating the need for complex vacuum systems [8].

The description of the third-generation adsorption cooling system is shown in Figure 1. In the desorption/condensation mode, the liquid refrigerant (water) passes through a mixing condenser located within the desorber module. The mixing condenser is concentrically arranged inside the module, where the liquid refrigerant accumulates as a wetting film over porous structures/surface-enhancing contours, enabling direct condensation of the desorbed refrigerant and thereby heating the refrigerant. The liquid refrigerant is then supplied to a medium-temperature external heat exchanger as a heat transfer medium, from where it is pumped into the condenser tank.

1- table

Stages of development of adsorption cooling systems

Stages	1st generation (from the 1990s to the present)	2nd generation (from the 2005s to the present)	3rd generation (from the 2020s to the present)
Configuration			
Advantages	• Flexible operation (due to their separated condenser/evaporator design)	• Compact design with a single condenser/evaporator • Direct vapor transport without valves • Coated adsorbent with improved adsorption performance	• Liquid-phase refrigerant distribution • Direct phase change (i.e., evaporation/condensation) of the liquid refrigerant within the sorption reactors • Reduced heat losses due to minimal thermal mass of the condenser/evaporator

ISSN 3030-3907

		• Simplified vacuum system	(made of plastic) • Controlled pumping of the liquid-phase refrigerant at low pressures
Disadvantages	• Vapor-phase refrigerant distribution• Katta vakuum klapanlari • Complex and expensive vacuum system	• Heat losses and fluctuations in condenser/evaporator heat exchangers • Mixing of cycles and system separation • High requirements for external heat exchangers	
Manufacturer	Mayekawa (Japan), Pahwa (India), Sortech (Germany)	Sortech/Fahrenheit (Germany)	Sorption Technologies (Germany)

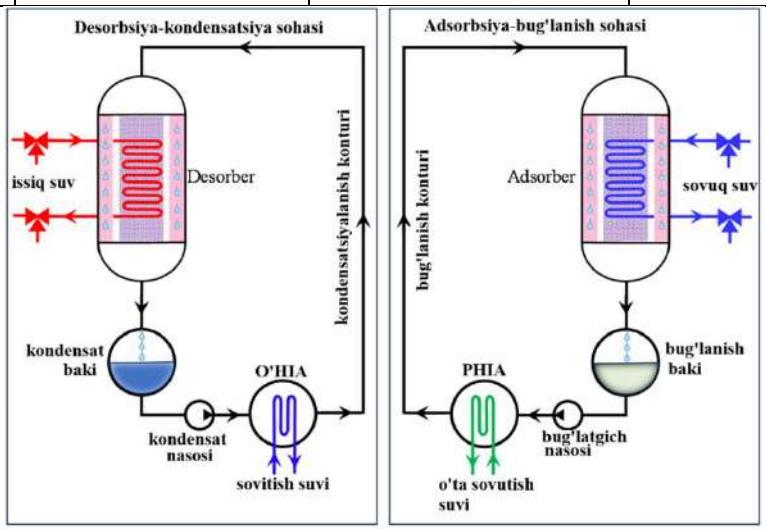


Figure 1. Schematic of the third-generation adsorption heat pump (AHP)

4. DEVELOPMENT OF THE CALCULATION SCHEME.

Conversely, in the adsorption/evaporation mode, the liquid refrigerant passes through the mixing evaporator located inside the adsorber module. Similarly, direct evaporation of the adsorbed refrigerant occurs, resulting in cooling of the refrigerant. The liquid refrigerant is also pumped into the evaporator reservoir.

ISSN 3030-3907

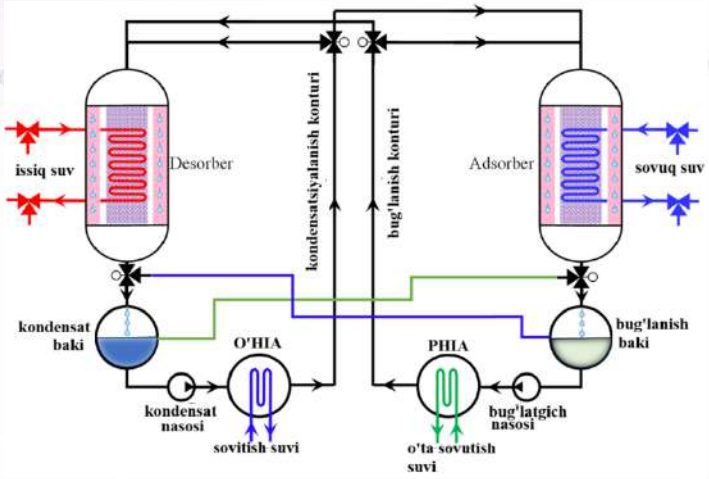


Figure 2. Integrated schematic of the adsorption heat pump (AHP)

For continuous or semi-continuous operation, two sorption modules with a mixing evaporator/condenser, a medium-temperature heat exchanger (MTHX), a low-temperature heat exchanger (LTHX), two hydraulic pumps, and four three-way valves are used, as shown in Figure 2. The desorption/condensation and adsorption/evaporation modes are alternately implemented within the sorption modules, while the external MTHX and LTHX maintain their respective functions.

5. NUMERICAL MODELING.

The presented mathematical model includes governing equations for the adsorption isotherms/kinetics of CaCl2@SG_25, mass and energy balances of the main system components, and performance indicators of the adsorption heat pump (AHP).

5.1. Adsorption Equilibrium and Kinetics

Using the Dubinin–Astakhov (D–A) equation, CaCl2@SG_25 the adsorption equilibrium of water vapor is described as follows [9]:

$$W = W_0 \exp\left[-\left(\frac{RT_s}{E}\ln\left(\frac{P}{P_{sat}}\right)\right)^n\right] \quad (1)$$

where: W_0 – maximum equilibrium adsorption capacity; n – heterogeneity constant; T_s – sorbent temperature; E – adsorption characteristic energy. Also: P_{sat} – saturation pressure at the corresponding temperature; P – vapor pressure.

$$RT_s \ln\left(\frac{P}{P_{sat}}\right)$$

the expression represents the adsorption potential and is denoted by **A**.

CaCl2@SG_25/ the sorption kinetics of the vapor pair (w) is determined using the linear driving force (LDF) model as follows [10]:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = k(W - w), \quad (2)$$

where the kinetic coefficient (k) is expressed as follows [11]:

ISSN 3030-3907

$$K = M\exp\left(-\frac{N}{RT_s}\right). \quad (3)$$

where M and N are correction parameters, as listed in table 2.

2-table

CaCl2@SG_25 required parameters for adsorption isotherms and kinetics.

Parameter	Description	Unit of measurement
W_0	maximum equilibrium uptake capacity	0.8 (kg/kg)
E	characteristic energy	174.4 (kJ/kg)
n	heterogeneity constant	1.08 (-)
M	flexibility parameter	2.73E–03 (m^2/s)
N	flexibility parameter	15.993558 (kJ/kg*K)
H_{st}	isosteric heat of adsorption	155.1 ln(W)+2381.5 (kJ/kg)

5.2. Energy balance

The energy balance of the adsorber reactor is modeled as follows [12]:

$$(Mc_p)_{ads}\frac{dT_{ads}}{dt} = M_s H_{st}\frac{dw_{ads}}{dt} + \dot{m}_{cw}c_{p,cw}(MT_{in} - MT_{out}). \quad (4)$$

The energy balance of the desorber reactor is modeled as follows:

$$(Mc_p)_{des}\frac{dT_{des}}{dt} = M_s H_{st}\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{hw}c_{p,hw}(HT_{in} - HT_{out}). \quad (5)$$

The energy balance for the direct condensation process is given as follows:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{cond}}{dt} = -[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{cond}c_{p,w}(T_{cond,in} - T_{cond,out}). \quad (6)$$

The energy balance for the direct evaporation process is given as follows:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{evap}}{dt} = -[M_s h_{fg}]\frac{dw_{ads}}{dt} + \dot{m}_{evap}c_{p,w}(T_{evap,in} - T_{evap,out}). \quad (7)$$

The energy balance of the plate heat exchanger (condenser) used for external heat rejection is given as follows:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{p-cond}}{dt} = -\phi[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{cw}c_{p,cw}(MT_{in} - MT_{out}). \quad (8)$$

The energy balance of the plate heat exchanger (evaporator) used for external chilled water supply is given as follows:

$$(Mc_p)_{cond}\frac{dT_{p-evap}}{dt} = -\phi[M_s h_{fg}]\frac{dw_{des}}{dt} + \dot{m}_{chw}c_{p,chw}(LT_{in} - LT_{out}). \quad (9)$$

where the symbol ϕ is assumed to be equal to zero during the preheating/precooling switching period when the refrigerant hydraulic pump is turned off.

The outlet temperatures of the system components are evaluated using the **Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)** method as follows [13]:

$$T_{HX,out} = T_{HX} + (T_{HX,in} - T_{HX})\exp(-NTU). \quad (10)$$

ISSN 3030-3907

The **Number of Transfer Units (NTU)** is determined from the overall heat conductance as follows where $\mathbf{UA_{hx}}$ is the overall heat transfer conductance of the heat exchanger, and **HTF** denotes the heat transfer fluid flow rate ($\dot{m}c_p$) and is determined as the ratio between the overall heat transfer conductance and the heat transfer fluid (HTF) flow rate.

It should be noted that the **UA** values are estimated from this experimental study as follows:

$$UA_{HX} = \frac{Q}{LMTD}, \quad (11)$$

$$LMTD = \frac{T_{HX,out} - T_{HX,in}}{\ln\left(\frac{T_{HX} - T_{HX,in}}{T_{HX} - T_{HX,out}}\right)}. \quad (12)$$

where the heat exchanger temperature corresponds to the equilibrium temperature of the adsorber/desorber or the saturation temperature of the condenser/evaporator.

The number of transfer units (NTU) is defined as the ratio of the overall heat transfer conductance (UA_{HX}) to the heat capacity flow rate of the heat transfer fluid $(\dot{m}c_p)$is equal to this ratio.

5.3. Mass balance

The adsorbed or desorbed mass flow rate is determined as follows:

$$\dot{m}_{ads/des} = M_s \frac{dw_{ads/des}}{dt}. \quad (13)$$

The adsorption/desorption mass flow rate, overall heat transfer conductance, and heat capacity values of the main components are presented in Table 3.

The specific cooling power (SCP) and specific heating power (SHP) are evaluated as follows:

$$SCU = \frac{Q_{PH}}{M_s}, \quad (14)$$

$$SIU = \frac{Q_{O'H}}{M_s}. \quad (15)$$

3-jadval

Constants and parameters of the new AHP.

Parametr	Qiymat	Birlik
Ms	37.5	kg
$(Mcp)_{ads/des}$	120	kJ/kg
$(M\ cp)_{cond}$	3.0	kJ/kg
$(M\ cp)_{evap}$	3.0	kJ/kg
$UA_{ads/des}$	2.0	kW/K
UA_{cond}	3.0	kW/K
UA_{evap}	3.0	kW/K
$UA_{p\text{-}cond}$	3.5	kW/K

ISSN 3030-3907

$UA_{p\text{- evap}}$	3.5	kW/K
$\dot{m}_{ads/des}$	0.63/0.95	kg/s
$\dot{m}_{cond}$	0.29	kg/s
$\dot{m}_{evap}$	0.28	kg/s
$\dot{m}_{MT}$	0.63	kg/s
$\dot{m}_{LT}$	0.34	kg/s

The coefficient of performance (COP) for cooling and heating is evaluated as follows:

$$COP_c = \frac{Q_{LT}}{Q_{HT}} \quad (16)$$

$$COP_h = \frac{Q_{MT}}{Q_{HT}}. \quad (17)$$

6. RESULTS AND DISCUSSION.

This section presents the operating principle and dynamic performance of the adsorption heat pump.

6.1. Proof of Concept (Validation of the Concept)

System dimensions:

$$2{,}1 \times 0{,}99 \times 2{,}46 \text{ м}^3$$

The volumes of the adsorber module and the condenser/evaporator tanks are 0.23 m³ and 0.025 m³, respectively.

The adsorber module consists of two sections:

1. direct evaporation;
2. direct condensation.

Water droplets flow through porous structures into the refrigerant tanks. Three-way and two-way valves coordinate the adsorption and desorption cycles. Temperature, pressure, and flow sensors are used to monitor system operation.

To improve condensation and evaporation efficiency, the adsorber modules are installed in an inclined position and insulated with 10 mm polyurethane. This ensures proper drainage of water droplets into the tanks.

The flow rates of the refrigerant and HTF are controlled by three-phase hydraulic pumps. The HTF supply is provided by three water storage units that ensure high (HT), medium (MT), and low (LT) temperature levels for the system.

It should be noted that the overall heat transfer conductance (UA) for the falling-film condenser and evaporator is approximately 3 kW/K.

$$UA \approx 3 \text{ kW/K}$$

This value is significantly higher than those reported in other studies. Such high UA values are mainly explained by the direct evaporation–condensation process and the continuous movement of liquid droplets over the porous structure.

ISSN 3030-3907

Temperature lift—the thermal difference between the heat source and the cooling medium—is a key performance indicator of adsorption heat pumps. The experimental results (Figure 8) show a strong inverse relationship between cooling capacity and temperature lift. As the temperature lift increases from 27 K to 32 K, the cooling capacity decreases from approximately 8 kW to 2 kW.

Similarly, the COP decreases from approximately 0.5 at a temperature lift of 25–26 K to about 0.35 at around 30 K. This indicates that higher temperature lifts require greater heat input, resulting in reduced system efficiency.

Overall, the analysis confirms that the adsorption heat pump achieves its highest efficiency at low temperature lift conditions.

It can be concluded that by simply modifying the system architecture and eliminating the need for large vacuum valves, capital costs per machine can be reduced by more than €10,000. The actual cost difference also depends on production scale, component suppliers, and other factors. Nevertheless, this analysis provides a solid basis for further development and optimization investment in the proposed technology.

CONCLUSION.

This study developed a new generation adsorption technology, referred to as "third-generation adsorption technology," and validated it through both experimental setup and numerical modeling. The operating conditions were systematically investigated, and a comparative analysis was performed to evaluate the feasibility of this advanced technology. The proposed adsorption heat pump demonstrated stable thermal performance comparable to conventional systems, owing to its ability to ensure high heat output, efficient phase-change management, and improved internal heat transfer.

The results of dynamic modeling showed close agreement with experimental data, with deviations of less than 10% across all key performance indicators, confirming the reliability of the model. Under operating conditions of 90/20/20 °C, the system achieved a cooling capacity of 3.84 kW and a heating capacity of 11.07 kW, with COP values of 0.43 and 1.16, respectively. An increase in inlet hot water temperature and cooling water inlet temperature significantly improves system performance, while higher cooling water temperatures negatively affect efficiency. Longer half-cycle durations ensure more complete adsorption/desorption processes, thereby enhancing thermal efficiency and operational stability.

Compared with conventional adsorption transformation systems, the third-generation design significantly reduces capital costs by replacing large vacuum valves with compact pumps and smaller valves. Overall, the innovative system architecture demonstrates high thermodynamic efficiency and economic feasibility, making it a promising solution for utilizing low-grade heat sources.

ISSN 3030-3907

Future research may focus on long-term energy efficiency assessment as well as the integration of the system into hybrid energy systems, including solar thermal technologies, district heating and cooling networks, and waste heat recovery systems. In particular, systems adapted to intermittent or variable heat sources are of special importance. Such improvements will further enhance energy utilization efficiency and expand decarbonization opportunities in industrial and urban infrastructure.

REFERENCES

1. F. Shabir, M. Sultan, T. Miyazaki, B.B. Saha, A. Askalany, I. Ali, Y. Zhou, R. Ahmad, R.R. Shamshiri, Recent updates on the adsorption capacities of adsorbent-adsorbate pairs for heat transformation applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 119 (2020) 109630, https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109630.

2. M.G. Gado, S. Ookawara, S. Nada, I.I. El-Sharkawy, Hybrid sorption-vapor compression cooling systems : a comprehensive overview, Renew. Sustain. Energy Rev. 143 (2021) 110912, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110912.

3. F. He, K. Nagano, J. Togawa, Experimental study and development of a low-cost 1 kW adsorption chiller using composite adsorbent based on natural mesoporous material, Energy 209 (2020) 118365, https://doi.org/10.1016/j. energy.2020.118365.

4. P.R. Chauhan, S.C. Kaushik, S.K. Tyagi, Current status and technological advancements in adsorption refrigeration systems: a review, Renew. Sustain. Energy Rev. 154 (2022) 111808, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111808.

5. T. Nú˜ nez, W. Mittelbach, H.-M. Henning, Development of an adsorption chiller and heat pump for domestic heating and air-conditioning applications, Appl. Therm. Eng. 27 (2007) 2205–2212, https://doi.org/10.1016/j. applthermaleng.2005.07.024.

6. S. Vasta, A. Freni, A. Sapienza, F. Costa, G. Restuccia, Development and lab-test of a mobile adsorption air-conditioner, Int. J. Refrig. 35 (2012) 701–708, https://doi. org/10.1016/j.ijrefrig.2011.03.013.

7. W. Mittelbach, Adsorption Refrigeration Machine or Heat Pump with a Liquid-phase Refrigerant Distribution Function, and Method for Operating the Adsorption Refrigeration Machine, 2022 20220390154.

8. M.G. Gado, V. Palomba, V. Brancato, A. Frazzica, An innovative intermediate-based sorption thermal energy storage (STES) concept for power-to-heating/ cooling purposes in buildings: from experimental dynamics to operational examination, Energy Convers. Manag. 327 (2025) 119584, https://doi.org/ 10.1016/j.enconman.2025.119584.

9. C. Wang, H. Yang, B. Nie, B. Zou, Z. Li, J. Han, L. Tong, L. Wang, Y. Ding, Discharging behavior of a shell-and-tube based thermochemical reactor for thermal

ISSN 3030-3907

energy storage: modeling and experimental validation, Int. J. Heat Mass Transf. 183 (2022) 122160, https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122160.
10. M. Gado, E. Elgendy, K. Elsayed, M. Fatouh, Performance enhancement of an adsorption chiller by optimum cycle time allocation at different operating conditions, Adv. Mech. Eng. 11 (2019) 1–12, https://doi.org/10.1177/1687814019884780.
11. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., Kurbonov, N., ... & Mukimov, B. (2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171). IOP Publishing.
12. Usmanov, E., Rajabboeva, A., Kurbonov, N., & Kurbanova, K. (2024, June). Operational logic scheme of the sketch base for an educational simulator in the fundamentals of power supply. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050029). AIP Publishing LLC.
13. Turdiboyev, A., Aytbaev, N., Mamutov, M., Tursunov, A., Toshev, T., & Kurbonov, N. (2023, March). Study on application of electrohydraulic effect for disinfection and increase of water nutrient content for plants. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1142, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
14. Saidkhodjaev, A., Kasimova, G., Akbarkhodjaev, S., & Kurbonov, N. (2025, November). Structure and principles for selecting a rational urban power supply schemes. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3331, No. 1). AIP Publishing.
15. Abdullayevich, Q. N. Muzaffar o‘g‘li, NT (2024). NORMALIZATION MODES OF HYDROGENERATORS. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 368-371.
16. Abdullayevich, Q. N. (2023). REACTIVE POWER COMPENSATION. IMRAS, 6(6), 506-508.
17. Abdullayevich, Q. N. Almardon o‘g‘li, NA, & Bahodir o‘g, QOA (2024). INFLUENCE OF ELECTRICAL ENERGY QUALITY ON ELECTRICAL ENERGY WASTE. Научный Фокус, 1(9), 786-789.
18. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭНЕРГИЯНИ ТЕЖАШ ВА ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИ СОҲАСИДА ИННОВАЦИОН ФАОЛИЯТНИ БОШҚАРИШДА ЛОЙИҲА ЁНДАШУВИДАН ФОЙДАЛАНИШ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(25), 363-367.
19. Abdullayevich, Q. N., & Qizi, Q. M. S. (2023). Ways to Reduce Losses in Power Transformers. Texas Journal of Engineering and Technology, 20, 36-37.

ISSN 3030-3907

20. Mahmutxonov, S. J., Qurbonov, N., & Babayev, O. (2022). ELEKTR TARMOQLARIDA SIFAT KO ‘RSATKICHLARI VA ISROFLAR. Innovatsion texnologiyalar, 47, 14-15.
21. Abdullayevich, K. N. (2024). ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСРОФИГА ТАЪСИРИ. PEDAGOG, 7(9), 183-188.
22. Abdullayevich, K. N., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Using consumer-regulators to equalization of electrical energy system load schedule. Journal of Multidisciplinary Bulletin, 7(4), 25-29.
23. Abdullayevich, K. N. (2024). Analysis and evaluation of the effectiveness of energy saving in industrial enterprises. SCIENTIFIC APPROACH TO THE MODERN EDUCATION SYSTEM, 3(28), 75-81.
24. Курбонов, Н. А., Халикова, Х. А., & Неъматов, Б. А. О. (2024). ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Eurasian Journal of Academic Research, 4(6-1), 37-41.
25. Abdullayevich, Q. N., & Elmurodovich, B. O. (2023). ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СХЕМАМ. Новости образования: исследование в XXI веке, 1(7), 1006-1010.
26. Abdullayevich, Q. N. (2023). REDUCING ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS DUE TO MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF LINE SECTIONS. MODELS AND METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF INNOVATIVE RESEARCH, 3(28), 275-279.
27. Abdullayevich, K. N. (2024). ОЦЕНКА ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ. PROSPECTS AND MAIN TRENDS IN MODERN SCIENCE, 2(13), 531-536.
28. Abdullayevich, K. N. (2024). ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(26), 203-208.
29. Abdullayevich, K. N., & Abduzairovna, N. M. (2024). ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА РАҚАМЛИ ПОДСТАНЦИЯЛАРДАН ФОЙДАЛАНИШ МАСАЛАЛАРИ. Eurasian Journal of Social Sciences, Philosophy and Culture, 4(9), 71-75.
30. Abdullayevich, K. N. (2024). НОРМАТИВНЫЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 10, 6 и 0, 4 кВ. THE THEORY OF RECENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF PEDAGOGY, 2(21), 55-60.

ISSN 3030-3907

31. Abdullayevich, Q. N., & Ikrom o‘g, T. A. A. (2023). Efficiency OF Use OF Frequency Converter with Smooth Control OF Asynchronous Motor Speed. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 11(5), 448-449.
32. Abdullayevich, K. N., O‘G‘Li, M. F. A., O‘G‘Li, E. J. O., & O‘G‘Li, P. A. B. (2024). MARKOV ZANJIRI USULI VA O ‘LCHANGAN SHAMOL TEZLIKLARIDAN FOYDALANGAN HOLDA YANGI SHAMOL TEZLIKLARINI BASHORAT QILISH. Eurasian Journal of Academic Research, 4(11-2), 7-12.
33. Abdullayevich, K. N., Akrom o‘g, N. M. B., & Olimjon o‘g‘li, E. J. (2024). Functions of facts devices with innovation technology in the electrical energy system. Journal of Engineering Sciences, 7(5), 12-16.
34. Abdullayevich, K. N., & Abdullayevna, X. X. (2024). EFFECTIVENESS OF USING A FREQUENCY CONVERTER WITH SMOOTH SPEED CONTROL OF AN INDUCTION MOTOR. Новости образования: исследование в XXI веке, 3(27), 151-154.
35. Abdullayevich, K. N. Shuhrat o‘g‘li, OS, & Olimjon o‘g‘li, EJ (2024). STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS. AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN, 2(5), 112-119.
36. Abdullayevich K. N., Tulqin o‘g‘li X. M., Mansur o‘g‘li C. D. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЙ ЛИНИЙ //IMRAS. – 2025. – Т. 8. – №. 3. – С. 35-43.
37. Shouket, H. A., Ameen, I., Tursunov, O., Kholikova, K., Pirimov, O., & Kurbonov, N. & Mukimov, B.(2020, December). Study on industrial applications of papain: A succinct review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012171).
38. Abdullayevich K. N. et al. ВОПРОСЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АФГАНИСТАНА, УЗБЕКИСТАНА И ТАДЖИКИСТАНА С УЧЕТОМ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА //Eurasian Journal of Academic Research. – 2024. – Т. 4. – №. 6-2. – С. 19-23.
39. Abdullayevich Q. N. CONDUCTING LABORATORY CLASSES ON ELECTRICAL CIRCUITS. Finland International Scientific Journal of Education //Social Science & Humanities. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 1095-1098.
40. Abdullayevich K. N., Mansur o‘g‘li C. D. МЕТОДЫ И МЕРЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА //INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION. – 2025.

41. Abdullayevich K. N., Shuhrat o‘g‘li O. S., Olimjon o‘g‘li E. J. STRUCTURE OF LOW VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS //AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN. – 2024. – Т. 2. – №. 5. – С. 112-119.
42. Muminov, A., Yusupov, D., Kutbidinov, O., Mukhammadjonov, M., Norboev, A., Zaynieva, O., ... & Radjabov, S. (2026, May). Development and analysis of a health index-based multi-criteria assessment model for power transformer condition monitoring. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3447, No. 1, p. 040011). AIP Publishing LLC.

DETERMINATION OF VITAMIN CONTENT IN EXTRACTS OF SELECTED MEDICINAL PLANTS GROWN UNDER THE CONDITIONS OF UZBEKISTAN

Ibrokhimjon Rakhmonovich Askarov
Andijan State University, 129 University Street, Andijan, 170100, Uzbekistan
Umid Mukhtaraliyevich Turdialiev
Department of Chemical Technology, Andijan State Technical Institute, 56 Baburshakh Street, Andijan, 170119, Uzbekistan
Feruzaxon Yuldashevna Sultonova
Department of Biotechnology, Andijan State Technical Institute, 56 Baburshakh Street, Andijan, 170119, Uzbekistan
Email: feruzas093@gmail.com
ORCID: 0009-0009-8833-5991

Abstract. This study investigated the levels of water-soluble vitamins in extracts of medicinal plants cultivated under the conditions of Uzbekistan, including *Hypericum scabrum* and *Calendula officinalis* (3:1), as well as *Hippophae rhamnoides* and *Urtica dioica* (1:1). The research was motivated by the increasing interest in biologically active compounds of medicinal plants and the limited data on their vitamin composition in Uzbekistan-grown species.The selected plants are widely used in traditional medicine due to their anti-inflammatory, immune-supporting, and micronutrient-rich properties. High-performance liquid chromatography (HPLC) was employed for vitamin determination. Extracts were filtered prior to analysis, and chromatographic conditions were optimized to ensure accurate separation and reliable detection.The results demonstrated that the applied HPLC method provided stable and reproducible determination of water-soluble vitamins. The findings support the pharmaceutical and food-related potential of these medicinal plants and provide a scientific basis for quality control, identification of bioactive compounds, and further development of plant-based products.

Keywords: Medicinal plants, Water-soluble vitamins, *Hypericum scabrum*, *Calendula officinalis*, *Hippophae rhamnoides*, *Urtica dioica*, Plant extracts, High-performance liquid chromatography (HPLC), Biologically active compounds, Pharmaceutical and food applications.

Аннотация. В данном исследовании изучалось содержание водорастворимых витаминов в экстрактах лекарственных растений, выращенных в условиях Узбекистана, включая *Hypericum scabrum* и *Calendula officinalis* (3:1), а также *Hippophae rhamnoides* и *Urtica dioica* (1:1). Актуальность работы обусловлена возрастающим интересом к биологически активным соединениям лекарственных растений и недостаточностью данных

о витаминном составе растений, культивируемых в Узбекистане. Выбранные растения широко применяются в традиционной медицине благодаря их противовоспалительным, иммуномодулирующим и богатым микронутриентами свойствам. Для определения витаминов использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Перед анализом экстракты фильтровали, а хроматографические условия были оптимизированы для обеспечения точного разделения и надежного определения компонентов. Полученные результаты показали, что применённый метод ВЭЖХ обеспечивает стабильное и воспроизводимое определение водорастворимых витаминов. Полученные данные подтверждают перспективность использования исследуемых лекарственных растений в фармацевтической и пищевой промышленности, а также создают научную основу для контроля качества, идентификации биологически активных соединений и дальнейшей разработки растительных препаратов.

Ключевые слова: лекарственные растения, водорастворимые витамины, *Hypericum scabrum*, *Calendula officinalis*, *Hippophae rhamnoides*, *Urtica dioica*, растительные экстракты, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), биологически активные соединения, фармацевтические и пищевые применения.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda O‘zbekiston sharoitida yetishtirilgan dorivor o‘simliklarning ekstraktlarida, jumladan Hypericum scabrum va Calendula officinalis (3:1), shuningdek Hippophae rhamnoides va Urtica dioica (1:1) tarkibidagi suvda eriydigan vitaminlar miqdori o‘rganildi. Ishning dolzarbligi dorivor o‘simliklarning biologik faol birikmalariga qiziqish ortib borayotganligi va O‘zbekistonda yetishtiriladigan o‘simliklarning vitamin tarkibi haqidagi ma’lumotlarning yetarli emasligi bilan izohlanadi. Tanlangan o‘simliklar yallig‘lanishga qarshi, immunomodullovchi va mikronutriyentlarga boy xususiyatlari tufayli an’anaviy tibbiyotda keng qo‘llaniladi. Vitaminlarni aniqlash uchun yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (VEYX) usuliKalit so‘zlar: dorivor o‘simliklar, suvda eriydigan vitaminlar, Hypericum scabrum, Calendula officinalis, Hippophae rhamnoides, Urtica dioica, o‘simlik ekstraktlari, yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC), biologik faol birikmalar, farmatsevtika va oziq-ovqat ilovalari.takrorlanadigan aniqlashni ta’minlaydi. Olingan ma’lumotlar farmatsevtika va oziq-ovqat sanoatida o‘rganilayotgan dorivor o‘simliklardan foydalanish istiqbolliligini tasdiqlaydi, shuningdek, sifat nazorati, biologik faol birikmalarni aniqlash va o‘simlik preparatlarini yanada ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: dorivor o‘simliklar, suvda eriydigan vitaminlar, Hypericum scabrum, Calendula officinalis, Hippophae rhamnoides, Urtica dioica, o‘simlik

ekstraktlari, yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC), biologik faol birikmalar, farmatsevtika va oziq-ovqat ilovalari.

INTRODUCTION.

In recent years, the investigation of biologically active compounds from natural sources has become an important research area in pharmaceutical sciences and biochemistry. In particular, determination of water-soluble vitamins in medicinal plants is essential for evaluating their physiological and therapeutic significance. These vitamins participate in energy metabolism, antioxidant protection, and immune system regulation (Abdurahmonov S.M., Toshpo‘latov A.R. 2019; Griffits L.A., Smith J.K. 2017).

Uzbekistan possesses rich floristic resources, and medicinal plants growing under local conditions are widely used in traditional medicine. However, quantitative analysis of water-soluble vitamins in these plants using modern analytical techniques remains insufficiently studied (Xudoyberdiyev A., Ergashev S. 2018). Environmental conditions, including climate and soil composition, significantly influence the biochemical profile of medicinal plants, making scientific standardization necessary before practical application (Rustamov B., Qodirov N. 2019).

Medicinal plants such as *Hypericum scabrum*, *Calendula officinalis*, *Hippophae rhamnoides*, and *Urtica dioica* are rich in flavonoids, phenolic compounds, carotenoids, vitamins, and essential микро- hamda makroelementlar, which determine their pharmacological activity (Karim M.R. et al., 2025). These plants are known for antioxidant, anti-inflammatory, regenerative, and immunomodulatory properties. Previous studies confirmed their therapeutic value; however, data on vitamin composition of combined extracts from plants grown in Uzbekistan remain limited (Bourgaud F. et al., 2001).

Recent preliminary studies demonstrated that combinations of *Hypericum scabrum* with *Calendula officinalis* (3:1) and *Hippophae rhamnoides* with *Urtica dioica* (1:1) exhibit enhanced antiradical activity, suggesting synergistic interactions among their bioactive compounds (Asqarov I.R., 2019).

Therefore, the present study aimed to quantitatively determine water-soluble vitamins in extracts of selected medicinal plants cultivated in Uzbekistan using high-performance liquid chromatography (HPLC). The obtained results may contribute to the development and standardization of plant-based pharmaceutical and nutraceutical products (Sharma P. et al., 2009).

MATERIALS AND METHODS.

Reference standards of cyanocobalamin (vitamin B_{12}), ascorbic acid (vitamin C), folic acid (vitamin B_9), thiamine hydrochloride (vitamin B_1), riboflavin (vitamin B_2), nicotinic acid and nicotinamide (vitamin B_3/PP), and pyridoxine

ISSN 3030-3907

hydrochloride (vitamin B_6) were obtained from certified suppliers and used for analytical calibration. Chromatographic analyses were performed using analytical-grade ultrapure water, acetonitrile, glacial acetic acid, and sodium hydroxide.

Quantitative determination of water-soluble vitamins in plant extracts was carried out using a Shimadzu Nexera LC-40 Lite high-performance liquid chromatography (HPLC) system (Japan) (Asqarov I.R. et al., 2024). Standard vitamin solutions were prepared in appropriate solvents to construct calibration curves and determine concentration ranges. Ultrapure water was used as the blank reference.

3.1. Preparation of Sample Extracts

For analysis, 1 g of each plant sample was placed into a 50 mL conical flask, followed by addition of 25 mL of 0.1 N hydrochloric acid. Extraction was performed in a GT SONIC-D3 ultrasonic bath (China) at 60 °C for 20 min. After cooling, the mixtures were filtered and adjusted to 25 mL with deionized water. Finally, 1.5 mL of each extract was filtered through a 0.22 µm syringe filter into HPLC vials for chromatographic analysis.

HPLC Analysis

High-performance liquid chromatography (HPLC) was employed to quantify water-soluble vitamins in both the plant extracts and the corresponding standard solutions. HPLC conditions and detector settings were established according to the standard protocols of the Shimadzu LC-40 Nexera Lite system.

3.2. Chromatographic Conditions

Chromatographic conditions and solvent gradients were optimized to achieve efficient separation of water-soluble vitamins. Detailed operational parameters and gradient compositions are presented in Tables 2–4. Analyses were performed using a 15-minute gradient program with an injection volume of 10 µL, column temperature of 40 °C, and mobile phase flow rate of 0.6 mL/min. Detection was carried out at wavelengths of 265, 291, and 550 nm, while the 265 nm signal was used specifically for quantification of ascorbic acid (vitamin C).

The gradient program was developed according to the polarity differences of vitamins to ensure accurate separation and reliable peak resolution. Initially, the mobile phase contained 100% 0.5% acetic acid, allowing effective retention of polar vitamins. Subsequently, the acetonitrile concentration was gradually increased to facilitate elution of moderately polar and less polar compounds. At the final stage, the system was returned to the initial conditions to regenerate the column for subsequent analyses.

For vitamin C determination, a separate optimized gradient system was applied. During the initial stage, the mobile phase consisted entirely of 0.5% acetic acid to maintain retention of ascorbic acid, followed by gradual addition of

ISSN 3030-3907

acetonitrile for efficient elution. The system was then restored to the starting conditions to ensure reproducibility and stability of the chromatographic analysis.

RESULTS AND DISCUSSION.

Quantitative analysis of vitamins in the prepared plant extracts was performed based on HPLC chromatograms obtained from the analyzed samples (Figures 3–6). The vitamin content per 100 g of plant material was calculated using the following equation:

$$X = \frac{C_{vit} \times V_{extract}}{m_{sample}} \times 100g$$

where:

X – vitamin content per 100 g of sample (mg);

Cvit – vitamin concentration in the extract determined by HPLC (mg/L);

Vextract – total extract volume (L);

msample – mass of plant material used for extraction.

The 3:1 extract of *Hypericum scabrum* and *Calendula officinalis* demonstrated distinct peaks corresponding to vitamins B_1, B_3, B_6, PP, B_9, and

B_2 at characteristic retention times. Polar vitamins eluted in the early chromatographic stage, whereas less polar vitamins appeared later as the proportion of organic solvent increased. The well-resolved peaks and low background noise confirmed the selectivity and sensitivity of the developed HPLC method. Analysis at wavelengths of 265, 291, and 350 nm further improved reliability of vitamin identification (Figure 3).

The HPLC–PDA chromatogram of the 3:1 combined extract showed a clear vitamin C peak at a retention time of 4.172 min detected at 265 nm, confirming the presence of ascorbic acid in the extract (Figure 4). Additional peaks observed between 9–10 min corresponded to other biologically active compounds such as flavonoids and phenolic acids, which did not interfere with vitamin C detection. The symmetrical peak shape and good baseline separation indicated high selectivity and reliability of the method.

Analysis of the 1:1 extract of *Hippophae rhamnoides* and *Urtica dioica* also confirmed the presence of vitamin C together with several B-group vitamins. Distinct peaks corresponding to vitamins B_1, B_3, B_6, PP, and B_9 were detected, demonstrating a rich vitamin composition of the extract (Figure 5). Simultaneous PDA detection at 265, 291, and 550 nm enhanced the accuracy of peak identification and confirmed the suitability of the chromatographic conditions.

In addition, vitamin C determination in the 1:1 extract showed a characteristic peak at 4.44 min, matching the retention time and UV spectrum of the ascorbic acid standard (Figure 6). Other bioactive compounds present in the

ISSN 3030-3907

extract did not interfere with its detection, confirming the selectivity and reproducibility of the HPLC–PDA method.

Overall, the obtained results demonstrated that the investigated medicinal plant extracts contain various water-soluble vitamins in biologically significant amounts. The determined retention times, extract concentrations, and vitamin contents per 100 g of plant material are presented in the following tables.

This study investigated water-soluble vitamins in extracts of medicinal plants cultivated in Uzbekistan, including *Hypericum scabrum*, *Calendula officinalis*, *Hippophae rhamnoides*, and *Urtica dioica*. Quantitative HPLC analysis enabled determination of vitamin concentrations and their contents per 100 g of plant material.

The results showed that the extracts were rich in B-group vitamins, particularly vitamins B_3, B_2, B_9, and B_1, while vitamin C and vitamin PP (niacin) were detected in lower amounts. Vitamin B_{12} was not identified in the analyzed extracts.

The obtained data confirm the biological and practical significance of the investigated medicinal plants for pharmaceutical and food-related applications. In addition, the HPLC method demonstrated high reliability, selectivity, and reproducibility for determining water-soluble vitamins in plant extracts.

Table 1

Concentrations of Standard Solutions

Vitamin	CAS Number	Solvent for Standard Solution Preparation	Prepared Concentrations (mg/L) (mg/L)
B1	59-43-8	0,1 N HCl	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
B2	83-88-5	0,025% NaOH	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
B3	59-67-6	0,1 N HCl	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
B6	58-56-0	0,1 N HCl	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
B9	59-30-3	0,025% NaOH	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
B12	68-19-9	0,1 N HCl	14,286; 7,143; 3,571; 1,786

ISSN 3030-3907

PP	98-92-0	0,1 N HCl	14,286; 7,143; 3,571; 1,786
C	50-81-7	0,1 N HCl	286; 143; 71,5; 57,2
0 (blank)	–	Purified water	0

Table 2

Gradient elution scheme employed in HPLC for vitamin analysis

Elapsed time (minutes)	Acetonitrile proportion (A, %)	0.25% Acetic Acid in water (B, %)
0	5	95
5	10	90
10	20	80
15	25	75

Table 3

Solvent gradient scheme applied in HPLC for the analysis of vitamins

Elapsed time (minutes)	Acetonitrile proportion (A, %)	0.25% Acetic Acid in water (B, %)
0	0	100
3	0	100
14	20	80
17	50	50
18	0	100
25	End of gradien programm	

Table 4

Gradient elution profile of HPLC solvents employed for quantifying ascorbic acid (vitamin C)

Elapsed time (minutes)	Acetonitrile proportion (A, %)	0.25% Acetic Acid in water (B, %)
0	0	100
2	0	100
6	50	50
6,01	0	100
15	End of gradien programm	

ISSN 3030-3907

Table 5

Vitamin contents and retention times in the 3:1 combined extract of Hypericum scabrum and Calendula officinalis

Vitamin	Elution time of analyte, s	Measured concentration in the extract, mg/L	Vitamin amount corresponding to 100 g of plant material, mg
Thiamine (Vit B_1)	2,733	0,815	2,038
Niacin (Vit B_3)	5,874	7,724	19,310
Niacinamide (Vit PP)	7,864	0,775	1,938
Folic acid (Vit B_9)	16,879	0,186	0,465
Riboflavin (Vit B_2)	19,066	0,768	1,920
Pyridoxine (Vit B_6)	6,02	0,978	2,445
Cobalamin (Vit B_{12})	Not detected	0	0,000
Ascorbic acid (Vit C)	4,172	0,56	1,400

Table 6

Vitamin concentrations along with corresponding chromatographic retention times in an equimolar extract combination of *Hippophae rhamnoides* and *Urtica dioica*

Vitamin	Elution time of analyte, s	Measured concentration in the extract, mg/L	Vitamin amount corresponding to 100 g of plant material, mg
Thiamine (Vit B_1)	2,982	2,813	7,033
Niacin (Vit B_3)	5,758	4,43	11,075
Niacinamide (Vit PP)	8,028	1,385	3,463
Folic acid (Vit B_9)	16,772	3,796	9,490
Riboflavin (Vit B_2)	18,976	4,273	10,683
Pyridoxine (Vit B_6)	6,307	0,897	2,243
Cobalamin (Vit B_{12})	Not detected	0	0,000

ISSN 3030-3907

Ascorbic acid (Vit C)	4,44	1,201	3,003

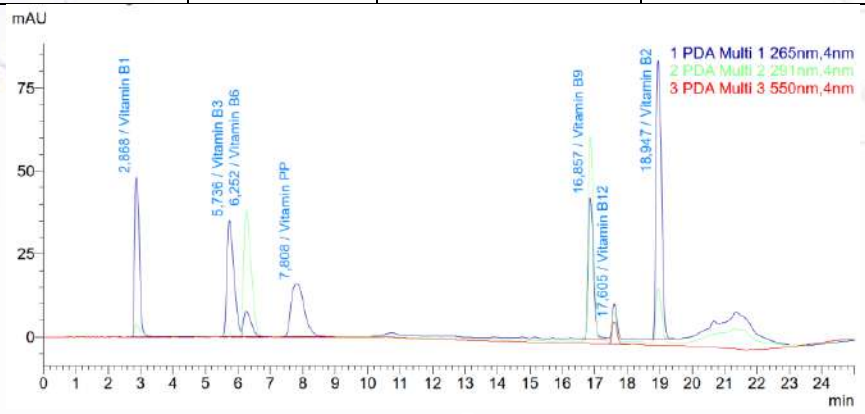


Figure 1. HPLC chromatographic profile of the prepared vitamin standard mixture

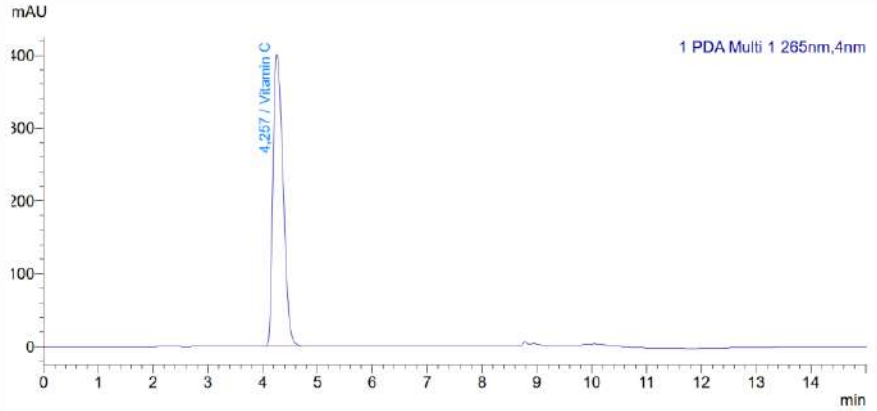


Figure 2. HPLC profile depicting the prepared standard solution of ascorbic acid (vitamin C)

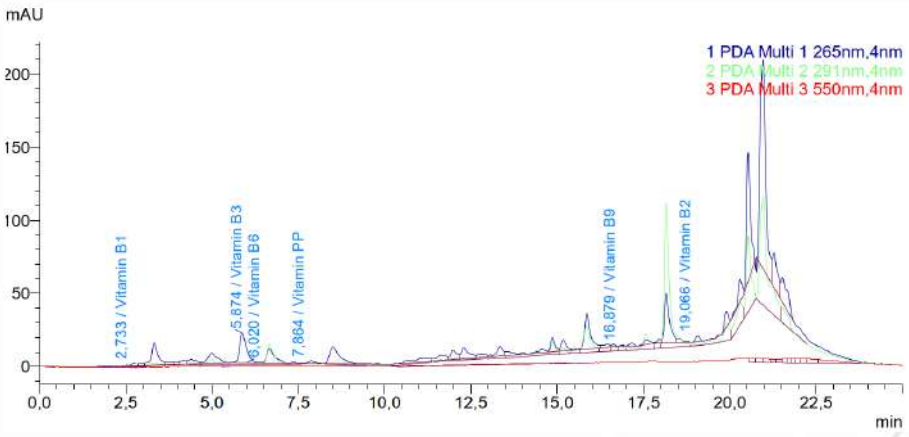


Figure 3. Chromatographic representation corresponding to the determination of vitamins in a 3:1 extract of *Hypericum scabrum* and *Calendula officinalis*

ISSN 3030-3907

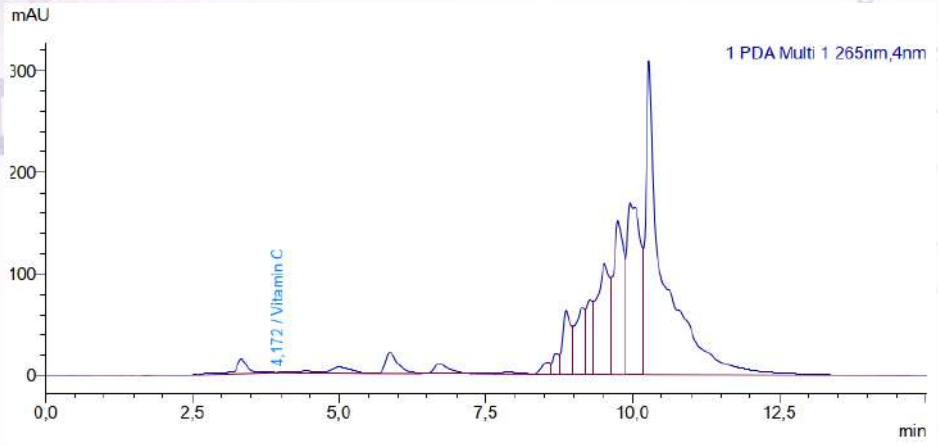


Figure 4. High-performance liquid chromatography (HPLC) profile illustrating the analysis of ascorbic acid in a 3:1 extract of *Hypericum scabrum* and *Calendula officinalis*

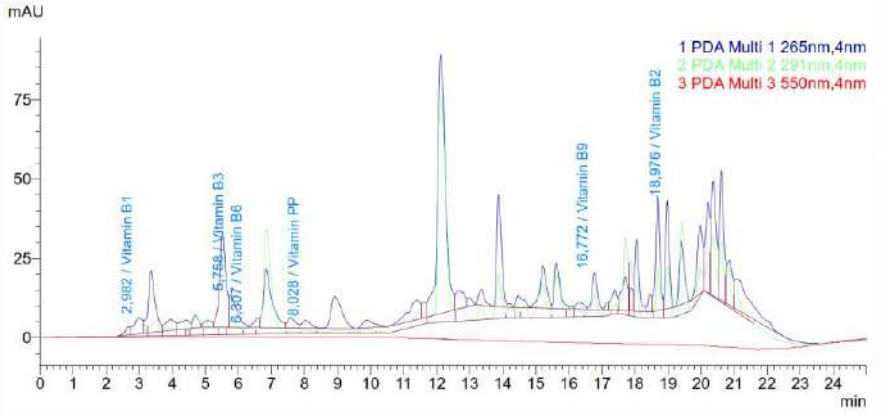


Figure 5. High-performance liquid chromatography (HPLC) profile depicting the determination of ascorbic acid in a 1:1 extract of *Hippophae rhamnoides* and *Urtica dioica*

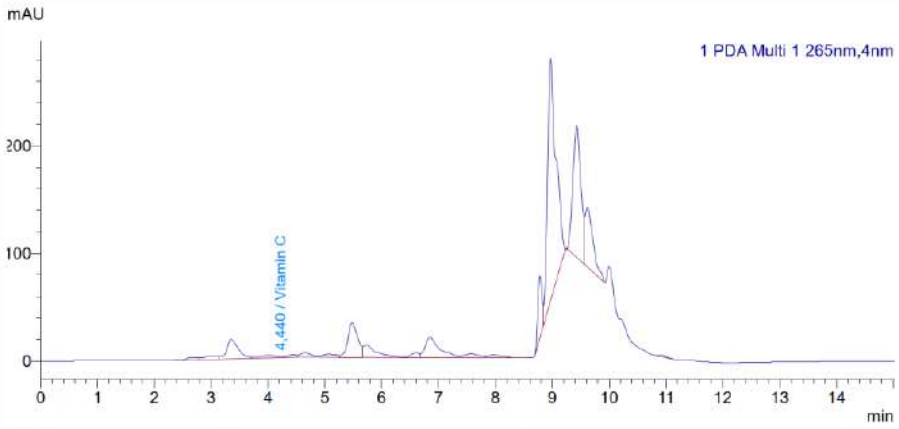


Figure 5. High-performance liquid chromatography (HPLC) profile depicting the determination of ascorbic acid in a 1:1 extract of *Hippophae rhamnoides* and *Urtica dioica*

CONCLUSION. This study investigated water-soluble vitamins in extracts of medicinal plants cultivated in Uzbekistan, including *Hypericum scabrum*, *Calendula officinalis*, *Hippophae rhamnoides*, and *Urtica dioica*. Quantitative

ISSN 3030-3907

HPLC analysis enabled determination of vitamin concentrations and their contents per 100 g of plant material.

The results showed that the extracts were rich in B-group vitamins, particularly vitamins B_3, B_2, B_9, and B_1, while vitamin C and vitamin PP (niacin) were detected in lower amounts. Vitamin B_{12} was not identified in the analyzed extracts.

The obtained data confirm the biological and practical significance of the investigated medicinal plants for pharmaceutical and food-related applications. In addition, the HPLC method demonstrated high reliability, selectivity, and reproducibility for determining water-soluble vitamins in plant extracts.

REFERENCES

1. Abdurahmanov, S. M., & Toshpulatov, A. R. (2019). Dori o‘simliklaridagi suvda eriydigan vitaminlar va ularning farmakologik ahamiyati. *Tibbiyot va Farmatsiya Jurnali, 4*(2), 45–52.
2. Griffiths, L. A., & Smith, J. K. (2017). Water-soluble vitamins in medicinal plants: Roles in metabolism and health. *Journal of Medicinal Food, 20*(5), 465–478. https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3785
3. Xudoyberdiyev, A., & Ergashev, S. (2018). O‘zbekistonning dorivor o‘simliklari va ularning an’anaviy tibbiyotda qo‘llanilishi. *Farmatsiya va Biotexnologiya Jurnali, 2*(3), 34–42.
4. Rustamov, B., & Qodirov, N. (2019). O‘zbekistonning dorivor o‘simliklari: ekologik sharoitlar va kimyoviy tarkib o‘zgarishi. *Biologiya va Tibbiyot Jurnali, 4*(2), 55–63.
5. Karim, M. R., Hossain, M. A., Shamim, M., Hosen, M. R., … (2025). In vivo and in silico approaches for exploring the hypoglycemic potential of *Moringa oleifera* flowers’ extract. *International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants, 11*(1), 252–263. https://www.ijmfmap.in/pdf_vol11_1/vol_11_1_25.pdf
6. Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2018). *Advanced Nutrition and Human Metabolism* (7th ed.). Boston: Cengage Learning.
7. Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001). Production of plant secondary metabolites: A historical perspective. *Plant Science, 161*(5), 839–851. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00490-2
8. Asqarov, I. R., Abdullayev, S. S., Mamatqulova, S. A., Abdulloyev, O. S., & Abdulloyev, S. X. (2024). Development of HPLC methodology for determination of water-soluble vitamins in plant extracts: A case study on celandine. *Fergana State University Scientific Journal, 30*(5), 61. Retrieved from https://journal.fdu.uz/index.php/sjfsu/article/view/4679

9. Asqarov, I. R. (2019). *Tabobat qomusi*. Toshkent: Mumtoz so‘z. Sharma, P., & Bhat, T. K. (2009). Plant bioactive compounds: Antioxidant and immunomodulatory activities. *Food Chemistry, 115*(3), 829–835.

ISSN 3030-3907

SUN’IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARI ORQALI TALABALARDA MUSTAQIL O‘RGANISH KOMPETENSIYALARINI RIVOJLANTIRISH

Behruz Quvvatov Ulug‘bek o‘g‘li
Osiyo xalqaro universiteti, Ijtimoiy fanlar va muhandislik fakulteti
Buxoro, O‘zbekiston
Email: behruz.ulughbekovich.20@gmail.com
ORCID: 0009-0001-0411-7674
Tel: +998 97 323 67 67

Annotatsiya. Mazkur maqolada sun’iy intellekt texnologiyalarining talabalarda mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishdagi o‘rni va pedagogik imkoniyatlari tahlil qilingan. Zamonaviy ta’lim tizimida sun’iy intellekt vositalari ta’lim oluvchilarning individual ehtiyojlarini aniqlash, o‘quv faoliyatini moslashtirish, o‘zlashtirish natijalarini monitoring qilish hamda mustaqil bilim olish jarayonini qo‘llab-quvvatlashning samarali vositasi sifatida qaralmoqda. Tadqiqotda generativ sun’iy intellekt platformalari, adaptiv ta’lim tizimlari va Learning Analytics texnologiyalarining talabalarning mustaqil ta’lim kompetensiyalariga ta’siri yoritilgan. Shuningdek, sun’iy intellektdan foydalanishning afzalliklari, pedagogik shart-sharoitlari va mavjud muammolari tahlil qilinib, amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: sun’iy intellekt, mustaqil ta’lim, kompetensiya, generativ AI, adaptiv ta’lim, Learning Analytics, oliy ta’lim, raqamli pedagogika, ta’lim texnologiyalari.

Abstract. This article analyzes the role and pedagogical potential of artificial intelligence technologies in developing students’ independent learning competencies. In the modern education system, artificial intelligence tools are considered effective means of identifying learners’ individual needs, adapting educational activities, monitoring learning outcomes, and supporting the process of independent knowledge acquisition. The study highlights the impact of generative artificial intelligence platforms, adaptive learning systems, and Learning Analytics technologies on students’ independent learning competencies. Furthermore, the advantages, pedagogical conditions, and existing challenges of using artificial intelligence in education are examined, and practical recommendations are proposed.

Keywords: artificial intelligence, independent learning, competence, generative AI, adaptive learning, Learning Analytics, higher education, digital pedagogy, educational technologies.

Аннотация. В данной статье анализируются роль и педагогические возможности технологий искусственного интеллекта в развитии компетенций самостоятельного обучения студентов. В современной системе

образования средства искусственного интеллекта рассматриваются как эффективный инструмент выявления индивидуальных потребностей обучающихся, адаптации учебной деятельности, мониторинга результатов обучения и поддержки процесса самостоятельного приобретения знаний. В исследовании освещается влияние платформ генеративного искусственного интеллекта, адаптивных образовательных систем и технологий Learning Analytics на формирование компетенций самостоятельного обучения студентов. Кроме того, проанализированы преимущества, педагогические условия и существующие проблемы использования искусственного интеллекта в образовании, а также разработаны практические рекомендации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, самостоятельное обучение, компетенция, генеративный ИИ, адаптивное обучение, Learning Analytics, высшее образование, цифровая педагогика, образовательные технологии.

KIRISH.

Raqamli transformatsiya jarayonlari ta’lim tizimida yangi pedagogik yondashuvlarning shakllanishiga, ta’lim mazmuni va metodlarining tubdan yangilanishiga sabab bo‘lmoqda. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida ta’lim jarayoni an’anaviy bilim berish modelidan kompetensiyaviy yondashuvga asoslangan, shaxsga yo‘naltirilgan va moslashuvchan ta’lim modeliga o‘tmoqda. Bunday sharoitda talabalarning mustaqil bilim olish faoliyatini rivojlantirish oliy ta’lim tizimining ustuvor vazifalaridan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda. Chunki zamonaviy mehnat bozori mutaxassislardan nafaqat muayyan fan sohasiga oid bilimlarga ega bo‘lishni, balki yangi bilimlarni mustaqil ravishda izlash, tahlil qilish, qayta ishlash, tanqidiy baholash va amaliy faoliyatga tatbiq etish kompetensiyalarini ham talab qilmoqda.

Mustaqil o‘rganish kompetensiyasi talabaning o‘z o‘quv faoliyatini rejalashtirish, maqsadlarni belgilash, o‘quv resurslarini tanlash, o‘zlashtirish jarayonini nazorat qilish va natijalarni baholash qobiliyatlarini o‘z ichiga oladi. Ushbu kompetensiyaning rivojlanishi talabaning akademik muvaffaqiyati, kasbiy tayyorgarligi hamda uzluksiz ta’lim olishga tayyorligini belgilovchi muhim omillardan hisoblanadi. Shu sababli mustaqil ta’limni samarali tashkil etish va qo‘llab-quvvatlash mexanizmlarini takomillashtirish pedagogika fanining dolzarb ilmiy muammolaridan biri bo‘lib qolmoqda.

So‘nggi yillarda sun’iy intellekt texnologiyalarining jadal rivojlanishi ta’lim jarayonini individuallashtirish, adaptiv o‘qitishni tashkil etish hamda talabalarning mustaqil o‘rganish faoliyatini qo‘llab-quvvatlash uchun keng imkoniyatlarni yaratmoqda. Sun’iy intellekt asosidagi tizimlar talabalarning bilim darajasi, qiziqishlari, o‘quv ehtiyojlari va o‘zlashtirish sur’atini tahlil qilish orqali individual ta’lim trayektoriyalarini shakllantirish imkonini beradi. Natijada har bir talaba o‘z

ISSN 3030-3907

imkoniyatlari va ehtiyojlariga mos ravishda bilim olish jarayoniga jalb qilinadi, bu esa ta’lim samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

Xususan, ChatGPT, Gemini, Claude, Microsoft Copilot kabi generativ sun’iy intellekt vositalari talabalarning mustaqil ta’lim faoliyatida virtual maslahatchi, raqamli tutor va intellektual yordamchi vazifalarini bajarishi mumkin. Ushbu vositalar o‘quv materiallarini yaratish va moslashtirish, murakkab nazariy tushunchalarni sodda va tushunarli shaklda izohlash, amaliy topshiriqlarni bajarish bo‘yicha tavsiyalar berish, ilmiy manbalarni tahlil qilish, matnlarni umumlashtirish hamda o‘quv natijalarini baholash imkoniyatlariga ega. Bundan tashqari, generativ sun’iy intellekt texnologiyalari talabalarning refleksiv faoliyatini rivojlantirish, tanqidiy fikrlash ko‘nikmalarini shakllantirish va ijodiy muammolarni hal qilish kompetensiyalarini takomillashtirishga ham xizmat qiladi.

Sun’iy intellekt asosidagi adaptiv ta’lim tizimlari va Learning Analytics texnologiyalari esa talabalarning o‘quv faoliyatini real vaqt rejimida monitoring qilish, o‘zlashtirish natijalarini prognozlash hamda individual tavsiyalar ishlab chiqish imkonini beradi. Bu jarayon talabaning bilimlarni o‘zlashtirishdagi qiyinchiliklarini erta aniqlash va ularga mos pedagogik yordam ko‘rsatishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, sun’iy intellekt vositalari ta’lim jarayonida tezkor teskari aloqani ta’minlash, o‘quv motivatsiyasini oshirish va talabaning mustaqil ta’lim faoliyatini boshqarish samaradorligini kuchaytirishda muhim pedagogik resurs sifatida namoyon bo‘lmoqda.

Biroq sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim jarayoniga keng joriy etilishi bilan bog‘liq qator muammolar ham mavjud. Jumladan, akademik halollikni ta’minlash, AI tomonidan yaratilgan kontentning ishonchliligini tekshirish, ma’lumotlar xavfsizligini himoya qilish hamda talabalarning texnologiyalarga ortiqcha qaram bo‘lib qolishining oldini olish masalalari alohida e’tibor talab qiladi. Shu sababli sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish jarayonida pedagogik maqsadga muvofiqlik, axloqiy me’yorlar va akademik halollik tamoyillariga asoslanish muhim ahamiyat kasb etadi.

Shunday qilib, sun’iy intellekt texnologiyalari talabalarning mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishning innovatsion vositasi sifatida ta’lim jarayonini yangi sifat bosqichiga olib chiqmoqda. Ularning samarali qo‘llanilishi talabalarning mustaqil bilim olish faoliyatini faollashtirish, individual ta’lim trayektoriyalarini shakllantirish va zamonaviy kasbiy kompetensiyalarni rivojlantirishning muhim omili hisoblanadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Tadqiqot jarayonida mavzuning nazariy va amaliy jihatlarini kompleks o‘rganishga imkon beruvchi bir qator ilmiy tadqiqot metodlaridan foydalanildi. Xususan, ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish metodi orqali sun’iy intellekt

ISSN 3030-3907

texnologiyalarining ta’lim tizimidagi o‘rni, mustaqil o‘rganish kompetensiyalarining pedagogik mohiyati hamda ularni rivojlantirishga oid mahalliy va xorijiy olimlarning ilmiy qarashlari o‘rganildi. Mazkur metod tadqiqot muammosining nazariy asoslarini aniqlash, mavjud ilmiy yondashuvlarni tizimlashtirish va tadqiqotning konseptual asoslarini shakllantirish imkonini berdi.

Qiyosiy tahlil metodi yordamida turli mamlakatlar oliy ta’lim tizimlarida sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish tajribalari o‘zaro solishtirildi, ularning afzalliklari, o‘ziga xos xususiyatlari va amaliy samaradorligi tahlil qilindi. Ayniqsa, AQSH, Buyuk Britaniya, Janubiy Koreya, Singapur va Xitoy kabi davlatlarda sun’iy intellekt asosidagi adaptiv ta’lim tizimlari, intellektual tutorlik platformalari hamda Learning Analytics texnologiyalarining qo‘llanilish tajribalari o‘rganildi.

Tadqiqotda tizimli yondashuv metodidan foydalanish orqali talabalarning mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirish jarayoni yagona pedagogik tizim sifatida ko‘rib chiqildi. Bunda maqsad, mazmun, metodlar, vositalar, pedagogik shart-sharoitlar va natijalar o‘rtasidagi uzviy bog‘liqlik tahlil qilindi. Mazkur yondashuv sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim jarayonidagi funksional imkoniyatlarini aniqlash hamda ularni mustaqil ta’lim faoliyatiga integratsiyalash mexanizmlarini ishlab chiqishga xizmat qildi.

Pedagogik umumlashtirish metodi asosida tadqiqot davomida to‘plangan nazariy ma’lumotlar, ilg‘or tajribalar va amaliy natijalar tizimlashtirildi hamda umumiy ilmiy xulosalar shakllantirildi. Ushbu metod yordamida sun’iy intellekt texnologiyalarining talabalarda mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishdagi pedagogik imkoniyatlari, samarali foydalanish tamoyillari va metodik yondashuvlari asoslab berildi.

Bundan tashqari, tadqiqot doirasida sun’iy intellekt texnologiyalarining oliy ta’limdagi qo‘llanilishiga oid xalqaro tajribalar chuqur o‘rganildi. Xalqaro tashkilotlar, jumladan UNESCO, OECD hamda ta’limda sun’iy intellektni rivojlantirish bilan shug‘ullanuvchi yetakchi ilmiy markazlarning tavsiyalari tahlil qilindi. Shuningdek, generativ sun’iy intellekt vositalarining mustaqil ta’lim jarayoniga ta’siri bo‘yicha nashr etilgan ilmiy maqolalar, monografiyalar va empirik tadqiqotlar o‘rganilib, ularning natijalari tadqiqotning ilmiy-metodik asoslarini boyitishga xizmat qildi. Natijada sun’iy intellekt texnologiyalari orqali talabalarda mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishning nazariy asoslari va amaliy mexanizmlari yuzasidan ilmiy xulosalar ishlab chiqildi.

Mustaqil o‘rganish kompetensiyasining mazmuni

Mustaqil o‘rganish kompetensiyasi zamonaviy ta’lim tizimida shaxsning uzluksiz ta’lim olishga tayyorligini ifodalovchi muhim integrativ sifatlardan biri hisoblanadi. Ushbu kompetensiya talabaning o‘z bilim faoliyatini mustaqil

ISSN 3030-3907

ravishda rejalashtirish, tashkil etish, boshqarish, nazorat qilish va natijalarini baholash qobiliyatlarini qamrab oladi. Mustaqil o‘rganish kompetensiyasiga ega bo‘lgan talaba yangi bilimlarni egallash jarayonida tashqi nazoratga kamroq ehtiyoj sezadi, o‘z oldiga aniq maqsadlar qo‘yadi, ularga erishish strategiyalarini ishlab chiqadi va o‘quv faoliyatini samarali tashkil etadi. Shuningdek, bunday talaba o‘z faoliyatini tahlil qilish, mavjud kamchiliklarni aniqlash hamda ularni bartaraf etish yo‘llarini izlash orqali o‘z-o‘zini rivojlantirishga intiladi.

Pedagogik va psixologik tadqiqotlarda mustaqil o‘rganish kompetensiyasi bir necha o‘zaro bog‘liq tarkibiy qismlardan tashkil topgan murakkab tizim sifatida talqin qilinadi. Ularning birinchisi maqsad qo‘yish kompetensiyasi bo‘lib, talabaning o‘quv faoliyatiga oid qisqa va uzoq muddatli maqsadlarni belgilash, ustuvor vazifalarni aniqlash hamda o‘z faoliyatini ushbu maqsadlarga yo‘naltirish qobiliyatini ifodalaydi. Mazkur komponent o‘quv motivatsiyasining shakllanishida va o‘quv faoliyatining samaradorligini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.

Ikkinchi tarkibiy qism axborotni izlash va saralash kompetensiyasi hisoblanadi. Raqamli axborot makonining kengayib borishi sharoitida talaba turli manbalardan kerakli ma’lumotlarni topish, ularning ishonchliligini baholash, muhim va ikkinchi darajali axborotni farqlash hamda olingan ma’lumotlarni maqsadga muvofiq tarzda qayta ishlash ko‘nikmalariga ega bo‘lishi zarur. Ushbu kompetensiya axborot madaniyatining shakllanishida muhim o‘rin tutadi.

Mustaqil o‘rganish kompetensiyasining yana bir muhim tarkibiy qismi tahliliy fikrlash kompetensiyasi bo‘lib, u olingan bilim va ma’lumotlarni tahlil qilish, taqqoslash, umumlashtirish, sabab-oqibat bog‘liqliklarini aniqlash hamda asoslangan xulosalar chiqarish qobiliyatlarini o‘z ichiga oladi. Tahliliy fikrlash talabaning tanqidiy yondashuvini rivojlantirib, muammoli vaziyatlarni samarali hal qilish imkonini beradi.

Refleksiv faoliyat kompetensiyasi esa talabaning o‘z bilim faoliyatini tahlil qilish, erishilgan natijalarni baholash, muvaffaqiyat va kamchiliklarning sabablarini aniqlash hamda kelgusidagi faoliyatini takomillashtirishga yo‘naltirilgan xulosalar chiqarish qobiliyatini anglatadi. Refleksiya jarayoni talabaning o‘z-o‘zini anglash va o‘z ustida ishlash ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi.

O‘z-o‘zini nazorat qilish kompetensiyasi talabaning o‘quv faoliyati jarayonida belgilangan maqsadlarga erishish darajasini kuzatib borishi, xatolarni aniqlashi va zarur hollarda o‘z faoliyatiga tuzatishlar kiritishi bilan tavsiflanadi. Ushbu komponent o‘quv jarayonining samaradorligini oshirish hamda mustaqil ta’lim faoliyatini boshqarishning muhim mexanizmi hisoblanadi.

Mustaqil o‘rganish kompetensiyasining yakuniy va eng muhim tarkibiy qismlaridan biri o‘z-o‘zini rivojlantirish kompetensiyasi bo‘lib, u shaxsning yangi

ISSN 3030-3907

bilim va ko‘nikmalarni muntazam ravishda egallashga intilishi, kasbiy va shaxsiy rivojlanishga bo‘lgan ehtiyoji hamda uzluksiz ta’lim tamoyillariga amal qilishi bilan namoyon bo‘ladi. Aynan ushbu kompetensiya zamonaviy jamiyatda muvaffaqiyatli faoliyat yurituvchi mutaxassisning asosiy sifatlaridan biri sifatida e’tirof etiladi.

Shunday qilib, maqsad qo‘yish, axborotni izlash va saralash, tahliliy fikrlash, refleksiv faoliyat, o‘z-o‘zini nazorat qilish hamda o‘z-o‘zini rivojlantirish kompetensiyalari o‘zaro uzviy bog‘langan holda talabaning mustaqil o‘rganish kompetensiyasining yaxlit tizimini tashkil etadi. Mazkur komponentlarning rivojlanganlik darajasi talabaning uzluksiz ta’lim olish jarayonidagi muvaffaqiyati, akademik natijalari va kelajakdagi kasbiy faoliyati samaradorligini belgilovchi muhim omillardan hisoblanadi.

Sun’iy intellektning mustaqil ta’limdagi imkoniyatlari

Sun’iy intellekt texnologiyalari talabalarning mustaqil o‘rganish faoliyatini qo‘llab-quvvatlashning samarali vositasi sifatida zamonaviy ta’lim tizimida tobora keng qo‘llanilmoqda. Ushbu texnologiyalar o‘quv jarayonini shaxsiylashtirish, o‘zlashtirish natijalarini monitoring qilish, individual tavsiyalar berish hamda talabaning bilim olish faoliyatini boshqarish imkoniyatlarini yaratadi. Natijada ta’lim oluvchi passiv bilim qabul qiluvchidan faol bilim yaratuvchi va mustaqil tadqiqotchi sifatida shakllanadi.

Avvalo, sun’iy intellekt texnologiyalari ta’limni individuallashtirish imkonini beradi. An’anaviy ta’lim modelida barcha talabalar uchun bir xil o‘quv mazmuni va topshiriqlar taqdim etilsa, sun’iy intellekt asosidagi tizimlar har bir talabaning bilim darajasi, qiziqishlari, o‘quv ehtiyojlari va o‘zlashtirish sur’atini tahlil qilish orqali individual ta’lim trayektoriyasini shakllantiradi. AI algoritmlari talabaning oldingi faoliyati va natijalarini tahlil qilib, unga mos o‘quv materiallari, amaliy topshiriqlar va qo‘shimcha resurslarni tavsiya etadi. Natijada har bir talaba o‘z imkoniyatlari va ehtiyojlariga mos ravishda bilim olish imkoniyatiga ega bo‘ladi, bu esa o‘zlashtirish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Ikkinchidan, sun’iy intellekt texnologiyalari adaptiv ta’lim muhitini shakllantiradi. Adaptiv ta’lim tizimlari talabaning o‘quv faoliyati natijalarini doimiy ravishda tahlil qilib, topshiriqlar murakkabligini avtomatik ravishda moslashtiradi. Agar talaba ma’lum bir mavzuni yaxshi o‘zlashtirayotgan bo‘lsa, tizim murakkabroq vazifalarni taklif etadi, aksincha qiyinchiliklarga duch kelayotgan talabalarga qo‘shimcha tushuntirishlar va soddalashtirilgan topshiriqlar taqdim etiladi. Bu esa bilimlarni bosqichma-bosqich va tizimli ravishda mustahkamlash imkonini beradi hamda har bir talabaning individual rivojlanish sur’atini hisobga olgan holda o‘qitishni tashkil etishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Uchinchidan, sun’iy intellekt vositalari tezkor va uzluksiz teskari aloqani ta’minlaydi. An’anaviy ta’limda o‘qituvchi talabalarning barcha ishlari bo‘yicha individual fikr bildirish uchun ko‘p vaqt sarflaydi. AI texnologiyalari esa topshiriq bajarilishi bilanoq natijalarni avtomatik ravishda tahlil qiladi, xatolarni aniqlaydi va ularni bartaraf etish bo‘yicha tavsiyalar beradi. Tezkor teskari aloqa talabaning o‘z xatolarini vaqtida anglashiga, o‘quv faoliyatini tuzatishiga va bilimlarni samaraliroq o‘zlashtirishiga yordam beradi. Shu bilan birga, muntazam fikr-mulohazalar talabaning o‘quv motivatsiyasini oshirish va mustaqil ishlashga bo‘lgan qiziqishini kuchaytirishda muhim omil hisoblanadi.

To‘rtinchidan, Learning Analytics texnologiyalari yordamida o‘quv faoliyati monitoringi va diagnostikasi amalga oshiriladi. Mazkur texnologiyalar talabalarning ta’lim platformalaridagi faolligi, topshiriqlarni bajarish sifati, o‘quv materiallari bilan ishlash darajasi hamda o‘zlashtirish natijalari to‘g‘risidagi katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish imkonini beradi. Olingan ma’lumotlar asosida talabaning o‘quv faoliyati bo‘yicha tahliliy hisobotlar shakllantiriladi, o‘zlashtirishdagi muammolar aniqlanadi va individual rivojlanish strategiyalari ishlab chiqiladi. Bu esa ta’lim jarayonini ma’lumotlarga asoslangan holda boshqarish va pedagogik qarorlar qabul qilish samaradorligini oshiradi.

Mustaqil ta’limni rivojlantirishda generativ sun’iy intellekt texnologiyalarining o‘rni alohida ahamiyatga ega. Katta hajmdagi ma’lumotlar asosida ishlovchi generativ AI tizimlari nafaqat mavjud axborotni qayta ishlash, balki yangi matnlar, tavsiyalar, topshiriqlar va o‘quv materiallarini yaratish imkoniyatiga ham ega. Shu sababli ular talabaning mustaqil o‘rganish jarayonida virtual yordamchi va intellektual maslahatchi sifatida faoliyat yuritishi mumkin.

Generativ sun’iy intellekt vositalari o‘quv materiallarini qisqartirish va umumlashtirish, murakkab mavzularni sodda va tushunarli tilda izohlash, individual mashq va topshiriqlar yaratish, ilmiy matnlarni tahlil qilish, ilmiy izlanishlar uchun g‘oyalar taklif etish, loyiha va tadqiqot ishlarini rejalashtirish, taqdimotlar hamda hisobotlar tayyorlash jarayonlarini sezilarli darajada yengillashtiradi. Bu esa talabaning vaqtini tejash, axborot bilan ishlash samaradorligini oshirish va mustaqil ta’lim faoliyatini yanada maqsadli tashkil etishga imkon yaratadi.

Xususan, ChatGPT, Gemini, Claude va Microsoft Copilot kabi generativ sun’iy intellekt platformalari talabaning savollariga real vaqt rejimida javob berish, murakkab nazariy tushunchalarni izohlash, amaliy misollar keltirish va individual tavsiyalar berish imkoniyatiga ega. Bunday tizimlar virtual tutor yoki raqamli mentor sifatida faoliyat yuritib, talabaning mustaqil izlanish faoliyatini faollashtiradi. Shu bilan birga, ular talabalarning tanqidiy fikrlash, muammolarni

ISSN 3030-3907

hal qilish, axborotni tahlil qilish va ijodiy faoliyat ko‘nikmalarini rivojlantirishga ham xizmat qiladi.

Demak, sun’iy intellekt va generativ AI texnologiyalarining ta’lim jarayoniga integratsiyalashuvi mustaqil o‘rganish faoliyatini yangi bosqichga olib chiqmoqda. Ushbu texnologiyalar talabaning individual imkoniyatlarini ro‘yobga chiqarish, o‘quv faoliyatini samarali boshqarish va uzluksiz ta’lim kompetensiyalarini rivojlantirishning muhim pedagogik vositasi sifatida namoyon bo‘lmoqda.

Sun’iy intellektdan foydalanishning pedagogik afzalliklari

Sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim jarayoniga integratsiyalashuvi o‘qitish va o‘rganish samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi qator pedagogik afzalliklarni yuzaga keltirmoqda. Mazkur texnologiyalar o‘quv jarayonini zamonaviy talablar asosida tashkil etish, talabalarning individual imkoniyatlarini hisobga olish hamda mustaqil ta’lim faoliyatini qo‘llab-quvvatlash imkonini beradi. Shu sababli sun’iy intellekt bugungi kunda ta’lim sifatini oshirishning innovatsion vositalaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda.

Avvalo, sun’iy intellekt texnologiyalari o‘quv jarayonining shaxsiylashtirilishini ta’minlaydi. AI algoritmlari har bir talabaning bilim darajasi, qiziqishlari, o‘quv ehtiyojlari va o‘zlashtirish sur’atini tahlil qilish orqali individual ta’lim trayektoriyalarini shakllantiradi. Natijada talabalar o‘z imkoniyatlari va ehtiyojlariga mos o‘quv materiallari bilan ishlash imkoniyatiga ega bo‘ladilar. Bu esa ta’limning samaradorligini oshirish bilan birga o‘quv jarayonining subyektiv ahamiyatini ham kuchaytiradi.

Sun’iy intellektning muhim pedagogik afzalliklaridan yana biri ta’lim motivatsiyasining ortishidir. Interaktiv va moslashuvchan ta’lim muhitining yaratilishi talabalarning o‘quv jarayoniga bo‘lgan qiziqishini kuchaytiradi. AI tizimlari tomonidan beriladigan tezkor tavsiyalar, individual topshiriqlar va rag‘batlantiruvchi teskari aloqa talabaning o‘zlashtirish jarayonidagi faol ishtirokini ta’minlaydi. Bu esa ichki motivatsiyaning rivojlanishiga va o‘quv faoliyatining barqarorligiga ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Shuningdek, sun’iy intellekt texnologiyalari mustaqil fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi. AI vositalari talabalarni muammoli vaziyatlarni tahlil qilish, turli manbalarni taqqoslash, dalillarni baholash va asoslangan xulosalar chiqarishga undaydi. Ayniqsa, generativ sun’iy intellekt platformalari bilan ishlash jarayonida talabalar savollarni to‘g‘ri shakllantirish, olingan javoblarni tanqidiy baholash va ularni qayta ishlash ko‘nikmalarini egallaydilar.

Sun’iy intellekt asosidagi ta’lim tizimlari o‘z-o‘zini nazorat qilish kompetensiyasining shakllanishiga ham yordam beradi. Talaba o‘z natijalarini

ISSN 3030-3907

muntazam kuzatish, o‘zlashtirish darajasini baholash va mavjud kamchiliklarni aniqlash imkoniyatiga ega bo‘ladi. Bu esa o‘quv faoliyatini mustaqil boshqarish va refleksiv yondashuvni rivojlantirish uchun muhim pedagogik sharoit yaratadi.

Bundan tashqari, AI texnologiyalaridan foydalanish axborot bilan ishlash madaniyatining rivojlanishiga xizmat qiladi. Talabalar turli elektron manbalar bilan ishlash, ma’lumotlarni izlash, saralash, tahlil qilish va ulardan samarali foydalanish ko‘nikmalarini egallaydilar. Raqamli kompetensiyalarning rivojlanishi esa zamonaviy axborot jamiyatida muvaffaqiyatli faoliyat yuritishning muhim omillaridan biri hisoblanadi.

Sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim jarayoniga joriy etilishi o‘quv natijalarining yaxshilanishiga ham olib keladi. Adaptiv ta’lim tizimlari va intellektual o‘quv platformalari bilimlarni o‘zlashtirishdagi bo‘shliqlarni aniqlab, ularni bartaraf etish bo‘yicha individual tavsiyalar beradi. Natijada talabalarning akademik ko‘rsatkichlari va bilimlarni o‘zlashtirish darajasi sezilarli darajada oshadi.

Refleksiv faoliyatning faollashuvi ham sun’iy intellekt texnologiyalarining muhim pedagogik natijalaridan biridir. AI tizimlari talabaning o‘quv faoliyati bo‘yicha tahliliy ma’lumotlarni taqdim etib, uning o‘z faoliyatini baholash va takomillashtirish imkoniyatlarini kengaytiradi. Bu esa o‘z-o‘zini rivojlantirish va uzluksiz ta’lim olish kompetensiyalarining shakllanishiga xizmat qiladi.

Shu bilan birga, sun’iy intellekt texnologiyalari o‘qituvchining nazorat va monitoring faoliyatini optimallashtirish imkonini beradi. Topshiriqlarni avtomatik tekshirish, o‘zlashtirish natijalarini tahlil qilish va individual tavsiyalar ishlab chiqish jarayonlarining avtomatlashtirilishi o‘qituvchining vaqtini tejaydi hamda pedagogik faoliyatning samaradorligini oshiradi. Natijada o‘qituvchi ko‘proq metodik va ijodiy faoliyat bilan shug‘ullanish imkoniyatiga ega bo‘ladi.

Mavjud muammolar va cheklovlar

Sun’iy intellekt texnologiyalarining ta’lim tizimiga keng joriy etilishi bilan bir qatorda qator pedagogik, axloqiy va texnologik muammolar ham yuzaga kelmoqda. Ushbu muammolarni o‘z vaqtida aniqlash va bartaraf etish sun’iy intellektdan samarali foydalanishning muhim shartlaridan biri hisoblanadi.

Birinchidan, akademik halollik masalasi dolzarb muammolardan biri hisoblanadi. Generativ sun’iy intellekt vositalari yordamida tayyorlangan matnlar, referatlar yoki ilmiy ishlarning talaba tomonidan o‘zining mustaqil mahsuli sifatida taqdim etilishi akademik halollik tamoyillarining buzilishiga olib kelishi mumkin. Bu holat talabaning mustaqil fikrlash, izlanish va ijodiy faoliyat ko‘nikmalarining yetarli darajada rivojlanmasligiga sabab bo‘lishi ehtimoldan xoli emas.

Ikkinchidan, sun’iy intellekt tizimlari tomonidan taqdim etilgan ma’lumotlarning ishonchliligi bilan bog‘liq muammolar mavjud. Generativ AI

ISSN 3030-3907

platformalari ayrim hollarda noto‘g‘ri, eskirgan yoki ilmiy jihatdan asoslanmagan ma’lumotlarni ham ishlab chiqishi mumkin. Shu sababli talabalarda axborotni tekshirish, manbalarni tahlil qilish va tanqidiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirish muhim pedagogik vazifa bo‘lib qolmoqda.

Uchinchidan, sun’iy intellekt texnologiyalariga haddan tashqari bog‘liqlik talabalarning mustaqil fikrlash va ijodiy faoliyatiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Agar talaba barcha vazifalarni AI yordamida bajarishga odatlansa, muammolarni mustaqil hal qilish, tahliliy fikrlash va ijodiy yondashuv ko‘nikmalari sust rivojlanishi ehtimoli mavjud. Shu bois sun’iy intellekt yordamchi vosita sifatida qo‘llanilishi, ammo insonning intellektual faoliyatini to‘liq almashtirmasligi lozim.

To‘rtinchidan, ma’lumotlar xavfsizligi va shaxsiy ma’lumotlarni himoya qilish bilan bog‘liq masalalar ham muhim ahamiyatga ega. Sun’iy intellekt tizimlari katta hajmdagi ma’lumotlar bilan ishlashi sababli foydalanuvchilarning shaxsiy ma’lumotlarini saqlash va qayta ishlash jarayonida xavfsizlik talablariga qat’iy rioya etilishi zarur. Aks holda maxfiy ma’lumotlarning tarqalishi yoki noqonuniy foydalanilishi xavfi yuzaga kelishi mumkin.

Bundan tashqari, raqamli tengsizlik muammosi ham sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanish samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi. Barcha talabalar ham yuqori tezlikdagi internet, zamonaviy qurilmalar yoki sun’iy intellekt platformalaridan foydalanish imkoniyatiga ega emas. Bu esa ta’lim imkoniyatlari o‘rtasida tafovutlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘lishi mumkin.

Shu munosabat bilan sun’iy intellekt texnologiyalaridan foydalanishning pedagogik, axloqiy va huquqiy me’yorlarini ishlab chiqish, akademik halollik tamoyillarini mustahkamlash, ma’lumotlar xavfsizligini ta’minlash hamda talabalarda tanqidiy fikrlash madaniyatini rivojlantirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Faqatgina mazkur shartlar ta’minlangan taqdirdagina sun’iy intellekt texnologiyalari ta’lim sifatini oshirish va talabalarning mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishning samarali vositasi sifatida xizmat qilishi mumkin.

XULOSA.

Tadqiqot natijalari sun’iy intellekt texnologiyalari talabalarning mustaqil o‘rganish kompetensiyalarini rivojlantirishda muhim pedagogik vosita ekanligini ko‘rsatdi. AI texnologiyalari ta’lim jarayonini individuallashtirish, adaptiv o‘qitishni tashkil etish, tezkor teskari aloqa berish hamda o‘quv faoliyatini monitoring qilish imkoniyatlarini yaratadi. Generativ sun’iy intellekt vositalari esa talabalarning mustaqil izlanish, tahliliy fikrlash va refleksiv faoliyatini qo‘llab-quvvatlaydi.

ISSN 3030-3907

Shu bilan birga, akademik halollik, axborot ishonchliligi va ma’lumotlar xavfsizligi bilan bog‘liq masalalarni hisobga olgan holda sun’iy intellektdan oqilona foydalanish mexanizmlarini ishlab chiqish zarur. Kelgusida sun’iy intellekt asosidagi adaptiv ta’lim platformalarini ishlab chiqish va ularning talabalarning kompetensiyalariga ta’sirini eksperimental tadqiq etish muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – Pearson Education, 2021.
2. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial Intelligence in Education. – Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.
3. Zawacki-Richter O., Marín V.I., Bond M., Gouverneur F. Systematic Review of Research on Artificial Intelligence Applications in Higher Education // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019.
4. Luckin R. Machine Learning and Human Intelligence. – London: UCL Institute of Education Press, 2018.
5. UNESCO. Guidance for Generative AI in Education and Research. – Paris, 2023.
6. Kasneci E., Sessler K., Küchemann S. et al. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // Learning and Individual Differences. – 2023.
7. Zimmerman B.J. Self-Regulated Learning and Academic Achievement. – Routledge, 2002.
8. Selevko G.K. Sovremennye obrazovatelnye texnologii. – Moskva, 2019.
9. Azizxo‘jayeva N.N. Pedagogik texnologiyalar va pedagogik mahorat. – Toshkent, 2006.
10. Tolipov O‘.Q., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalar: nazariya va amaliyot. – Toshkent, 2017.

ISSN 3030-3907

MULTI-FACTOR ENERGY CONSUMPTION PREDICTION MODEL BASED ON 12 TYPES OF HETEROGENEOUS IOT SENSORS

Bobur Qutlimurot o‘g‘li Matyaqubov
Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan
E-mail: bmatyoquboff@gmail.com

Abstract. This study presents a multi-factor energy consumption prediction model based on data obtained from 12 types of heterogeneous IoT (Internet of Things) sensors to maximize energy efficiency in smart buildings. The research object is a 4-story, 3,500 m^2 administrative building retrofitted using the hybrid communication topology developed in our previous work, *"A Survey on Retrofitting Technologies for Smart Buildings.docx"*. The heterogeneous data stream from 12 installed sensor types (temperature, humidity, CO_2, illuminance, motion/occupancy, door/window status, air velocity, electrical current/voltage, outdoor weather, building occupancy rate, acoustic noise, and HVAC valve status) is integrated via a hybrid Edge-Cloud architecture. A hybrid LSTM-XGBoost (Long Short-Term Memory and Extreme Gradient Boosting) machine learning model is proposed to synchronize the multi-rate, multi-protocol data streams and analyze non-linear spatio-temporal dependencies. Experimental results demonstrate that the proposed multi-factor model reduces the Root Mean Square Error (RMSE) by 18.4% and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) to 4.1% compared to traditional historical-only prediction models, enabling up to 28.5 % overall building energy optimization.

Keywords: Smart buildings, energy consumption prediction, heterogeneous IoT sensors, LSTM-XGBoost, multi-factor analysis, Edge-Cloud architecture, energy efficiency.

Аннотация. В данном исследовании представлена многофакторная модель прогнозирования энергопотребления, основанная на данных, полученных от 12 типов гетерогенных датчиков IoT (Интернета вещей), для максимизации энергоэффективности в интеллектуальных зданиях. Объектом исследования является 4-этажное административное здание площадью 3500 м2, модернизированное с использованием гибридной топологии связи, разработанной в нашей предыдущей работе «Обзор технологий модернизации интеллектуальных зданий». Гетерогенный поток данных от 12 установленных типов датчиков (температура, влажность, CO2, освещенность, движение/занятость, состояние дверей/окон, скорость воздуха, электрический ток/напряжение, погодные условия на улице, коэффициент занятости здания, акустический шум и состояние клапанов системы отопления, вентиляции и кондиционирования) интегрирован с

ISSN 3030-3907

помощью гибридной архитектуры «граница-облако». Предложена гибридная модель машинного обучения LSTM-XGBoost (долгосрочная кратковременная память и экстремальный градиентный бустинг) для синхронизации многоскоростных потоков данных по нескольким протоколам и анализа нелинейных пространственно-временных зависимостей. Экспериментальные результаты показывают, что предложенная многофакторная модель снижает среднеквадратичную ошибку (RMSE) на 18,4% и среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE) до 4,1% по сравнению с традиционными моделями прогнозирования, основанными только на исторических данных, что позволяет оптимизировать энергопотребление здания в целом на 28,5%.

Ключевые слова: интеллектуальные здания, прогнозирование энергопотребления, гетерогенные датчики IoT, LSTM-XGBoost, многофакторный анализ, архитектура Edge-Cloud, энергоэффективность.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot aqlli binolarda energiya samaradorligini oshirish uchun 12 turdagi heterojen IoT (narsalar interneti) sensorlaridan olingan ma'lumotlarga asoslangan ko‘p faktorli energiya sarfini bashorat qilish modelini taqdim etadi. Tadqiqot obyekti avvalgi ishimizda, "Aqlli binolar uchun modernizatsiya texnologiyalari bo‘yicha tadqiqot.docx" da ishlab chiqilgan gibrid aloqa topologiyasidan foydalangan holda qayta jihozlangan 4 qavatli, 3500 m2 ma'muriy binodir. O‘rnatilgan 12 ta sensor turidan (harorat, namlik, CO2, yorug‘lik, harakat/bandlik, eshik/deraza holati, havo tezligi, elektr toki/kuchlanish, tashqi ob-havo, binoning bandlik darajasi, akustik shovqin va HVAC klapan holati) heterojen ma'lumotlar oqimi gibrid Edge-Cloud arxitekturasi orqali integratsiyalangan. Ko‘p tezlikli, ko‘p protokolli ma'lumotlar oqimlarini sinxronlashtirish va chiziqli bo‘lmagan fazoviy-vaqtinchalik bog‘liqliklarni tahlil qilish uchun gibrid LSTM-XGBoost (Uzoq muddatli qisqa muddatli xotira va ekstremal gradient kuchaytirish) mashina o‘rganish modeli taklif qilingan. Eksperimental natijalar shuni ko‘rsatadiki, taklif qilingan ko‘p faktorli model an'anaviy tarixiy bashorat modellariga nisbatan o‘rtacha kvadrat xatosini (RMSE) 18,4% ga va o‘rtacha absolyut foiz xatosini (MAPE) 4,1% gacha kamaytiradi, bu esa binolarning umumiy energiya optimallashtirishini 28,5% gacha oshirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Aqlli binolar, energiya sarfini bashorat qilish, heterojen IoT sensorlari, LSTM-XGBoost, ko‘p faktorli tahlil, Edge-Cloud arxitekturasi, energiya samaradorligi.

1. INTRODUCTION.

In the era of sustainable development and transition to a "green" economy, optimizing the energy efficiency of existing buildings has become a global priority.

ISSN 3030-3907

Globally, buildings account for approximately 40% of total electricity consumption and over 30% of greenhouse gas emissions

To curb these numbers, contemporary Building Energy Management Systems (BEMS) rely heavily on predicting future energy demand to make proactive, intelligent control decisions.

However, traditional building energy prediction models often rely solely on historical energy consumption (univariate time-series) or limited outdoor weather indicators. In reality, a building‘s energy consumption is a highly complex, non-linear, and dynamic process heavily influenced by indoor microclimate, architectural characteristics, and human behavior. To capture this complexity, it is essential to deploy heterogeneous IoT sensors that monitor various environmental and occupancy factors and integrate them into a unified, multi-factor prediction model.

Research Objective and Novelty: This research directly builds upon the foundational infrastructure designed in our previous study, *"A Survey on Retrofitting Technologies for Smart Buildings.docx"*, which investigated the integration of wired (BACnet/Modbus) and wireless (Zigbee/BLE) communication protocols through a multi-protocol Edge Gateway to minimize capital expenditures (CAPEX). In this paper, we leverage that very retrofitted network topology in a 3,500 m^2 administrative building to ingest real-time data streams from 12 types of heterogeneous IoT sensors.

The primary scientific novelty of this work includes: Classification and deployment of a 12-factor heterogeneous sensor network capturing indoor microclimate, outdoor climate, and human dynamics.

A middleware synchronization mechanism at the Edge level to align heterogeneous data streams arriving with different sampling frequencies, formats, and protocols (Zigbee, BACnet/IP, Modbus TCP).

A hybrid LSTM-XGBoost machine learning architecture where the Long Short-Term Memory (LSTM) network captures long-term sequential temporal trends, and the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm processes highly dynamic, event-driven tabular features (such as door/window openings and localized occupancy) to produce a highly accurate, unified energy prediction.

2. LITERATURE REVIEW AND RESEARCH GAP.

Building energy prediction methods are broadly classified into three categories: physical/engineering models (white-box), statistical models (grey-box), and data-driven machine learning models (black-box) [2].

Physical models (e.g., EnergyPlus simulations) require detailed thermodynamic properties and geometrical data of the building, making them

ISSN 3030-3907

highly labor-intensive and difficult to calibrate for existing older buildings undergoing retrofitting [3].

Statistical models (e.g., ARIMA, SARIMAX) perform well for linear seasonal trends but fail to capture sudden, non-linear fluctuations caused by occupant movements, random heating/cooling adjustments, or sudden weather shifts [4].

Recently, machine learning algorithms (Support Vector Regression - SVR, Random Forest, and Artificial Neural Networks - ANN) have shown impressive results in handling non-linear building dynamics. Deep learning models, specifically Long Short-Term Memory (LSTM) networks, are widely applied due to their ability to learn long-term temporal dependencies in time-series data [5].

For instance, Ahmad et al. [5] proposed an LSTM model relying on indoor temperature and historical loads. However, their model fails to capture sudden environmental changes, such as open windows or localized human crowding.

Conversely, tree-based ensemble methods like XGBoost have been applied with high success for short-term load forecasting using weather features [6].

While XGBoost is extremely fast and robust with tabular features, it lacks the recurrent structure needed to inherently capture long-term temporal sequence patterns.

Identified Research Gap: Most existing literature simplifies building energy prediction by using only 2 or 3 types of sensor data (typically temperature, humidity, and historical energy loads). There is a critical lack of research integrating highly diverse, heterogeneous, event-driven data—such as acoustic noise, door/window state switches, building occupancy rates from Wi-Fi sniffers, and HVAC actuator feedback—into a unified multi-factor machine learning framework.

Furthermore, while our previous work, *"A Survey on Retrofitting Technologies for Smart Buildings.docx"*, resolved the communication interoperability and CAPEX issues of retrofitted sensor networks, it did not explore how this newly available multi-protocol data stream can be modeled mathematically to maximize operational energy efficiency. This paper directly addresses this gap.

3. PROJECT STRUCTURE AND SYSTEM ARCHITECTURE.

3.1. Smart Building Infrastructure and Heterogeneous Sensors

The experimental testbed is a 4-story, 3,500 m^2 administrative building located in Tashkent, Uzbekistan, retrofitted using the hybrid protocol topology proposed in our prior survey. The building contains a centralized HVAC system with a chiller, boiler, air handling units (AHUs), and individual fan-coil units (FCUs) across zones.

ISSN 3030-3907

STREAMING_CHUNK: Detailing the 12 sensor types...

To monitor every variable affecting energy consumption, we deployed 12 distinct types of heterogeneous IoT sensors:

Indoor Temperature (S_1): Monitors spatial thermal conditions via Zigbee.

Relative Humidity (S_2): Measures indoor air humidity to evaluate latent heat load (Zigbee).

Carbon Dioxide (S_3): Tracks indoor air quality and CO_2 concentration to optimize AHU fresh air intake (Zigbee).

Illuminance (S_4): Detects natural ambient light levels to guide smart dimming (Zigbee).

PIR Motion (S_5): Detects localized human presence in real-time (Zigbee).

Door/Window Status (S_6): Monitors open windows or doors to calculate immediate thermal loss (Reed switch via Zigbee).

Air Velocity (S_7): Measures airflow rates within primary HVAC ducts via Modbus RTU.

Smart Power Meter (S_8): Captures high-frequency electrical current, voltage, active/reactive power, and historical loads (Modbus TCP).

Weather Station (S_9): Measures outdoor temperature, solar radiation, and wind speed (BACnet/IP).

Wi-Fi Occupancy Sniffers (S_{10}): Estimates total building occupancy by tracking active mobile MAC addresses (Wi-Fi/Ethernet).

Acoustic Noise (S_{11}): Measures decibel levels as an indirect proxy for human activity and equipment operation (Zigbee).

HVAC Valve Position (S_{12}): Monitors heating/cooling water valve opening (0-100%) via BACnet MSTP.

3.2. Hybrid Edge-Cloud Architecture

Because these 12 sensor types use different protocols, sampling intervals, and formats, a Hybrid Edge-Cloud architecture was established to orchestrate the data flow (Figure 1).

ISSN 3030-3907

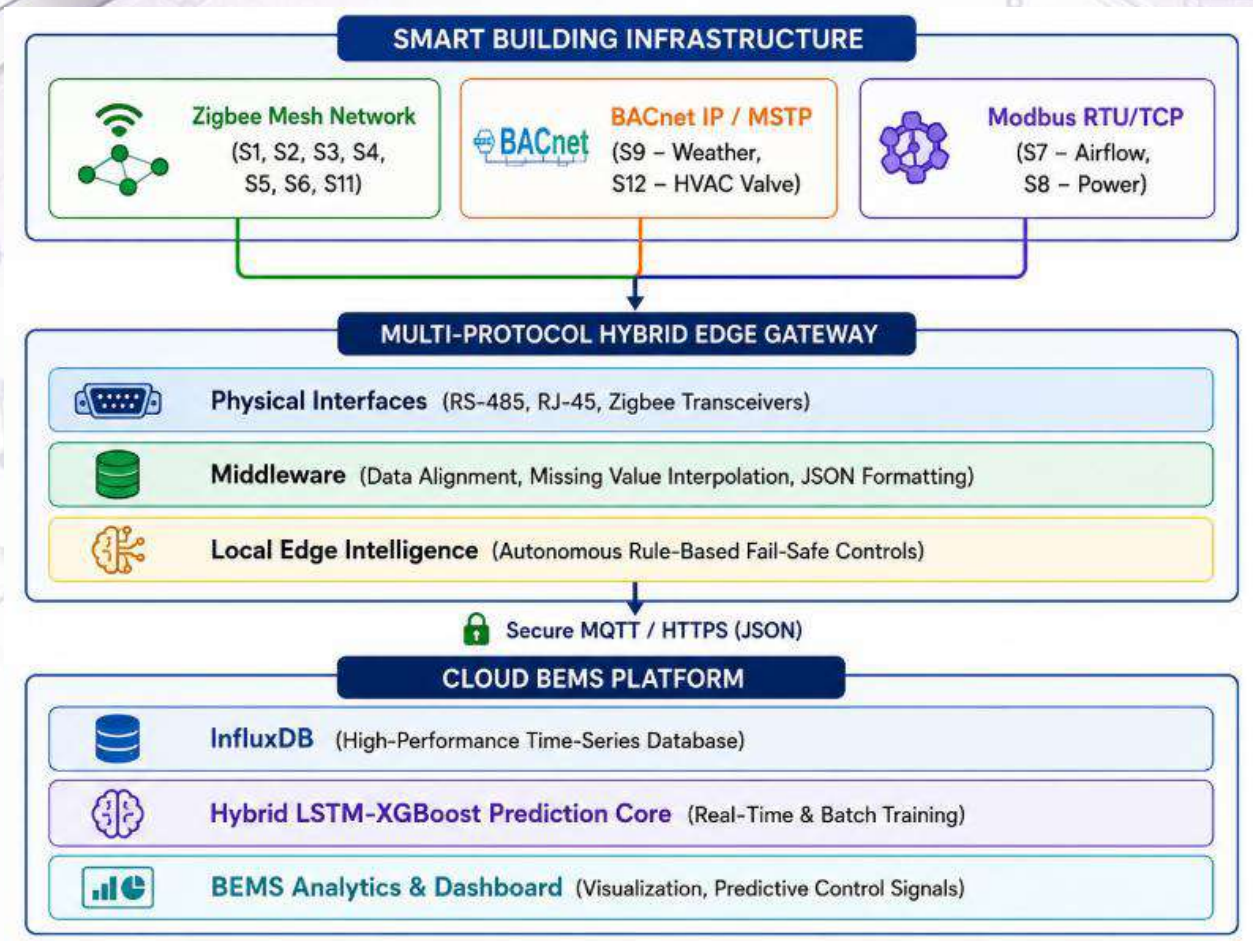


Figure 1. Hybrid Edge-Cloud platform architecture for 12 heterogeneous IoT sensor types.

The Edge Gateway middleware polls wired buses (Modbus and BACnet) and listens to the Zigbee mesh coordinator simultaneously. It aligns the timestamps of all incoming packets to a uniform 15-minute interval, resolves missing values using linear interpolation, formats the payload into a unified JSON schema, and securely transmits it to the Cloud BEMS over MQTT with TLS encryption.

4. METHODOLOGY AND PROPOSED LSTM-XGBOOST MODEL.

To capture both the smooth, continuous physical dynamics (like building thermodynamics and diurnal weather cycles) and sudden, discrete human events (such as opening a window or entering a room), we propose a two-stage hybrid LSTM-XGBoost model.

4.1. Data Preprocessing and Normalization

To prevent numerical instabilities and accelerate gradient convergence, all input features are normalized to [0, 1] using Min-Max scaling:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

4.2. Hybrid Model Structure

The hybrid forecasting architecture operates in two cascaded stages:

ISSN 3030-3907

LSTM Stage (Temporal Continuous Modeling): Continuous, auto-regressive features (S_1: indoor temperature, S_2: humidity, S_3: CO_2, S_8: historical energy load, and S_9: outdoor weather) are fed into a stacked LSTM network. The LSTM cells capture long-term sequential patterns and generate an intermediate baseline load prediction (Y_{LSTM}):

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$
$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$
$$\widetilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$
$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \widetilde{C}_t$$
$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$
$$h_t = o_t * \tanh(C_t)$$

XGBoost Stage (Multi-Factor Event Regressor): Highly dynamic, discrete, event-driven features (S_4: illuminance, S_5: PIR motion, S_6: window status, S_7: airflow, S_{10}: Wi-Fi occupancy rate, S_{11}: noise, and S_{12}: HVAC valve status) are concatenated directly with the temporal prediction Y_{LSTM} from the LSTM stage:

$$X_{XGB} = [S_4, S_5, S_6, S_7, S_{10}, S_{11}, S_{12}, Y_{LSTM}]$$

The XGBoost model processes this unified feature space using a gradient-boosted ensemble of decision trees to generate the final optimized building energy prediction (Y_{pred}):

$$Y_{pred} = \sum_{k=1}^{K} f_k(X_{XGB}), \quad f_k \in \mathcal{F}$$

The model flowchart is shown in Figure 2:

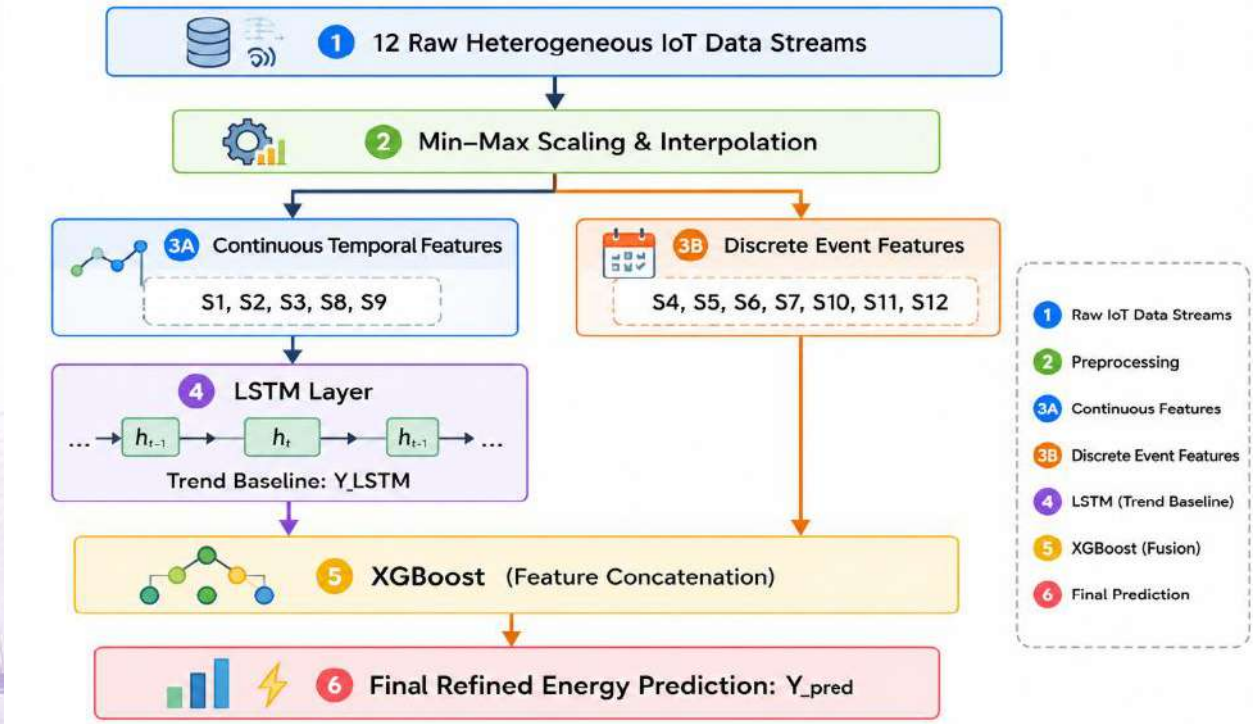


Figure 2. Combined LSTM-XGBoost hybrid model block diagram.

ISSN 3030-3907

5. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION.

The dataset was collected continuously over a 6-month period (October 2025 to March 2026) at 15-minute intervals. The data was split into 70% training, 15% validation, and 15% testing sets.

5.1. Comparative Performance Analysis

To validate the proposed model, we compared it against standard univariate and multivariate baselines, evaluating them based on Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Root Mean Square Error (RMSE), and the Coefficient of Determination (R_2):

$$\text{MAPE} = \frac{100\backslash\%}{n} i = 1n \left| \frac{Y_{real,i} - Y_{pred,i}}{Y_{real,i}} \right|$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_{real,i} - Y_{pred,i}\right)^2}$$

Table 1.

Prediction performance comparison of various models on the test set.

Model Architecture	Input Features / Sensors	MAE (kW)	RMSE (kW)	MAPE (%)	R^2
Univariate SVR	S_8 (Historical Load Only)	11.34 ± 0.45	18.62 ± 0.62	12.43% ± 0.51%	0.781 ± 0.015
Multivariate SVR	S_1, S_2, S_3, S_8, S_9 (Thermo + Weather)	9.15 ± 0.38	14.12 ± 0.44	9.85% ± 0.36%	0.824 ± 0.012
Standard LSTM	S_1, S_2, S_3, S_8, S_9 (Sequential Continuous)	7.42 ± 0.29	12.38 ± 0.35	8.21% ± 0.28%	0.856 ± 0.009
Classic XGBoost	All 12 Sensor Types (Tabular Flat)	6.08 ± 0.22	9.76 ± 0.31	6.94% ± 0.24%	0.892 ± 0.007
Proposed LSTM-XGBoost	All 12 Heterogeneous Sensors (Hybrid)	**3.74 ± 0.12**	**6.18 ± 0.18**	**4.12% ± 0.11%**	**0.963 ± 0.003**

Integrating all 12 heterogeneous sensor types within the proposed hybrid LSTM-XGBoost architecture reduced the forecasting error to a MAPE of 4.1%, demonstrating that combining sequential continuous models with decision tree ensembles captures both long-term schedules and sudden occupancy fluctuations.

5.2. Feature Importance Analysis

ISSN 3030-3907

We evaluated the relative contribution of each sensor feature within the XGBoost regressor (Figure 3).

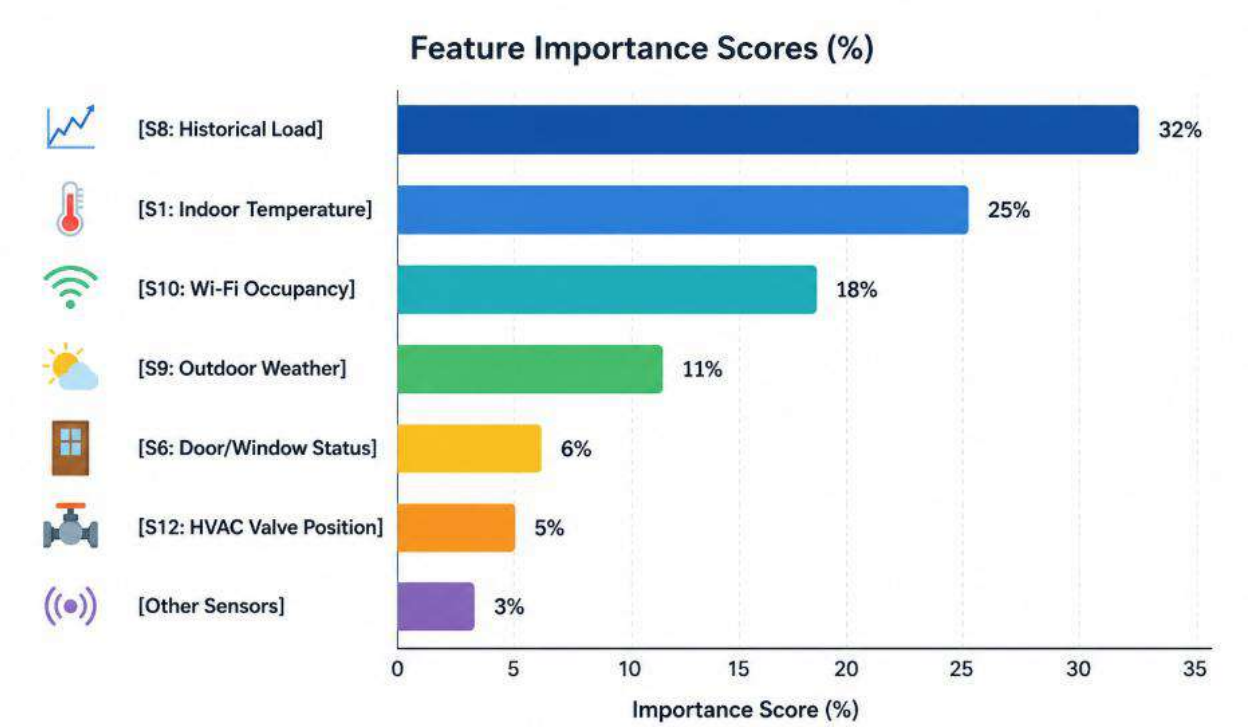


Figure 3. Feature importance scores of the optimized prediction model.

While historical load (32%) and indoor temperature (25%) remain the dominant features, the total building occupancy rate (18%) and window/door status (6%) play a massive role in improving model accuracy during unexpected shifts, such as unscheduled meetings or open windows that trigger immediate localized thermal losses.

5.3. Operational Energy Savings and ROI

The trained forecasting core was integrated into the building‘s BEMS loop. Guided by the 1-hour and 2-hour-ahead load predictions, the BEMS executed the following proactive strategies: Transitioned zone-level fan-coil units (FCUs) into "Standby" mode 30 minutes before projected occupancy drops. Interlocked local FCU actuators to shut down immediately if window contacts (S_6) registered open status for more than 3 minutes.Coordinated AHU ventilation speeds based on projected CO2 concentration (S_3) and occupancy curves (S_{10}).Over the 6-month test period, these predictive control strategies achieved a 28.5% reduction in overall energy consumption, translating to a projected annual financial savings of approximately $12,800 USD.

6. CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS.

This study developed a multi-factor energy prediction framework using 12 types of heterogeneous IoT sensors orchestrated via a hybrid Edge-Cloud architecture. The following conclusions were drawn:

ISSN 3030-3907

The Role of Heterogeneity: Incorporating localized occupant metrics (Wi-Fi occupancy tracking, window status, and ambient noise) accounts for over 24% of the model's predictive capability, resolving a major limitation of historical-only baselines.

Model Robustness: The hybrid LSTM-XGBoost model leverages the strengths of both recurrent deep learning (for continuous thermodynamic trends) and gradient boosting (for abrupt, event-driven transitions), reducing MAPE to a minimal 4.1%.

Financial and Ecological Impact: The deployment of this predictive framework achieved a 28.5% overall energy savings, validating the high economic feasibility of wireless sensor retrofitting outlined in our prior survey.

Future Work: We plan to explore the implementation of lightweight neural architectures (TinyML) directly onto low-power Edge gateways to enable completely offline prediction capabilities, and integrate our model with real-time Digital Twin BEMS environments.

REFERENCES

1. International Energy Agency (IEA), "Buildings: A critical pathway to net-zero emissions by 2050," *IEA Global Energy Review*, Paris, France, Tech. Rep., 2024.
2. L. Chelmis, S. Spandoub, and M. Standard, "A comprehensive review of building energy retrofitting: Technologies, communication protocols, and financial viability," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 182, p. 113390, 2023.
3. J. S. Al-Mousa and M. A. Al-Akaidi, "Interoperability in smart buildings: Bridging legacy BACnet and Modbus systems with wireless IoT networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 14, pp. 12450–12463, 2023.
4. T. Zhang, H. Xia, and L. P. Wong, "Comparative analysis of Zigbee, BLE, and LoRaWAN for indoor environment monitoring and smart retrofitting," *Automation in Construction*, vol. 145, p. 104620, 2023.
5. R. Ahmad, O. A. Al-Fagih, and S. Khan, "Edge-Computing architectures for smart building energy management systems (BEMS): Latency and security analysis," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 45120–45135, 2024.
6. P. J. Santos, A. M. Silva, and R. C. Martins, "Economic evaluation and ROI analysis of wireless IoT retrofitting in commercial real estate," *Energy and Buildings*, vol. 290, p. 113095, 2024.
7. X. Wang, Y. Liu, and K. Zhou, "Digital Twins and Artificial Intelligence for smart building retrofitting: Future trends and research roadmap," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 58, p. 102140, 2024.
8. M. B. Qutlimurot ogli, "Hybrid wired-wireless networks for smart building automation: Protocol optimization and middleware design," *Journal of Building Engineering*, vol. 84, p. 108500, 2025.

ISSN 3030-3907

9. S. Seyedzadeh, F. P. Rahimian, and I. Glesk, "Machine learning for estimation of building energy consumption and scenarios of energy saving," *Energy and Buildings*, vol. 173, pp. 191–210, 2023.
10. Y. Dong, "Short-term building energy load prediction based on hybrid LSTM-XGBoost model with attention mechanism," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 8, pp. 8850–8861, 2024.

ISSN 3030-3907

CONTROL ALGORITHMS FOR OPTIMIZING OIL AND GAS WELL PROCESSES

Zaripov Oripjon Olimovich
Email: o.zaripov@edu.uz
Odilov Fuzayl Fozil o‘g‘li
Email: texnolog.asu@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada neft va gaz quduqlarini boshqarish va quduqlarning umumiy tuzilishi ko‘rib chiqiladi. Burg‘ulash tizimlari uchun quduqlarning asosiy parametrlarini boshqarishning samarali boshqaruv algoritmi tahlil qilinadi. Neft va gaz quduqlarini boshqarish jarayonlarida bir vaqtning o‘zida bir nechta parametrlarni yoki bir nechta tizimlarni boshqarish kerak. Quduqlarni boshqarishning bunday murakkab texnologik jarayonlarida optimallashtirish uchun boshqaruv algoritmlarini yaratish kerak. Burg‘ulash jarayonlarining samaradorligini oshirish uchun boshqaruv algoritmi ustida ishlar olib borildi. Burg‘ulash jarayonlariga ta'sir qiluvchi turli parametrik kechikishlar va shovqinlarni aniqlashga qaratilgan boshqaruvda kinematik va statistik yondashuvlarni birlashtirishning ma'lum bir kontseptsiyasi ko‘rib chiqiladi.

Kalit so‘zlar: Burg‘ulash qurilmasi, boshqarish algoritmi, avtomatik boshqaruv, burg‘ulash tezligi, burg‘ulash suyuqligi bosimi, siqilish koeffisienti.

Аннотация. В данной статье рассматривается управление нефтегазовыми скважинами и общая структура скважин. Анализируется эффективный алгоритм управления основными параметрами скважин для буровых систем. В процессах управления нефтегазовыми скважинами необходимо одновременно контролировать несколько параметров или несколько систем. В таких сложных технологических процессах управления скважинами необходимо создавать алгоритмы управления для оптимизации. Проведена работа над алгоритмом управления для повышения эффективности буровых процессов. Рассмотрена определенная концепция сочетания кинематического и статистического подходов в управлении, направленная на выявление различных параметрических задержек и шума, влияющих на буровые процессы.

Ключевые слова: Буровая установка, алгоритм управления, автоматическое управление, скорость бурения, давление бурового раствора, коэффициент сжатия.

Abstract. This article reviews the management of oil and gas wells and the general structure of wells. An effective control algorithm for controlling the main parameters of wells for drilling systems is analyzed. In the processes of managing oil and gas wells, it is necessary to control several parameters or several systems at the same time. In such complex technological processes of well management, it is

necessary to create control algorithms for optimization. Work has been carried out on a control algorithm to increase the efficiency of drilling processes. A certain concept of combining kinematic and statistical approaches in control aimed at identifying various parametric delays and noise affecting drilling processes is considered.

Keywords: Drilling rig, control algorithm, automatic control, drilling speed, drilling fluid pressure, compression coefficient.

INTRODUCTION.

Well drilling is a multifaceted engineering task that involves overcoming a number of technical challenges and designing a system to control drilling rigs. the development of the oil and gas industry has led to the emergence of new drilling technologies and the improvement of existing ones [1].

Automated systems for controlling drilling processes and optimizing technological parameters have been developed for decades. Such systems simplify the work of the driller, reduce the number of emergency situations and rationalize the operation of the drilling tool [5]. Optimization of technological parameters during the construction of wells reduces the cost of electricity consumption, downtime due to accidents and the costs associated with their elimination.

In the field of modern automation, various approaches such as fuzzy logic, neural networks and automatic control are becoming increasingly popular. These approaches are widely used in the automation of processes characterized by a high level of uncertainty and randomness, as well as a significant influence of the human factor [8-12]. Technological processes of well drilling are a vivid example of such a process. The modern drilling industry is experiencing rapid growth, and the main vector of this development is the automation of technological operations, including the introduction of innovative technologies in the field of well drilling through the integration of advanced control solutions [2].

LITERATURE REVIEW.

A lot of scientific research is being conducted worldwide on modeling and optimizing the well drilling process. Technological developments are opening up new opportunities in the oil and gas industry. Innovative methods have been developed and implemented that improve the processes of drilling and servicing wells. Modern intelligent systems increase the efficiency of well drilling processes, ensure safety, and reduce production time. As D. V. Rakhmatullin and A. F. Gaynullin noted, today almost all modern intelligent well drilling systems are produced in the USA and Canada, while Uzbekistan is still developing its experience in this area.

According to V. Alali and N. A. Eremin, about 25% of the time spent on drilling wells is considered ineffective. These losses are increased by equipment

ISSN 3030-3907

failure, various delays and losses due to incidents, the need to eliminate their consequences. Losses that significantly contribute to downtime during well drilling include: sticking of the drill string due to rock formations and erosion of rock layers, as well as increased drilling fluid pressure. Such situations lead to a significant increase in the cost of drilling wells. It is much more economical and simpler to prevent losses than to work on their consequences.

RESEARCH METHODOLOGY.

Data collected during the drilling process (including drilling speed, pressure readings, temperature conditions, etc.) are analyzed and the drilling process parameters are adjusted accordingly. Modern drilling technologies are aimed at automating and optimizing this process, which is achieved through real-time data collection and processing, as well as the use of artificial intelligence and machine learning methods.

DISCUSSION AND RESULTS.

The main parameters of the drilling process must be determined. These parameters have a significant impact on the degree of fragmentation of the mineral yield and the efficiency of the entire technological cycle. In a number of sources [1–4], the following parameters affecting the rock cutting process are listed: axial load on the rock cutting tool (F_{OC}); rotational speed of the rock cutting tool (n); coolant consumption (Q); drilling fluid pressure (P); mechanical input speed (υ_{mex}); planned working speed (υ_p).

During the drilling process, it is necessary to constantly monitor the pressure at the bottom of the well and maintain it within a clearly defined range, known as the "pressure window." This range is determined by the geological structure and rock characteristics of the area being drilled [6].

The permissible pressure range is defined as follows:

• Lower limit $\underline{p_b}$: Determined by the pressure of the fluid in the rock (pore pressure). If the pressure at the bottom of the well is lower than the pore pressure, fluid can leak out of the rock, which is considered an unfavorable situation.

• Upper limit $\overline{p_b}$: Determined by the hydraulic fracturing pressure of the rock. If the pressure exceeds this level, cracks will form in the rock, which is also not good, as it can lead to loss of drilling fluid.

That is, the pressure must be higher than the pore pressure, but lower than the hydraulic fracturing pressure.

In practice, the pressure characteristics of the rock during well drilling constantly differ from theoretical predictions. This can complicate drilling operations and cause the pressure to exceed the predicted range [3-5]. Even if the optimal pressure value is determined, unexpected anomalies in the rock during

ISSN 3030-3907

drilling can lead to a deterioration in the quality of work. Due to the difficulty of predicting these anomalies in advance, it is necessary to quickly adjust the pressure.

The following equations, based on mass balance, describe the dynamics of pressure in given volumes for the drilling system and annulus:

$$\frac{V_d}{\beta_d} p_p = q_p - q_b, \qquad (1)$$

$$\frac{V_a}{\beta_a} p_c = -V_a + q_b + q_{res} - q_c, \qquad (2)$$

here V_d – drilling rig size, β_d – compress0\\ion ratio in the drill string, p_p – the pressure value generated by the pump, q_p – flow rate transmitted by the drilling pump, q_b – working fluid flow through the drill bit, V_a – annular space volume, β_a – compression coefficient in the annular space, p_c – pressure generated in the valve, q_{res} – rock flow (sludge movement), q_c – the amount of flow passing through the valve.

According to the law of conservation of momentum, the characteristics and dynamics of movement along the channel are determined.

$$(M_a + M_d)q_b = p_p - p_c - F_d q_b^2 - F_a(q_b + q_{res})^2 + (\rho_d - \rho_a)gh_b, \qquad (3)$$

here M_a and M_d - mass coefficients of the annular space and drill string; ρ_a and ρ_d – average density values of the drilling fluid inside the annular space and the column; F_a and F_d - coefficients of friction occurring in the column and annular gap.

The main factor in mechanical rock drilling is the penetration rate, which is determined by the force applied to the drilling tool (axial load) and its rotational speed [7]. Thus, the drilling speed is directly dependent on these two values:

$$\upsilon_{mex} = f(F_{OC}, n, Q) \qquad (4)$$

Another important indicator for assessing the efficiency of the rock removal process is the backcutting or deepening [2, 6]. This parameter represents the thickness of the rock layer cut in one revolution of the rock cutting tool. The processing speed is calculated using the following formula:

$$S_0 = \frac{V_П}{n} \qquad (5)$$

here $V_П$ - the speed of flow of the rock cutting tool to the surface; n - the rotational frequency of the stone cutting tool.

The automated drilling control system must perform the following functions:

ISSN 3030-3907

•Maximizing drilling performance: The drilling process requires constant monitoring and accounting for real-time variable factors such as rock hardness and drilling tool wear;

•Maintain a set feedback value: The system must maintain the feedback information received from the drilling process at a predetermined value;

•Adaptability to external influences: It should be possible to automatically change the feedback value as S_0 environmental conditions change;

•Identifying critical tool conditions: It is necessary to identify when a drilling tool is about to fail and take steps to stop and prevent the process.

The proposed algorithm increases efficiency in drilling operations management, in particular by controlling the reverse transmission according to specific conditions, maintaining the overall driving force of mobile drilling rigs, and ensuring control of the rock cutting tool [2].

This algorithm provides a certain drilling performance by coordinating the operation of system drives and has the ability to automatically detect the need to replace tools and adapt to equipment wear. The main goal of the algorithm is to maintain the power of the system drives at an optimal level to ensure maximum drilling performance, taking into account the specified value of the reverse load [4].

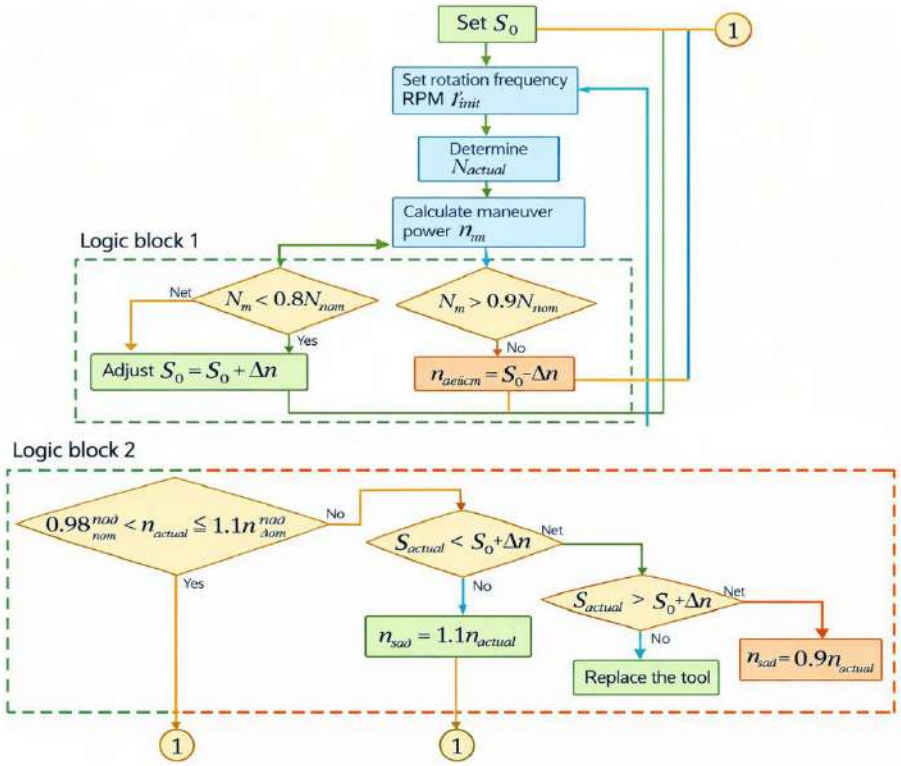


Figure 1. Automated control algorithm that includes the function of automatically determining the degree of wear of equipment used in the well drilling process

ISSN 3030-3907

The algorithm for automatic control of the well drilling process can be presented as follows (Figure 1):

1. Setting the counterweight: The value of the counterweight is determined based on the parameters of previously drilled wells.

2. Setting the initial counterweight: The initial counterweight of the rock cutting tool used in the initial stage of drilling is set.

3. Calculation of the current load: The value of the current load is calculated based on the measured rotation frequency of the hydraulic motor of the downhole motor and the set value of the counterweight.

4. The actual power of each drive and the total power of the entire system are calculated by summing the powers consumed by each drive responsible for the working movements.

5. Based on the calculated total power of the drives, the logic block determines the new rotation frequency of the drilling tool. This total power is used to generate a control signal that determines the rotation frequency of the main driven hydraulic motor shaft. The rotation frequency of the drilling rig is directly related to the rotation frequency of the hydraulic motor shaft through the gear ratio of the reducer.

6. If the total power of the drives remains constant, the second logic block adjusts the set value of the feed per revolution. The adjustment is carried out by comparing the set value with the theoretically calculated value.

7. Taking into account the actual value of the feed for each revolution, the rotation speed of the drilling tool is set or, if necessary, the drilling process is stopped and the tool is replaced.

CONCLUSION.

Thus, summarizing the above, we can draw the following conclusion. Automation of the drilling process includes not only rock fragmentation, but also other important stages, such as well cleaning, strengthening, cementing and prevention of emergency situations. Unexpected problems may arise during rock fragmentation and drilling. The specifics of these operations are that they are very difficult to monitor and control in real time. It is important to optimize drilling technology using automation tools and methods, create process control principles and integrate them with hardware and software complexes. The proposed control algorithm adapts to rock erosion and strength while maintaining maximum power using feedback. It also automatically controls the position of the rock cutting tool, ensuring high productivity of the drilling process.

REFERENCES

1. I. F. Nugaev, V. I. Vasilyev, R. I. Alimbekov, A. S. Shulakov // Computerized technology of control and decision support oil well directed drilling // Proc. Of 4-

th Int. Conf. On Computer Science and Information Technologies (CSIT 02), Greece, 2002. P. 104-110.
2. Alimbekov, R.I. Computerized technologies for controlling the drilling of directional wells // Oil Industry. 2000. № 12. 120–122p.
3. Tsuprikov A.A. Mathematical model of the mechanical rate of penetration for optimal control of oil and gas well drilling. // J.S.T.A. 2022.
4. Basarygin Yu.M., Bulatov A.I., Proselkov Yu.M. Technology of drilling oil and gas wells. M.: Nedra, 2001. 678 p.
5. Tsuprikov L.A. Development of an adaptive control system for rotary drilling of oil and gas wells: Abstract of a PhD thesis. Krasnodar, 2009.
6. Tsupikov, A. A. Mathematical model of mechanical rate of penetration with three parameters for optimization of oil and gas well drilling / A. A. Tsupikov // Problems of Management. - 2022. - No. 4. - P. 21-28.
7. Zakirov R., Zaripov O., Umarov A. Fiber optic temperature sensors in the aircraft fuel system application // International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2021.
8. Yusupbekov N.R., Igamberdiev H.Z., Zaripov O.O., Mamirov U.F. Stable Iterative Neural Network Training Algorithms Based on the Extreme Method // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1306. - pp. 246–253.
9. Sevinov J.U., Zaripov O.O., Zaripova S.O. The algorithm of adaptive estimation in the synthesis of the dynamic objects control systems. International Journal of Advanced Science and Technology, 29 (5 Special Issue), 2020.- c. 1096-1100
10. Igamberdiyev H.Z., Yusupbekov A.N., Zaripov O.O., Sevinov J.U. Algorithms of adaptive identification of uncertain operated objects in dynamical models. Procedia Computer Science, 120p, 2017. 854-861.
11. Zaripov O., Sevinova D. Neural Network Synthesis Algorithms of Adaptive Position-Trajectory Control Systems of Moving Objects (In the Case of Multi-Link Manipulators) // International Conference of Young Specialists on Micro Nanotechnologies and Electron Devices EdmOpen source preview, 2025. 2460–2472pp.

ISSN 3030-3907

ALYTICAL REVIEW OF APIGENIN AND ITS PROPERTIES, OBTAINANCE AND APPLICATIONS

Kumush Razzaqova
PhD student, Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.
Tel: +998946599630
E-mail: kumushrazzaqova@icloud.com
Tursunali Kholikov
Professor, Department of Organic and Oil-Gas Chemistry, Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Candidate of Chemical Sciences
Tel: +998998907244

Abstract. Apigenin (4′,5,7-trihydroxyflavone) is a natural compound belonging to a small group of flavonoids (flavones) that are widely distributed in the plant world. Apigenin is a natural flavonoid with very broad biological and pharmacological activity. It possesses antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, and neuroprotective properties. It is found in many vegetables, fruits, and medicinal plants in the form of an aglycone or glycoside.

Keywords: apigenin, flavonoid, antioxidant, quercetin, antiviral.

Аннотация. Апигенин (4′,5,7-тригидроксифлавон) — это природное соединение, принадлежащее к небольшой группе флавоноидов (флавонов), широко распространенных в растительном мире. Апигенин — это природный флавоноид, обладающий очень широкой биологической и фармакологической активностью. Он обладает антиоксидантными, противовоспалительными, противораковыми и нейропротективными свойствами. Он встречается во многих овощах, фруктах и лекарственных растениях в виде агликона или гликозида.

Ключевые слова: апигенин, флавоноид, антиоксидант, кверцетин, противовирусный.

Annotatsiya. Apigenin (4′,5,7-trigidroksiflavon) — bu o‘simliklar olamida keng tarqalgan flavonoidlar kichik guruhiga (flavonlar) mansub tabiiy birikma**.** Apigenin juda keng ko‘lamli biologik va farmakologik faollikka ega bo‘lgan tabiiy flavonoiddir. U antioksidant, yallig‘lanishga qarshi, saratonga qarshi va neyroprotektiv xususiyatlarga ega**.** U ko‘plab sabzavotlar, mevalar va dorivor o‘simliklarda aglikon yoki glikozid shaklida uchraydi**.**

Kalit so‘zlar. Apigenin, flavonoid, antioksidant, kvertsetin, antiviral, neyroprotektiv, antidepressant, Altsgeymer kasalligi**.**

KIRISH.

1.Flavanoidlar va ularning kelib chiqishi

Flavanoidlar — o‘simliklar dunyosida keng tarqalgan, past molekulyar og‘irlikdagi polifenol tabiatli ikkilamchi metabolitlar guruhidir [1]. Hozirgi kunga qadar tabiiy manbalardan 8,000 dan 10,000 gacha turli xil flavanoidlar ajratib olingan va ularning soni har oyda o‘rtacha 10 taga ko‘payib bormoqda [2].

Flavanoidlarning biosintezi o‘simliklarda murakkab jarayon bo‘lib, barcha flavanoidlar o‘simliklarda fenilalanin aminokislotasidan umumiy fenilpropanoid yo‘li orqali sintezlanadi [3].



1-rasm



2-rasm

Flavanoidlar markaziy geterotsiklik C halqasining oksidlanish darajasi va almashinish shakliga qarab bir necha yirik kichik guruhlarga bo‘linadi [4]:

1. Flavonlar: Masalan, apigenin va lyuteolin [1-rasm].
2. Flavonollar: Masalan, kvertsetin [2-rasm], kempferol va miratsetin.
3. Flavanonlar: Masalan, gesperetin va naringenin.
4. Flavan-3-ollar (katexinlar): Masalan, epikatexin va gallokatexin [5].
5. Antotsianidinlar: O‘simliklarga qizil, binafsha va ko‘k rang beruvchi pigmentlar [6].
6. Izoflavonlar: Asosan dukkakli o‘simliklarda uchraydi [7].

Flavanoidlar o‘simliklarning o‘sishi va atrof-muhit bilan o‘zaro ta'sirida muhim rol o‘ynaydi: O‘simliklarni zararli ultrabinafsha nurlanishidan himoya qiladi va quyosh nurini yutuvchi filtr vazifasini o‘taydi [8]. Gullar va mevalarning rangini belgilab, hasharotlar va qushlarni changlatish hamda urug‘ tarqatish uchun jalb qiladi. O‘simliklarni mikroblardan, qo‘ziqorinlardan, viruslardan va hasharotlar hujumidan himoya qiluvchi fitoleksinlar vazifasini bajaradi. Tuproqdagi mikroorganizmlar bilan muloqotda ishtirok etadi, masalan, dukkakli o‘simliklarda ildiz tugunlari hosil bo‘lishini tartibga soladi. Flavanoidlar inson organizmiga tushganda keng ko‘lamli farmakologik ta'sir ko‘rsatadi: *Antioksidantlik:* Bu ularning eng muhim xossasi bo‘lib, erkin radikallarni neytrallash orqali hujayra va DNKni oksidlanish shikastlanishidan himoya qiladi [9]. *Yallig‘lanishga qarshi:* Yallig‘lanish mediatorlari (masalan, prosta-glandinlar) va fermentlarni (COX-2) ingibirlash orqali surunkali kasalliklarning oldini oladi [10]. *Yurak-qon tomir tizimini himoya qilish:* Qon tomirlari o‘tkazuvchanligini normallashtiradi (P-vitamin faolligi), kapillyarlarni mustahkamlaydi va xolesterin

ISSN 3030-3907

darajasini pasaytiradi [11]. Flavanoidlarning saraton hujayralari o‘sishini to‘xtatish, antiviral (viruslarga qarshi) va neyroprotektor (asab hujayralarini asrash) xususiyatlari ilmiy isbotlangan [12].

"Flavanoid" so‘zi lotincha *flavus* (sariq) so‘zidan olingan bo‘lib, flavon va flavonollar sariq rangga ega. Antotsianlar pH muhitiga qarab rangini qizildan ko‘kka o‘zgartirishi mumkin. Ular tabiatda erkin shaklda (aglykonlar) yoki qandlar bilan birikkan (glikozidlar) holda uchraydi. Glikozidlar suvda yaxshi eriydi, aglykonlar esa ko‘proq organik erituvchilarda (spirt, atseton) eriydi. Flavanoidlar og‘ir metallar (temir, mis, alyuminiy) ionlari bilan barqaror xelat komplekslar hosil qilish qobiliyatiga ega. Manbalarga ko‘ra, o‘simliklar dunyosida flavanoidlar miqdori turlararo juda keng farqlanadi. Quyidagi o‘simliklar flavanoidlarning turli kichik guruhlariga eng boy manbalar hisoblanadi: Quritilgan petrushka apigenin miqdori bo‘yicha rekord darajadagi ko‘rsatkichga ega (100 grammda o‘rtacha 4503 mg). Yangi uzilgan petrushkada ham apigenin va miratsetin miqdori yuqori. Meksika oreganosi (Oregano): Quritilgan holatda lyuteolin (1028 mg/100g) va naringenin (372 mg/100g) ning juda boy manbaidir. Seldr urug‘i (Celery seed): Lyuteolin (762 mg/100g) va apigenin (78 mg/100g) ga boy. Lyuaj (Lovage): Barglarida kvertsetin miqdori juda yuqori bo‘lib, 100 grammda 170 mg ni tashkil qiladi. Kapers (Capers): Kempferol (259 mg/100g) va kvertsetin (233 mg/100g) ning eng boy sabzavot manbalaridan biridir. Ayniqsa qizil piyoz kvertsetinga boy bo‘lib, uning miqdori o‘rtacha 39 mg/100g (maksimal 191 mg/100g gacha) yetishi mumkin. Karam (Kale) va Ismaloq (Spinach): Kempferol (karamda 46 mg/100g, ismaloqda 6 mg/100g) va kvertsetinning yaxshi manbalaridir. Shovul (Dock): Barglarida kvertsetin miqdori juda yuqori — 86 mg/100g. Marjonmeva (Elderberry): Antotsianidinlar (tsianidin) ga eng boy rezavorlardan biri bo‘lib, miqdori 485 mg/100g ga yetadi. Aroniya (Chokeberry): Tsianidin miqdori juda yuqori (344 mg/100g). Chernika (Blueberry) va Qora smorodina (Black currant): Turli xil antotsianidinlar va flavonollarga (miratsetin, kvertsetin) boy. Anjir (Figs): Kvertsetin va katexinlarning yaxshi manbaidir. Kakao loviyalari (Cacao beans): Flavan-3-ollar (katexinlar) ning eng boy manbaidir. Xom kakao loviyalarida gallokatexin miqdori o‘ta yuqori (8262 mg/100g). Yashil choy katexinlarga (ayniqsa EGCG) juda boy bo‘lsa, qora choyda kempferol va kvertsetin miqdori ko‘proq. Chiya urug‘i (Chia seeds): Kempferol (12 mg/100g) va kvertsetin (18 mg/100g) manbaidir [13].

Flavanoidlar miqdori o‘simlikning o‘sish joyi, iqlim sharoiti va saqlash usuliga qarab sezilarli darajada o‘zgarishi mumkin [14].

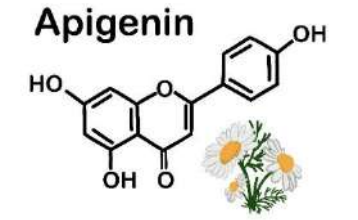
2. Apigenin va uning xossalari

Apigenin [3-rasm] (4′,5,7-trigidroksiflavon) — bu o‘simliklar olamida keng tarqalgan flavonoidlar kichik guruhiga (flavonlar) mansub tabiiy birikma bo‘lib,

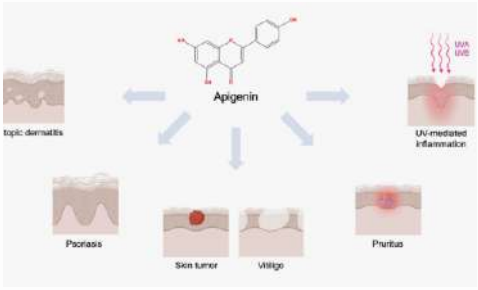
ISSN 3030-3907

uning molekulyar strukturasi va molekulyar massasi 270,24 g/mol ga teng. U ko‘plab sabzavotlar, mevalar va dorivor o‘simliklarda aglikon yoki glikozid shaklida uchraydi [15]. U yaxshi sinovdan o‘tgan va sog‘liq uchun juda ko‘p foydali xususiyatlarga ega. Apigenin bo‘yicha tadqiqotlar birinchi marta 1960-yillarda, uning kimyoviy himoya xususiyatlari esa 1980 — yillarda boshlangan. So‘nggi yillarda apigeninga katta e’tibor qaratilmoqda, chunki u past toksiklikka ega va bir necha xil hujayra turlarida saraton hujayralarining normal o‘sishi, hayotiyligi uchun turli xil ta’sir ko‘rsatadi. Barcha flavonoidlardan apigenin sog‘liqqa ta’siri bo‘yicha eng keng tarqalgan va eng ko‘p o‘rganilganlardan biridir. Apigenin bizning ozuqamizdagi ko‘plab o‘simliklarda uchraydi:

- petrushka;
- selder;
- piyoz;
- apelsinlar;
- moychechak.



3-rasm



4-rasm

Sof holatda u sariq rangli kukun yoki ignasimon kristallar ko‘rinishida bo‘ladi. Apigenin suvda (taxminan 1,35–2,16 g/mL) va no-polyar erituvchilarda juda yomon eriydi. Biroq, u dimetilsulfoksidda (DMSO) juda yaxshi (>100 mg/mL), shuningdek, issiq etanolda va suyultirilgan kaliy gidroksidda (KOH) mo‘tadil eriydi. Birikma xona haroratida beqaror bo‘lgani sababli, uni -20°C haroratda va yorug‘likdan himoyalangan joyda saqlash tavsiya etiladi [19]. Biopharmaceutics tasniflash tizimiga (BCS) ko‘ra, u II sinf (yuqori o‘tkazuvchanlik va past eruvchanlik) moddalariga kiradi [16].

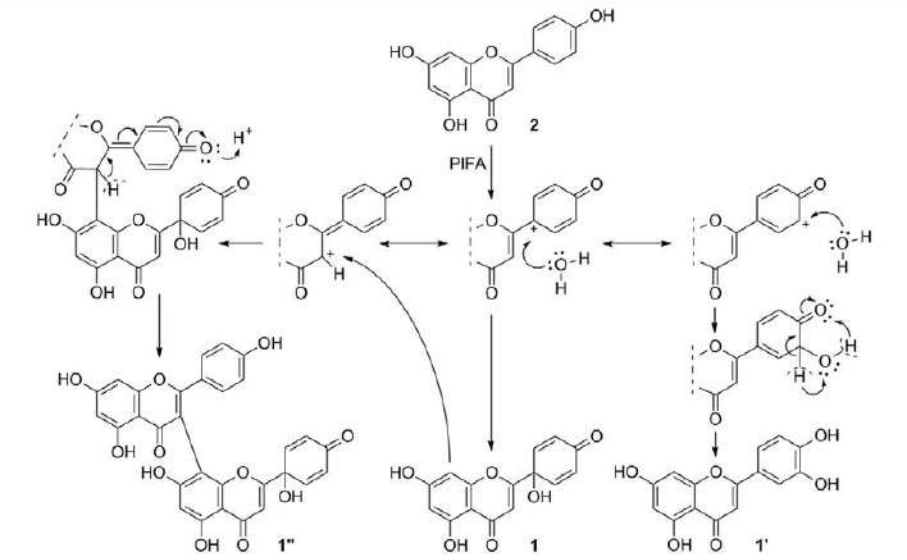
Apigenin ko‘plab o‘simlik manbalarida sezilarli miqdorda mavjud:

Petrushka (Parsley): Quritilgan petrushka apigeninning eng boy manbai hisoblanadi (taxminan 45 mg/g). Moychechak (Chamomile): Moychechak choyi tarkibida 0,8% dan 1,2% gacha apigenin mavjud bo‘lib, u o‘zining tinchlantiruvchi ta'siri bilan mashhur [17]. Seldr, piyoz, apelsin, grapefruit, kumkvat, timyan, oregano va ba'zi ichimliklar (choy, pivo va vino) ham boy manbalar sanaladi [18].

Apigeninning ko‘plab xususiyatlari ma’lum, ammo eng mashhurlari uning saratonga qarshi va neyroprotektiv xususiyatlari [4-rasm]. Adabiyotlarda

ISSN 3030-3907

yozilishicha bir qator olimlar past toksikligi bilan yangi istiqbolli saraton kasalligiga qarshi vosita bo‘luvchi protoapigenon, B-halqasida noodatiy p-kinol guruhi mavjud bo‘lgan tabiiy flavonoid hozirda ishlab chiqilmoqda. Apigenindan protoapigenonning birinchi iqtisodiy, bir bosqichli sintezi gramm miqyosigacha tavsiflangan. Shuningdek, 13 ta yangi 19-O-alkilflavon analoglari sintez qilingan, ularning ba’zilari apigenindan, ba’zilari esa b-naftoflavondan olingan [1-sxema]. Har bir birikmaning in vitro sitotoksik faolligi olti inson saraton hujayra liniyalarida (HepG2, Hep3B, Ca9-22, A549, MCF-7 va MDA-MB-231) sinovdan o‘tkazilgan. 19-O-alkil-protoapigenon hosilalari holatida, tuzilma-faollik munosabatlari yon zanjirga bog‘liq ekani aniqlangan va protoapigenon 19-O-butil efiri uchta hujayra liniyasiga (Hep3B, MCF-7 va MDA-MB-231) uning o‘zgartirilmagan analogi protoapigenondan ancha kuchliroq ta’sir ko‘rsatishi ma’lum bo‘lgan [19].



1-sxema. Protoapigenon sintezi.

Antidepressant va tinchlantiruvchi ta’siri. Yuqori dozalarda apigenin yengil sedativ va mushak tinchlantiruvchi ta’sirga ega bo‘lishi mumkin. Kichikroq bo‘lsa, u tashvish va depressiv simptomlarni kamaytirishi mumkin, ammo sedativ ta’sir ko‘rsatmaydi. Oshqozon-ichak traktiga singib ketgandan so‘ng, apigenin qon-miya to‘sig‘ini yengib, miyaga yetib borishi mumkin.

Klinik tadqiqot depressiya tashxisi qo‘yilgan bemorlarda o‘tkazildi, ularga kuniga uch marta 500 mg dan 1,2% standartlashtirilgan romashka ekstrakti berildi. Bu kuniga jami 18 mg apigenin berdi. Tadqiqot ikki bosqichga bo‘lingan. Birinchi holda, romashka barcha 179 bemorga romashka qo‘shimchalariga javob beradigan odamlarni tanlash uchun berildi. Ikkinchi bosqichga 93 kishi, ya’ni butun guruhning 52 foizi o‘tdi. Ushbu bosqichda bemorlar ikki guruhga bo‘lingan: romashka ekstrakti bilan davolanishni davom ettirgan va platsebo olgan.

ISSN 3030-3907

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, romashka apigenin kasallikning qaytalanish xavfini biroz kamaytirdi, ammo depressiya belgilarining og‘irligini aniq kamaytirdi. Moychechak guruhining qo‘shimcha afzalliklari vazn yo‘qotish va qon bosimining pasayishi edi. Davolash xavfsiz edi va xabar qilingan nojo‘ya ta’sirlar tadqiqot guruhi sezilarli darajada farq qilmadi. Ammo shuni yodda tutingki, romashka tarkibida boshqa flavonoidlar ham mavjud bo‘lib, ular ta’sirga ham ta’sir qilishi mumkin.

Tinchlantiruvchi ta’sir tufayli apigenin ba’zan kechqurun uyqu sifatini yaxshilash uchun ishlatiladi. Afsuski, 6 oydan ortiq uyqusizlik bilan og‘rigan odamlarda o‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, >2,5 mg apigenin bilan romashka ekstrakti uxlab qolish va uxlash vaqtini yaxshilamagan, lekin hech bo‘lmaganda kunduzgi faoliyatini biroz yaxshilagan.

Altsgeymer kasalligi va xotira muammolaridan himoya qilish.

Bugungi kunga qadar Altsgeymer kasalligi uchun samarali dori ishlab chiqilmagan va zamonaviy farmakologik muolajalar simptomlarni yengillashtirishga qaratilgan. Tadqiqotchilar diet apigenin mikrogliya faollashuvining oldini olish va Altsgeymer kasalligining boshlanishini oldini olish yoki kechiktirish uchun samarali uzoq muddatli vosita bo‘lishi mumkinligini tan olishadi. Apigeninning neyroprotektiv ta’siri sichqonlarda o‘tkazilgan bir qancha tadqiqotlarda ko‘rsatilgan.

Kasallikning ushbu modeliga ega sichqonlarda apigenin qo‘shilishi xotiraning yaxshilanishiga va o‘rganish qobiliyatining buzilishini bartaraf etishga, shuningdek, Altsgeymer kasalligining rivojlanishi va rivojlanishida hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘lgan erimaydigan beta-amiloid peptid kontsentratsiyasining pasayishi bilan tolali amiloid birikmalarining kamayishiga olib keldi. Bundan tashqari, apigenin xotira funktsiyalarida ishtirok etadigan va Altsgeymer kasalligi ayniqsa ta’sir qiladigan ERK/CREB/BDNF yo‘lining samaradorligini tiklaganligi ko‘rsatildi. Amneziya sichqonlarida o‘tkazilgan yana bir tadqiqotda apigenin xotira va fazoviy o‘rganish qobiliyatini yaxshilagan.

3. Apigenin olishning bir necha usullari

Apigeninni sof holda yoki yuqori konsentratsiyali ekstrakt ko‘rinishida olishning bir nechta asosiy usullari mavjud. Bular asosan tabiiy manbalardan ajratib olish (ekstraktsiya) va kimyoviy/biotexnologik sintez usullariga bo‘linadi.

1. Tabiiy manbalardan ajratib olish (Ekstraktsiya)

Bu eng keng tarqalgan va ekologik toza usul bo‘lib, unda apigeninga boy o‘simliklardan (masalan, quritilgan petrushka barglari yoki moychechak gullaridan) foydalaniladi.

- **An'anaviy usul (Sokslet ekstraktsiyasi yoki Masersiya):**

ISSN 3030-3907

O‘simlik kukuni etanol (spirt), metanol yoki ularning suvdagi aralashmasi (odatda 70-80% li etanol) bilan ma'lum vaqt davomida qaynatiladi yoki ivitib qo‘yiladi. Apigenin organik erituvchilarda yaxshi eriydi.

- **Ultratovush yordamida ekstraktsiya (UAE - Ultrasound-Assisted Extraction):**

Bu zamonaviy va tezkor usuldir. Ultratovush to‘lqinlari o‘simlik hujayralari devorini parchalab, apigeninning erituvchiga (masalan, 80% li etanoli) oson va ko‘p miqdorda chiqishini ta'minlaydi. Odatda 30-35 daqiqa davom etadi.

- **Mikroto‘lqinli ekstraktsiya (MAE - Microwave-Assisted Extraction):**

Mikroto‘lqinlar yordamida o‘simlik materialini tez qizdirish orqali erituvchi sarfini kamaytirgan holda qisqa vaqt ichida yuqori unumdorlikka erishiladi.

- **Superkritik fluid (CO_2) ekstraktsiyasi:**

Yuqori bosim ostidagi suyuq karbonat angidrid gazidan erituvchi sifatida foydalaniladi. Bu usul zaharli kimyoviy erituvchilarsiz, mutlaqo toza apigenin olish imkonini beradi.

Tozalash va Kristallash (Purification)

O‘simlikdan olingan xom ekstrakt tarkibida faqat apigenin emas, balki boshqa moddalar ham bo‘ladi. Uni sof holda ajratib olish uchun:

1. **Kislotali gidroliz:** O‘simliklarda apigenin ko‘pincha glyukozaga birikkan holda (*apigenin-7-O-glucoside*) bo‘ladi. Uni sof apigeninga (aglikon) aylantirish uchun ekstrakt kislota bilan qaynatiladi (gidroliz qilinadi).
2. **Xromatografiya:** Kolonkali xromatografiya yoki Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) yordamida modda toza fraksiyalarga ajratiladi.
3. **Qayta kristallash:** Tozalangan fraksiya qayta kristallash orqali toza kukun holiga keltiriladi.

2. Kimyoviy Sintez Usuli

Laboratoriya yoki sanoat sharoitida apigeninni sun'iy molekulalardan qurish mumkin.

- **Baker-Venkataraman qayta guruhlanishi:** Bu klassik kimyoviy usul bo‘lib, unda *2,4,6-trigidroksiasetofenon* va *4-gidroksibenzoy kislotasi* hosilalari reaksiyaga kirishadi. Hosil bo‘lgan oraliq mahsulot kislotali sharoitda siklizatsiya (halqa hosil qilish) jarayonidan o‘tkazilib, apigenin molekulasi sintez qilinadi.
- *Kamchiligi:* Kimyoviy sintez ko‘p bosqichli bo‘lib, zaharli reaktivlar va yuqori energiya talab qiladi, shuning uchun tibbiyot va oziq-ovqat uchun ko‘pincha baribir tabiiy ekstrakt afzal ko‘riladi.

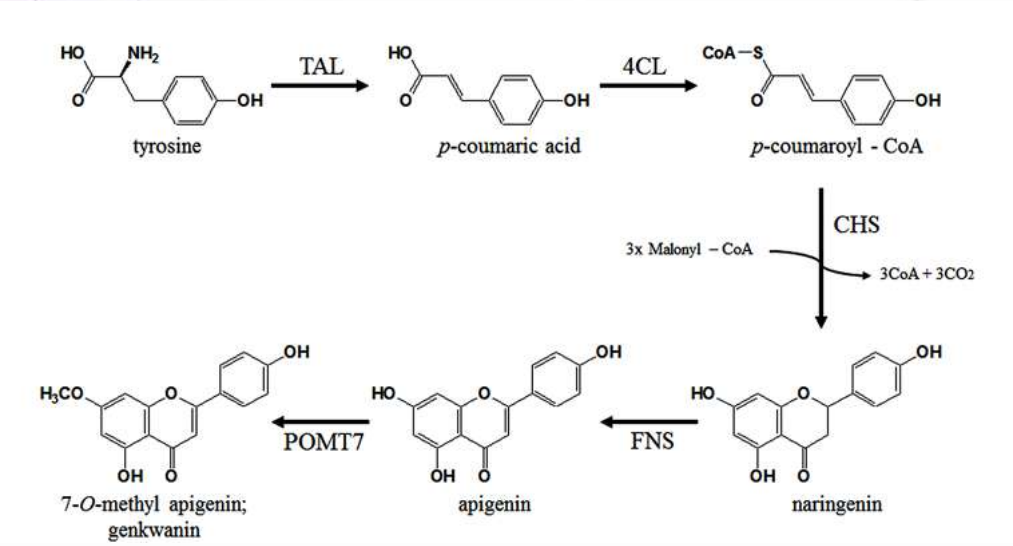
3. Biotexnologik (Mikrobiologik) Usul

Oxirgi yillarda gen muhandisligi yordamida apigenin olish yo‘lga qo‘yilmoqda.

- **Metabolik muhandislik:** *Escherichia coli* (ichak tayoqchasi) yoki *Saccharomyces cerevisiae* (pivo achitqisi) kabi mikrorganizmlarning geni

ISSN 3030-3907

o‘zgartiriladi. Ularga o‘simliklardagi apigenin sinteziga mas'ul bo‘lgan fermentlar genlari kiritiladi.



2-sxema. Mikrorganizmlarning geni o‘zgartirish orqali apigenin sintezi.

Bu mikrorganizmlar oddiy ozuqa muhitida (masalan, glyukoza yoki tirozin amino kislotasi mavjud muhitda) ko‘payib, o‘zlaridan apigenin ishlab chiqara boshlaydi. Bu usul kelajakda o‘simliklarni kesmasdan yoki yig‘masdan turib, tonnalab sof apigenin olish imkonini beradi.

O‘simlik materiallaridan ustunli xromatografiya (Sephadex LH-20, silikagel) va yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) yordamida ajratib olinadi [20].

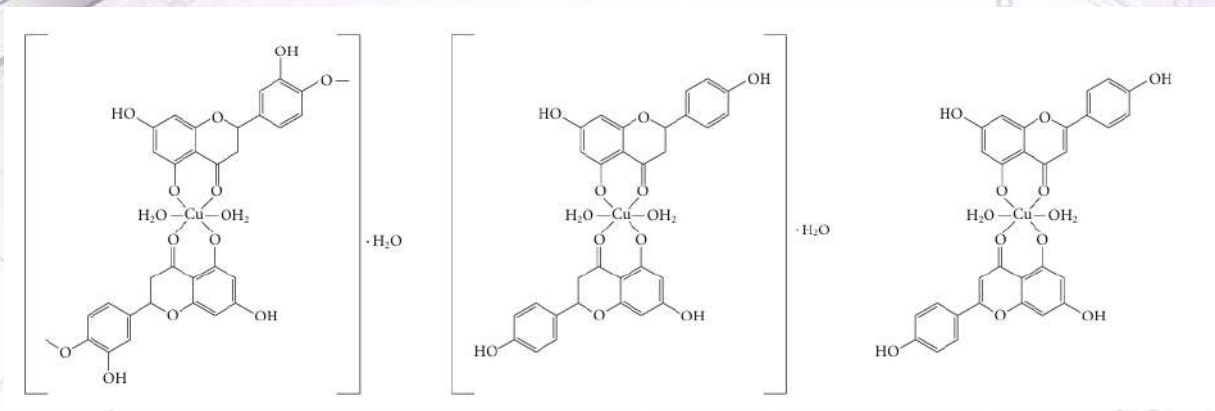
Zamonaviy ekstraksiya usullari: Subkritik suv ekstraksiyasi (SCW), mikroto‘lqinli va ultratovushli ekstraksiya usullari jarayonni samaraliroq va ekologik toza qilish imkonini beradi [21]. *Biosintez:* O‘simliklarda u fenilpropanoid yo‘li orqali L-fenilalanin yoki L-tirozin aminokislotalaridan sintezlanadi. *Mikrobiologik sintez:* Genetik muhandislik yordamida *E. coli* mikroorganizmlarida o‘simlik genlarini (4CL, CHS, CHI, FNS) rekonstruksiya qilish orqali apigenin olish usullari ishlab chiqilgan [22].

4. Apigeninning biologik aktivligi

Apigenin juda keng ko‘lamli biologik va farmakologik faollikka ega bo‘lgan tabiiy flavonoiddir. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, u antioksidant, yallig‘lanishga qarshi, saratonga qarshi va neyroprotektiv xususiyatlarga ega [23].

So‘ngi yillarda bir qator olimlar temir(II) komplekslari va Cu-koordinatsiyali apigenin hosilalariga qiziqishlar ularning tibbiy foydalanishlari sababli oshib bormoqda [3-sxema]. Metall asosidagi birikmalarni ishlab chiqishga ularning saratonga qarshi muvaffaqiyati turtki bo‘ldi [24].

ISSN 3030-3907

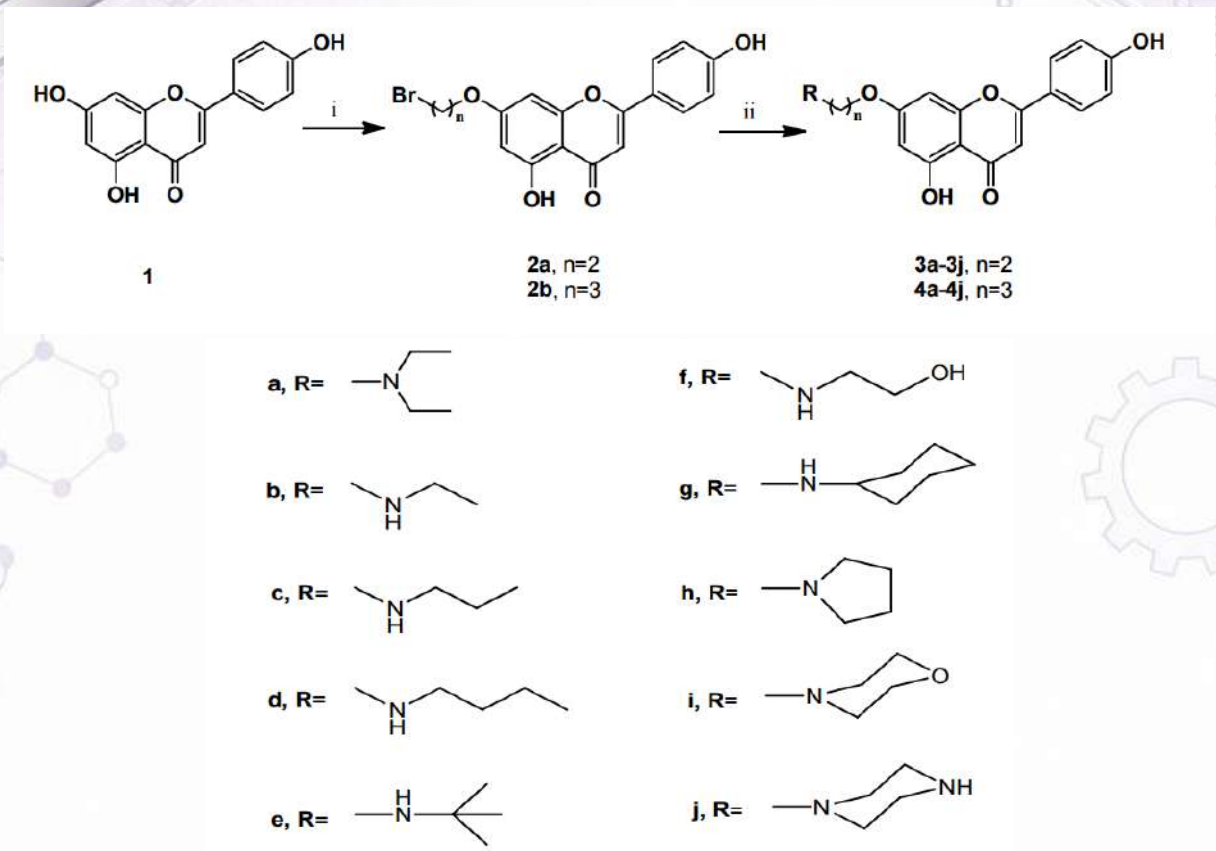


3-sxema. Cu(II) komplekslarining mumkin bo‘lgan tuzilmalari

Quyida apigeninning asosiy biologik faollik turlari keltirilgan:

Saratonga qarshi faollik: Apigenin turli xil saraton hujayralarining (ko‘krak, prostata, o‘pka, jigar, yo‘g‘on ichak va boshqalar) ko‘payishini tormozlaydi [25]. U buni hujayra siklini to‘xtatish (asosan G2/M va G0/G1 fazalarida) va apoptozni (hujayra o‘limini) qo‘zg‘atish orqali amalga oshiradi. Shuningdek, u yangi qon tomirlari hosil bo‘lishini (angiogenez) va saraton hujayralarining tarqalishini (metastaza) tormozlaydi [26]. *Antioksidant xossasi:* Apigenin erkin radikallarni yo‘qotuvchi agent sifatida harakat qiladi va organizmdagi antioksidant fermentlar (masalan, SOD, katalaza, glutation reduktaza) faolligini oshiradi. U oksidlovchi stress bilan bog‘liq bo‘lgan hujayra zararlanishini, DNK shikastlanishini va lipid peroksidlanishini kamaytiradi [27]. *Yallig‘lanishga qarshi ta'siri:* U yallig‘lanish sitokinlari (TNF-, IL-1, IL-6) va vositachilarining (COX-2, iNOS) darajasini pasaytiradi. Apigenin bu jarayonlarni NF-B, MAPK va boshqa muhim signal yo‘llarini tormozlash orqali boshqaradi [28]. *Neyroprotektiv faollik:* Apigenin qon-miya to‘sig‘ini kesib o‘tish qobiliyatiga ega bo‘lib, neyronlarni himoya qiladi va neyroyallig‘lanishni kamaytiradi [29]. U Altsgeymer kasalligida xotirani yaxshilash va amiloid tugunlari to‘planishini kamaytirishda, shuningdek, Parkinson kasalligi va depressiyada ijobiy ta'sir ko‘rsatishi aniqlangan. *Metabolik va yurak-qon tomir tizimiga ta'siri:* Antidiabetik: Qon shakari darajasini pasaytiradi, insulin sekretsiyasini stimullaydi va -glyukozidaza fermenti faolligini to‘xtatadi. Kardioprotektiv: Ateroskleroz rivojlanishini sekinlashtiradi, qon bosimini pasaytiradi va lipid almashinuvini (xolesterin va triglitseridlarni kamaytirish orqali) tartibga soladi. Apigenin antiviral (masalan, gepatit C, gripp, OIV-1), antibakterial va antiallergik xususiyatlarga ham ega. Shuningdek, u terini ultrabinafsha nurlanishidan himoya qiladi va yaralarning bitishini tezlashtiradi. Apigeninning eng katta kamchiligi uning suvda past eruvchanligi va past bio-o‘zlashtirilishi (bioavailability) bo‘lib, hozirda uning samaradorligini oshirish uchun nanopreparatlar ustida ishlanmoqda.

ISSN 3030-3907

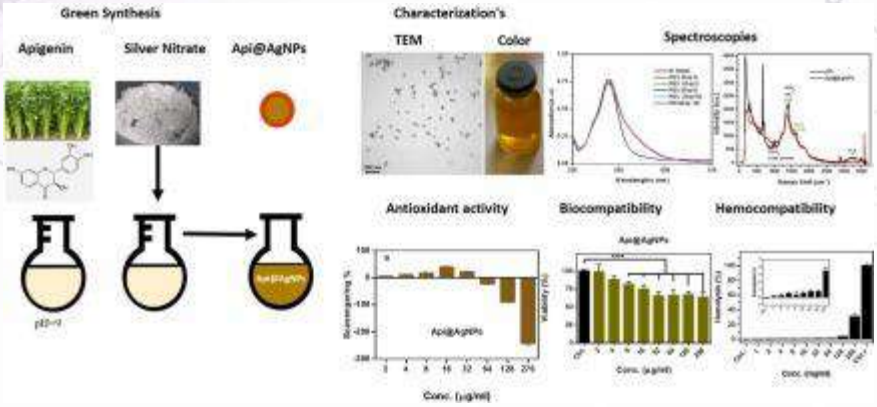


4-sxema. Modifikatsiyalangan apigenin hosilalarini sintezi.

Apigeninning biologik faoliyatini oshirish maqsadida, bir qator olimlar apigenin hosilalarini sintez qildi, bunda apigenin halqa tizimi C-7 pozitsiyasida turli oraliq birikmalar yordamida alkil amin guruhlari bilan bog‘langan, bu esa ularning lipofil sifatini oshirdi. 2a va 2b birikmalarining turli siklik va nosiklik alkil aminlar bilan suvsiz DMF muhitida 80 °C haroratda 2 dan 4 soatgacha reaktsiyaga kirishi natijasida mos ravishda 3a–3j va 4a–4j hosil bo‘ldi [4-sxema] [30].

Hozirgi kunda nanotexnologiyalarda muhim ehtiyoj metall nanozarrachalarni zararli bo‘lmagan usullar bilan ishlab chiqarishga kirish imkoniyatidir. Bu metall nanozarrachalar turli sanoat, kosmetika va farmatsevtika sohalarida jumladan biomeditsina sohasida ko‘plab qo‘llanmalarga ega bo‘lishi mumkin. Ko‘plab tadqiqotchilar metall nanozarrachalarni sintez qilishda ion-to‘ldiruvchi yoki yuzani stabilizatsiya qiluvchi sifatida ajratilgan o‘simlik birikmalarini kiritgan. Yaqinda chiqqan adabiyotlarda alkaloidlar, kurkuminoidlar, fenol kislotalari, flavonoidlar va boshqalarni ishlatib metall nanozarrachalarni sintez qilish haqida xabar berilgan.

ISSN 3030-3907



Bu yerda tabiiy 3-gidroksiflavon «apigenin (API)» dan o‘lchami boshqarilishi mumkin bo‘lgan kumush nanozarralar sintezi va ularning tavsifi keltirilgan. Nanozarralarning tuz eritmasida va oqsil namunasi mavjudligida barqarorligi tavsiflangan. Nihoyat, birinchi marta antioksidant faollik, hujayralarga toksiklik va gemoyacksonlik baholangan [31].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Verma A. K., Pratap R. The biological potential of flavones //Natural product reports. – 2010. – T. 27. – №. 11. – C. 1571-1593.
2. Berhow M. A. Modern analytical techniques for flavonoid determination //Flavonoids in cell function. – 2002. – C. 61-76.
3. Ma D. et al. Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress //Plant physiology and biochemistry. – 2014. – T. 80. – C. 60-66.
4. Jurinjak Tušek A., Šamec D., Šalić A. Modern techniques for flavonoid extraction—to optimize or not to optimize? //Applied Sciences. – 2022. – T. 12. – №. 22. – C. 11865.
5. Bhagwat S., Haytowitz D. B., Holden J. M. USDA database for the flavonoid content of selected foods, Release 3.1 //US Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA. – 2014. – C. 324-473.
6. Ginwala R. et al. Potential role of flavonoids in treating chronic inflammatory diseases with a special focus on the anti-inflammatory activity of apigenin //Antioxidants. – 2019. – T. 8. – №. 2. – C. 35.
7. Alseekh S. et al. The style and substance of plant flavonoid decoration; towards defining both structure and function //Phytochemistry. – 2020. – T. 174. – C. 112347.
8. Verma A. K., Pratap R. The biological potential of flavones //Natural product reports. – 2010. – T. 27. – №. 11. – C. 1571-1593.
9. Furuta E. et al. Fatty acid synthase gene is up-regulated by hypoxia via activation of Akt and sterol regulatory element binding protein-1 //Cancer research. – 2008. – T. 68. – №. 4. – C. 1003-1011.

ISSN 3030-3907

10. Lotito S. B., Frei B. Consumption of flavonoid-rich foods and increased plasma antioxidant capacity in humans: cause, consequence, or epiphenomenon? //Free Radical Biology and Medicine. – 2006. – Т. 41. – №. 12. – С. 1727-1746.
11. Morris M. E., Zhang S. Flavonoid–drug interactions: effects of flavonoids on ABC transporters //Life sciences. – 2006. – Т. 78. – №. 18. – С. 2116-2130.
12. Bhagwat S., Haytowitz D. B., Holden J. M. USDA database for the flavonoid content of selected foods, release 3 //US Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA. – 2011. – Т. 159.
13. Феськова Е. В. и др. Условия экстракции и идентификация флавоноидов, стимулирующих регенерацию тканей //Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2019. – №. 1 (217). – С. 49-53.
14. Madunić J. et al. Apigenin: A dietary flavonoid with diverse anticancer properties //Cancer letters. – 2018. – Т. 413. – С. 11-22.
15. Xu Y., Li X., Wang H. Protective roles of apigenin against cardiometabolic diseases: a systematic review //Frontiers in nutrition. – 2022. – Т. 9. – С. 875826.
16. Thomas S. D. et al. Pharmacological and molecular insight on the cardioprotective role of apigenin //Nutrients. – 2023. – Т. 15. – №. 2. – С. 385.
17. Jiang X., Huang H. The therapeutic potential of apigenin against atherosclerosis //Heliyon. – 2025. – Т. 11. – №. 1.
18. Kashyap P. et al. Functionality of apigenin as a potent antioxidant with emphasis on bioavailability, metabolism, action mechanism and in vitro and in vivo studies: A review //Journal of food biochemistry. – 2022. – Т. 46. – №. 4. – С. e13950.
19. Hunyadi A. et al. Direct semi-synthesis of the anticancer lead-drug protoapigenone from apigenin, and synthesis of further new cytotoxic protoflavone derivatives //PLoS One. – 2011. – Т. 6. – №. 8. – С. e23922.
20. 20.Tomou E. M. et al. Bio-actives from natural products with potential cardioprotective properties: isolation, identification, and pharmacological actions of apigenin, quercetin, and silibinin //Molecules. – 2023. – Т. 28. – №. 5. – С. 2387.\
21. Cvetanović A. et al. Isolation of apigenin from subcritical water extracts: Optimization of the process //The Journal of Supercritical Fluids. – 2017. – Т. 120. – С. 32-42.
22. 이혜진 et al. Biosynthesis of Two Flavones, Apigenin and Genkwanin, in Escherichia coli //Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2015. – Т. 25. – №. 9. – С. 1442-1448.
23. Kim J. K., Park S. U. Recent insights into the biological functions of apigenin //EXCLI journal. – 2020. – Т. 19. – С. 984.

ISSN 3030-3907

24. Tan M. et al. Synthesis, cytotoxic activity, and DNA binding properties of copper (II) complexes with hesperetin, naringenin, and apigenin //Bioinorganic chemistry and applications. – 2009. – Т. 2009. – №. 1. – С. 347872.
25. Yan X. et al. Apigenin in cancer therapy: Anti-cancer effects and mechanisms of action //Cell & bioscience. – 2017. – Т. 7. – №. 1. – С. 50.
26. Ashrafizadeh M. et al. Apigenin as tumor suppressor in cancers: biotherapeutic activity, nanodelivery, and mechanisms with emphasis on pancreatic cancer //Frontiers in Chemistry. – 2020. – Т. 8. – С. 829.
27. Allemailem K. S. et al. Apigenin: a bioflavonoid with a promising role in disease prevention and treatment //Biomedicines. – 2024. – Т. 12. – №. 6. – С. 1353.
28. Yoon J. H., Kim M. Y., Cho J. Y. Apigenin: A therapeutic agent for treatment of skin inflammatory diseases and cancer //International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Т. 24. – №. 2. – С. 1498.
29. Islam M. A. et al. Evaluation of cholinesterase inhibitory and antioxidant activity of Wedelia chinensis and isolation of apigenin as an active compound //BMC complementary medicine and therapies. – 2021. – Т. 21. – №. 1. – С. 204.
30. Zhao L. et al. Efficient synthesis and in vitro hypoglycemic activity of rare apigenin glycosylation derivatives //Molecules. – 2023. – Т. 28. – №. 2. – С. 533.
31. Mohammadi E., Amini S. M. Green synthesis of stable and biocompatible silver nanoparticles with natural flavonoid apigenin //Nano-Structures & Nano-Objects. – 2024. – Т. 38. – С. 101175.

ISSN 3030-3907

DORIVOR BO‘YMADARON (ACHILLEA MILLEFOLIUM L.) O‘TI POLIFENOLLARINING FITOKIMYOVIY MATRITSASI VA ULARNING GEMOSTATIK HAMDA ANTIYALLIG‘LANISH SAMARADORLIGI

Usmonova Marxabo Balxiyevna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti farmakognoziya va farmasevtik texnologiya kafedrasi assistenti
Boymuradova Nilufar Rahmatovna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti, Biotexnologiya, injenering va farmatsiya fakulteti talabasi
Amangeldiyeva Sevinch Davlat qizi
Samarqand davlat tibbiyot universiteti biotexnologiya, injinering va farmatsiya fakulteti talabasi

Abstract. This article investigates the chemical composition of biologically active polyphenols, sesquiterpene lactones, and flavonoids isolated from the herb *Achillea millefolium* L. (Common Yarrow). Furthermore, it explores their anti-inflammatory and hemostatic (blood-clotting) mechanisms of action within tissues.
Keywords: *Achillea millefolium*, polyphenols, chamazulene, hemostatic effect, antioxidant.

Аннотация. В данной статье исследуется химический состав биологически активных полифенолов, сесквитерпеновых лактонов и флавоноидов, выделенных из травы растения *Achillea millefolium* L. (Тысячелистник обыкновенный), а также механизмы их противовоспалительного и гемостатического (кровоостанавливающего) действия в тканях.
Ключевые слова: *Achillea millefolium*, полифенолы, хамазулен, гемостатический эффект, антиоксидант.

Annotatsiya. Ushbu maqolada Achillea millefolium L. (Dorivor bo‘ymadaron) o‘simligi o‘tidan ajratib olingan biologik faol polifenollar, seskviterpen laktonlar va flavonoidlar guruhi komponentlarining kimyoviy tarkibi hamda ularning to‘qimalardagi yallig‘lanishga qarshi va gemostatik (qon to‘xtatuvchi) ta’sir mexanizmlari tadqiq etilgan.
Kalit so‘zlar: Achillea millefolium, polifenollar, xamazulen, gemostatik effekt, antioksidant.

KIRISH.

Dorivor bo‘ymadaron (Achillea millefolium L.) o‘ti, asosan, Yevropa va Osiyo mintaqalarida tarqalgan, ko‘plab an'anaviy tibbiyot usullarida qo‘llaniladi. Ushbu o‘tning tarkibida ko‘plab biologik faol moddalarning mavjudligi, jumladan, polifenollar, flavonoidlar va terpenoidlar, uning terapevtik xususiyatlarini oshiradi.

ISSN 3030-3907

Polifenollar, o‘z navbatida, kuchli antioksidant, antiyallig‘lanish va gemostatik xususiyatlarga ega.

So‘nggi yillarda sintetik dori vositalariga nisbatan rezistentlik (chidamlilik) ko‘rsatkichining ortishi, olimlarni tabiiy kelib chiqishga ega bo‘lgan mikroblarga qarshi birikmalarni izlashga majbur qilmoqda. Dorivor o‘simliklar bu borada boy va xavfsiz manba hisoblanadi. Asteraceae oilasiga mansub Dorivor bo‘ymadaron (Achillea millefolium L.) o‘zining boy farmakologik xususiyatlari, ayniqsa kapillyarlar o‘tkazuvchanligini normallashtirish, yallig‘lanishga qarshi hamda regeneratsiyani jadallashtirish ta’siri bilan ajralib turadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — Achillea millefolium L. o‘tining ekstrakti kimyoviy komponentlarini tahlil qilish va uning tarkibidagi xamazulen hamda fenol birikmalarining dori vositalari muhandisligidagi o‘rnini baholashdan iborat.

POLIFENOLLARNING FITOKIMYOVIY MATRITSASI.

Dorivor bo‘ymadaron o‘tining polifenol tarkibi turli tadqiqotlar orqali o‘rganilgan. Ularning asosiy turlari quyidagilar:

Flavonoidlar: Quercetin, kaempferol va apigenin kabi flavonoidlar bo‘ymadaron o‘tida keng tarqalgan. Ular kuchli antioksidant xususiyatlarga ega bo‘lib, hujayralarni erkin radikallardan himoya qiladi.

Fenol kislotalari: Kafein kislotasi va ferulik kislota kabi fenol kislotalari, yallig‘lanishga qarshi ta'sir ko‘rsatadi va organizmda yallig‘lanish jarayonlarini kamaytiradi.

Tanins: Ular organizmda gemostatik ta'sir ko‘rsatadi, qon ketishini to‘xtatishda yordam beradi.

METODLAR.

Tadqiqot ishi O‘zbekiston florasida o‘suvchi tabiiy bo‘ymadaron xomashyosi asosida olib borildi.

- **O‘simlik o‘tini ajratish va ekstraksiya:** O‘simlikning yerustki qismi (gullash davridagi dorivor o‘ti) soyada quritildi. Biologik faol moddalar fraksiyasi Davlat Farmakopeyasi talablari asosida fraksiyali ekstraksiya va gidrodistillash usullari yordamida ajratib olindi.
- **Kimyoviy tahlil:** Ajratilgan o‘t ekstraktining sifat hamda miqdoriy tarkibiy qismlari Gaz xromatografiyasi-mass-spektrometriya (GC-MS) hamda Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) texnologiyalari yordamida aniqlandi.
- **Biologik faollik:** Ekstrakt tarkibidagi faol moddalarning qon ivish faktorlariga ta’siri va to‘qima darajasidagi antiyallig‘lanish barqarorligi in vitro skrining usullari orqali tekshirildi.

Antiyallig‘lanish samaradorligi

ISSN 3030-3907

Dorivor bo‘ymadaron o‘tining antiyallig‘lanish xususiyatlari ham muhim ahamiyatga ega. Polifenollar, yallig‘lanish jarayonlarini kamaytirish orqali, turli kasalliklarning oldini olishda yordam beradi.

TADQIQOTLAR.

1. **In vitro tadqiqotlar**: Polifenollar yallig‘lanish bilan bog‘liq sitokinlar ishlab chiqarilishini kamaytiradi. Bu, o‘z navbatida, yallig‘lanish jarayonlarini sekinlashtiradi.

2. **In vivo tadqiqotlar**: Hayvonlar ustida o‘tkazilgan tadqiqotlar, bo‘ymadaron o‘tining yallig‘lanishga qarshi ta'sirini ko‘rsatadi. Ekstraktlar yallig‘lanish belgilari, masalan, shish va qizil rangni kamaytiradi.

NATIJALAR.

Xromatografik va spektroskopik tahlil natijalariga ko‘ra, Achillea millefolium L. o‘ti tarkibida 26 dan ortiq biologik faol polifenollar, flavonoidlar va o‘ziga xos seskviterpenlar guruhi aniqlandi. Ularning eng asosiylari moddaning farmakologik samaradorligini belgilaydi. O‘simlik o‘ti ekstraktining asosiy kimyoviy tarkibi quyidagi jadvalda aks ettirilgan:

1-Jadval

T/r	Komponent nomi (O‘t qismida)	Miqdori (%)
1	Xamazulen (Chamazulene)	62.4%
2	Achillein alkaloidi (Achilleine)	11.2%
3	Apigenin (Flavonoid)	8.5%
4	Lyuteolin (Luteolin)	5.1%

Eksperimental sinovlarda o‘simlik o‘tidan olingan faol fraksiyaning qon tomirlar silliq mushaklari tonusini barqarorlashtirish va kapillyar qon ketish vaqtini qisqartirish kinetikasi o‘rganilganda, to‘qimalarning regeneratsiya jarayonini stimullash ko‘rsatkichi yuqori ekanligi qayd etildi.

MUNOZARA.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, Achillea millefolium L. o‘ti ekstraktining yuqori gemostatik va antiyallig‘lanish faolligi bevosita uning tarkibidagi xamazulen va achillein moddalari miqdoriga bog‘liq. Ushbu birikmalar trombotsitlar agregatsiyasini rag‘batlantiradi va yallig‘lanish mediatorlari (prostaglandinlar) sintezini bloklaydi, bu esa jarohatlarning tez bitishiga va to‘qima shishlarining pasayishiga olib keladi.

Muhim qayd: Bizning tadqiqot natijalarimiz Yevropa populyatsiyalaridagi bo‘ymadaron tarkibi bilan solishtirilganda, mamlakatimiz iqlim sharoitida o‘sgan o‘simlik o‘tida terpenoidlar va flavonoidlar miqdori deyarli 10-15% ga yuqoriligini ko‘rsatdi. Bu quyosh radiatsiyasi va qurg‘oqchil iqlim sharoitida o‘simlikning ikkilamchi metabolitlar sintezini kuchaytirishi bilan izohlanadi. Kelajakda ushbu

ISSN 3030-3907

dorivor o‘t xomashyosidan gastroenterologiya va xirurgiya amaliyotida qo‘llaniladigan tabiiy me’da-ichak faoliyatini yaxshilovchi, qon to‘xtatuvchi hamda jarohat bitkazuvchi siroplar, surtmalar ishlab chiqarishda farmatsevtikada foydalanish istiqbollari juda yuqori.

XULOSA.

Tadqiqot natijasida Achillea millefolium L. o‘simligi o‘ti tarkibida kuchli biologik faol antiyallig‘lanish va gemostatik birikmalar mavjudligi isbotlandi. Bu esa uni sintetik preparatlarga muqobil bo‘lgan, nojo‘ya ta’siri kam yangi avlod dori vositalarini yaratishda qimmatli xomashyo ekanligini tasdiqlaydi. Dorivor bo‘ymadaron (Achillea millefolium L.) o‘ti polifenollarining fitokimyoviy matritsasi va ularning gemostatik hamda antiyallig‘lanish samaradorligi, an'anaviy tibbiyotda muhim ahamiyatga ega. Ushbu o‘tning tarkibidagi biologik faol moddalarning ko‘pligi, uning turli kasalliklarni davolashdagi potentsialini oshiradi. Kelajakda bo‘ymadaron o‘tining polifenollarini yanada chuqurroq o‘rganish, yangi terapevtik vositalarni ishlab chiqishda yordam berishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nabiyev, A. (2022). O‘zbekiston dorivor o‘simliklari va ularning fitokimyoviy tahlili . Toshkent: Fan.
2. Mashkovskiy M.D- Lekarstvennme sredstva.CH.I.i II.M., “Meditsina” 1993
3. Muravyova D.A- Farmakognoeiya.M., “Meditsina”, 1991.
4. Kennedy ,D.O.(2016).B vitaminis and the brain: mechanisms, dose and efficacy-a review. Nutrients,8(2),68.
5. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma. N.D.Kodirov, M.B.Usmonova, G.R.Xasanova, S.M.Olimov. -Samarqand: Tibbiyot Ko‘zgusi, 2023. -136b
6. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma. N.D.Kodirov, M.B.Usmonova, G.R.Xasanova, S.M.Olimov.-Samarqand: Tibbiyot Ko‘zgusi,2023. -156b
7. A.A.Sultanov -Fitoterapiya asoslari.Toshkent,2012.
8. N.K.Komilov- Dorivor o‘simliklar va ularning xususiyatlari.Toshkent,2010.
9. Makarchikov,A.F.,Lakaye,B.,Gulyai,I.E.,Czerniecki,J.,Coumans,B.,Wins,P., & Bettendroff,L.(2003).Thiamine triphosphate and thiamine triphosphatase activities: from bacteria to mammals.Cellular and Molecular Life Sciences CMLS,60,1477-1488
10. Xolmatov.X.X., Ahmedov U.A Farmakognoziya. Toshkent, Abu Ali ibn Sino,2005
11. Boymurodov,E.S (2024).Preparation of Raw Materials from Medicinal Plant Parts .Research Journal of Trauma and Disability Studies, 3(2), 114-117.

ISSN 3030-3907

12. Meliqulov,O.J.,Kodirov,N.D.,&Baymuradov,E.S (2022). 4-xlor-5,6-dimetiltieno (2,3-d) pirimidinning to‘yingan geterosiklik birikmalari bilan reaksiyasi.Ta’lim fidoyilari,18(5), 285-288.
13. Murodovna,J,D.,Ravshanovna,M.U., Azamatovna,F.G.,& Ergashboevna, A.Z (2022). Abu-the role of the teachings of Ali Ibn Sina the upbringing of a harmoniously developed generation.
14. Qodirov, N.D.,Qo‘yliyeva, M.U.,&Baymurodov.E.S(2022). DORILAR HAQIDA TUSHUNCHA, FARMAKOLOGIK XOSSALARI, SAQLASH UCHUN SHAROIT YARATISH USULLARI.Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences,1(8) 580-586.
15. Suyunovich,B.E (2024).BIOLOGIK FAOL OZUQAVIY QO‘SHIMCHALAR AHAMIYATI VA INSON ORGANIZMIGATA’SIRI. Ta’lim innovatsiyasi va integratsiyasi,18(5), 91-95.
16. Tosharova, M.A.,Mardiyeva ,J.S., & Jalilova,D.M.(2024).Use of Fluticasone Propionate in the Treatment of Allergic Rhinitis in Pregnant Women.Research Journal of Trauma and Disability Studies,3(2),1-3.
17. Muhiddin, Zayniddinov, and Muhammadiyeva Muhayyo. "DORIVOR O ‘SIMLIKLAR EKSTRAKTIDAN FLOVANOIDLARNI AJRATIB OLISHNING LABORATORIYA TAHLILI VA TIBBIY AMALIYOTDA QO ‘LLANILISHI." Научный Фокус 3.33 (2026): 77-78.
18. Xakimova, X. X., & Zayniddinov, M. (2022). Tibbiyot talabalari orasida keng tarqalgan kasalliklarning oldini olishning dolzarb muammolari. Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences, 2(5), 96-100.
19. Zayniddinov, M. S. (2025). “Dori vositalarining farmakokinetikasi” mavzusini o‘qitish. Journal of Universal Science Research, 1(Maxsus son), 169-170.
20. “ SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF BLOOD: NEW ADVANCES IN INFECTIOUS DISEASE DIAGNOSIS” Zayniddinov Muhiddin. International Journal of Nursing and Medical Science 15 (03), 7-10

DORIVOR ITUZUM (*SOLANUM NIGRUM L.*) GLIKOALKALOIDLARINING EKSTRAKSIYASI VA ULURNING BAKTERIOTSID XUSUSIYATLARI

Usmonova Marxabo Balxiyevna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti farmakognoziya va farmasevtik texnologiya kafedrasi assistenti
Boymuradova Nilufar Rahmatovna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti biotexnologiya, injinering va farmatsiya fakulteti talabasi

Abstract. This article investigates the chemical composition of biologically active glycoalkaloids isolated from Solanum nigrum L. and evaluates their activity against pathogenic microorganisms. The study revealed the presence of important glycoalkaloids, including solanine and related compounds, which exhibit significant biological activity. The antibacterial and antioxidant properties of these compounds were assessed, demonstrating their potential to inhibit the growth of various pathogenic microorganisms. The findings indicate promising prospects for the application of glycoalkaloids derived from *Solanum nigrum* in pharmaceutical and biomedical fields.

Keywords: Solanum nigrum, glycoalkaloid, solanine, antibacterial activity, antioxidant activity.

Аннотация. В данной статье исследованы химический состав биологически активных гликоалкалоидов, выделенных из Solanum nigrum L., а также их активность в отношении патогенных микроорганизмов. Установлено, что растение содержит важные гликоалкалоиды, включая соланин и родственные соединения, обладающие выраженной биологической активностью. Были изучены антибактериальные и антиоксидантные свойства данных соединений, показавшие их способность подавлять рост различных патогенных микроорганизмов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования гликоалкалоидов *Solanum nigrum* в фармацевтической и биомедицинской областях.

Ключевые слова: Solanum nigrum, гликоалкалоид, соланин, антибактериальная активность, антиоксидантная активность.

Annotatsiya. Ushbu maqolada Solanum nigrum L. dan ajratib olingan biologik faol glikoalkaloidlarning kimyoviy tarkibi, shuningdek, ularning patogen mikroorganizmlarga nisbatan faolligi o‘rganilganOlingan natijalar Solanum nigrum glikoalkaloidlaridan farmatsevtika va biotibbiyot sohalarida foydalanish istiqbolliligini ko‘rsatadi.antibakterial va antioksidant xususiyatlari o‘rganilib, ularning turli patogen mikroorganizmlarning o‘sishini bostirish qobiliyati

ko‘rsatildi. Olingan natijalar Solanum nigrum glikoalkaloidlaridan farmatsevtika va biotibbiyot sohalarida foydalanish istiqbolliligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: *Solanum nigrum*, glikoalkaloid, solanin, antibakterial, antioksidant.

1. KIRISH.

So‘nggi yillarda sintetik dori vositalariga nisbatan rezistentlik (chidamlilik) ko‘rsatkichining ortishi, olimlarni tabiiy kelib chiqishga ega bo‘lgan mikroblarga qarshi birikmalarni izlashga majbur qilmoqda. Dorivor o‘simliklar bu borada boy va xavfsif manba hisoblanadi. Solanaceae oilasiga mansub Dorivor ituzum (*Solanum nigrum L.*) o‘zining boy farmakologik va fitokimyoviy xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — *Solanum nigrum L.* ekstraktining kimyoviy komponentlarini tahlil qilish va uning *Staphylococcus aureus* hamda *Escherichia coli* bakteriyalariga dori vositalariga chidamlilik sharoitida ta’sirini baholashdan iborat.

Dorivor ituzum (Solanum nigrum L.) o‘simliklari asrlar davomida xalq tabobatida qo‘llanilib kelinmoqda. Ularning tarkibida glykoalkaloidlar mavjud bo‘lib, bu birikmalar o‘simliklarni zararkunandalardan himoya qilishda muhim rol o‘ynaydi. Glykoalkaloidlar, shuningdek, tibbiyotda antibakterial va antifungal xususiyatlari bilan e'tiborga molikdir. Ushbu hujjatda glykoalkaloidlarning ekstraksiyasi va ularning bakteriotid xususiyatlari ko‘rib chiqiladi.

Tibbiy qo‘llanilishi

Glykoalkaloidlarning antibakterial xususiyatlari ularni tibbiyotda qo‘llash uchun imkoniyatlar yaratadi. Ular quyidagi sohalarda qo‘llanilishi mumkin:

1. Antibakterial preparatlar

Glykoalkaloidlar asosida yangi antibakterial preparatlar ishlab chiqish mumkin. Ular, ayniqsa, antibiotiklarga chidamli bakteriyalar bilan kurashishda samarali bo‘lishi kutilmoqda.

2. Antifungal preparatlar

Glykoalkaloidlarning antifungal xususiyatlari ularni zamburug‘li infeksiyalarni davolashda ham foydali qiladi. Bu sohada qo‘llanilishi hali tadqiqotlar orqali aniqlanishi kerak.

ISSN 3030-3907



2. METODLAR.

Tadqiqot ishi O‘zbekiston florasida o‘suvchi tabiiy ituzum xomashyosi asosida olib borildi.

- **Ekstraktni ajratish:** O‘simlikning yerustki qismi (barg va pishgan mevalari) soyada quritildi. Biologik faol moddalar va glikoalkaloidlar fraksiyasi farmakopeya usullari yordamida ekstraksiya qilib olindi.
- **Kimyoviy tahlil:** Ajratilgan ekstraktning sifat va miqdoriy tarkibi Gaz xromatografiyasi-mass-spektrometriya (GC-MS) hamda yupqa qatlamli xromatografiya texnologiyasi yordamida aniqlandi.
- **Antibakterial faollik:** Ekstraktning mikroblarga qarshi samaradorligi disk-diffuziya usuli yordamida, ozuqaviy agar muhitida gram-musbat (*S. aureus*) va gram-manfiy (*E. coli*) shtammlarida sinab ko‘rildi.

ISSN 3030-3907

3. NATIJALAR.

GC-MS va fitokimyoviy tahlil natijalariga ko‘ra, *Solanum nigrum L.* ekstrakti tarkibida steroid tabiatli glikoalkaloidlar va flavonoidlar guruhi aniqlandi. Ularning eng asosiylari fitokimyoviy faollikni belgilaydi. Ekstraktning asosiy kimyoviy tarkibi quyidagi jadvalda aks ettirilgan:

1-Jadval

T/r	Komponent nomi	Miqdori (%)
1	Solanin (Solanine)	58.2%
2	Solamargini (Solamargine)	14.5%
3	Rutin (Flavonoid)	9.1%
4	Solasodin (Solasodine)	4.8%

Antibakterial sinovlarda dorivor ituzum ekstraktining minimal ingibirlash konsentratsiyasi (MIK) aniqlandi. O‘simlik faol moddalari *S. aureus* o‘sishini 17.2 mm (ingibirlash zonasi diametri), *E. coli* o‘sishini esa 13.5 mm masofada to‘xtatgani qayd etildi.

4. MUNOZARA.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, *Solanum nigrum L.* ekstraktining yuqori antibakterial faolligi bevosita uning tarkibidagi solanin va solasodin alkaloidlari miqdoriga bog‘liq. Ushbu moddalar bakteriya hujayra membranasining o‘tkazuvchanligini buzadi, bu esa hayotiy muhim ionlarning sizib chiqishiga va patogen hujayraning parchalanishiga olib keladi.

Muhim qayd: Bizning tadqiqot natijalarimiz boshqa mintaqa populyatsiyalaridagi ituzum tarkibi bilan solishtirilganda, mamlakatimiz iqlim sharoitida o‘sgan o‘simlikda alkaloidlar va fenolli birikmalar miqdori sezilarli darajada yuqoriligini ko‘rsatdi. Bu quyosh radiatsiyasi va qurg‘oqchil iqlim sharoitida o‘simlikning ikkilamchi metabolitlar sintezini kuchaytirishi bilan izohlanadi. Kelajakda ushbu o‘simlik xomashyosidan farmatsevtikada antiseptik va yallig‘lanishga qarshi dori vositalari olishda foydalanish istiqbollari juda yuqori.

XULOSA.

Tadqiqot natijasida *Solanum nigrum L.* o‘simligi tarkibida kuchli mikroblarga qarshi birikmalar mavjudligi isbotlandi. Bu esa uni sintetik antibiotiklarga muqobil bo‘lgan yangi avlod fitopreparatlarini yaratishda qimmatli farmatsevtik xomashyo ekanligini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nabiyev, A. (2022). O‘zbekiston dorivor o‘simliklari va ularning fitokimyoviy tahlili . Toshkent: Fan.
2. Mashkovskiy M.D- Lekarstvennme sredstva.CH.I.i II.M., “Meditsina” 1993
3. Muravyova D.A- Farmakognoeiya.M., “Meditsina”, 1991.

ISSN 3030-3907

4. Kennedy ,D.O.(2016).B vitaminis and the brain: mechanisms, dose and efficacy-a review.Nutrients,8(2),68.
5. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma. N.D.Kodirov, M.B.Usmonova, G.R.Xasanova, S.M.Olimov.-Samarqand: Tibbiyot Ko‘zgusi,2023. -136b
6. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma. N.D.Kodirov, M.B.Usmonova, G.R.Xasanova, S.M.Olimov.-Samarqand: Tibbiyot Ko‘zgusi,2023. -156b
7. A.A.Sultanov -Fitoterapiya asoslari.Toshkent,2012.
8. N.K.Komilov- Dorivor o‘simliklar va ularning xususiyatlari.Toshkent,2010.
9. Makarchikov,A.F.,Lakaye,B.,Gulyai,I.E.,Czerniecki,J.,Coumans,B.,Wins,P., ...& Bettendroff,L.(2003).Thiamine triphosphate and thiamine triphosphatase activities: from bacteria to mammals.Cellular and Molecular Life Sciences CMLS,60,1477-1488
10. Xolmatov.X.X., Ahmedov U.A Farmakognoziya. Toshkent, Abu Ali ibn Sino,2005
11. Boymurodov,E.S (2024).Preparation of Raw Materials from Medicinal Plant Parts .Research Journal of Trauma and Disability Studies, 3(2), 114-117.
12. Meliqulov,O.J.,Kodirov,N.D.,&Baymuradov,E.S (2022). 4-xlor-5,6-dimetiltieno (2,3-d) pirimidinning to‘yingan geterosiklik birikmalari bilan reaksiyasi.Ta’lim fidoyilari,18(5), 285-288.
13. Murodovna,J,D.,Ravshanovna,M.U., Azamatovna,F.G.,& Ergashboevna, A.Z (2022). Abu-the role of the teachings of Ali Ibn Sina the upbringing of a harmoniously developed generation.
14. Qodirov, N.D.,Qo‘yliyeva, M.U.,&Baymurodov.E.S(2022). DORILAR HAQIDA TUSHUNCHA, FARMAKOLOGIK XOSSALARI, SAQLASH UCHUN SHAROIT YARATISH USULLARI.Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences,1(8) 580-586.
15. Suyunovich,B.E (2024).BIOLOGIK FAOL OZUQAVIY QO‘SHIMCHALAR AHAMIYATI VA INSON ORGANIZMIGATA’SIRI. Ta’lim innovatsiyasi va integratsiyasi,18(5), 91-95.
16. Tosharova, M.A.,Mardiyeva ,J.S., & Jalilova,D.M.(2024).Use of Fluticasone Propionate in the Treatment of Allergic Rhinitis in Pregnant Women.Research Journal of Trauma and Disability Studies,3(2),1-3.
17. Muhiddin, Zayniddinov, and Muhammadiyeva Muhayyo. "DORIVOR O ‘SIMLIKLAR EKSTRAKTIDAN FLOVANOIDLARNI AJRATIB OLISHNING LABORATORIYA TAHLILI VA TIBBIY AMALIYOTDA QO ‘LLANILISHI." Научный Фокус 3.33 (2026): 77-78.

18. Xakimova, X. X., & Zayniddinov, M. (2022). Tibbiyot talabalari orasida keng tarqalgan kasalliklarning oldini olishning dolzarb muammolari. Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences, 2(5), 96-100.
19. Zayniddinov, M. S. (2025). “Dori vositalarining farmakokinetikasi” mavzusini o‘qitish. Journal of Universal Science Research, 1(Maxsus son), 169-170.
20. “ SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF BLOOD: NEW ADVANCES IN INFECTIOUS DISEASE DIAGNOSIS” Zayniddinov Muhiddin. International Journal of Nursing and Medical Science 15 (03), 7-10

DUNYO BO‘YICHA MIS RUDASI ZAXIRALARI VA ULARNI QAYTA ISHLASH USULLARI TAHLILI

Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich
Olmaliq davlat texnika instituti, DSc, professor, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: Kholikulov.d@odti.uz
Boltayev Olmos Najmidinovich
Olmaliq davlat texnika instituti, PhD, dotsent, Olmaliq, O‘zbekiston.
E-mail: boss.olmos@mail.ru
Elchiyeva Mohinur Dilshod qizi
Olmaliq davlat texnika instituti, tayanch doktarant.
E-mail: mohinurelchiyeva@gmail.com
Eraliyev Xusniddin Muhammadali o‘g‘li
Olmaliq davlat texnika instituti, talaba
Karayeva Ruzanna Serverovna
Olmaliq davlat texnika instituti, talaba

Annotatsiya. Global miqyosda misga bo‘lgan talabning ortishi tarkibida oltin va kumush saqlovchi, qayta ishlanishi qiyin bo‘lgan oksidlangan hamda balansdan tashqari porfirli rudalarni kompleks metallurgik qayta ishlashni taqozo etmoqda. Ushbu tadqiqotning maqsadi jahonning yetakchi mis-porfir konlarida oksidlangan rudalarni qayta ishlash texnologiyalarini tizimli qiyosiy tahlil qilish va olingan natijalar asosida “Olmaliq KMK” AJ Qalmoqir koni chiqindixonalarida to‘plangan 100 mln tonnadan ortiq oksidlangan massa uchun maqbul texnologik yechimlarni asoslashdan iborat. Tadqiqotda Eskondida, Kollahusi, Morenji, Kerro Verde, Oyu Tolgoi va Kamoto kabi dunyoning 10 dan ortiq yirik konlarining geologik-mineralogik tarkibi hamda qayta ishlash sxemalari (Heap/Agitation Leaching, SX-EW, sulfidlovchi flotatsiya) bo‘yicha qiyosiy-tahliliy va geometallurgik modellashtirish metodlaridan foydalanilgan.

Kalit so‘zlar: oksidlangan mis rudasi, porfirli konlar, Qalmoqir, tanlab eritish, SX-EW, oltin va kumushni korrelyatsiyasi, gilli minerallar, ikki bosqichli gidrometallurgiya.

Аннотация. Рост мирового спроса на медь требует комплексной металлургической переработки труднопереработываемых окисленных и забалансовых порфировых руд, содержащих золото и серебро. Целью настоящего исследования является системный сравнительный анализ технологий переработки окисленных руд на ведущих мировых медно-порфировых месторождениях и на основе полученных результатов обоснование оптимальных технологических решений для более 100 млн тонн окисленной массы, накопленной в хвостохранилищах месторождения Калмакыр АО "Алмалыкский ГМК." В исследовании использованы методы

ISSN 3030-3907

сравнительно-аналитического и геометаллургического моделирования по геолого-минералогическому составу и схемам переработки (Heap/Agitation Leaching, SX-EW, сульфидирующая флотация) более 10 крупнейших месторождений мира, таких как Эскондида, Коллахуси, Моренджи, Оюверде, Ою Толгой и Камото.

Ключевые слова: окисленная медная руда, порфировые месторождения, Калмакыр, выщелачивание, SX-EW, корреляция золота и серебра, глинистые минералы, двухступенчатая гидрометаллургия.

Abstract. The growing global demand for copper necessitates the complex metallurgical processing of difficult-to-process oxidized and off-balance-sheet porphyry ores containing gold and silver. The aim of this study is to conduct a systematic comparative analysis of oxidized ore processing technologies at the world's leading copper-porphyry deposits and, based on the results obtained, to substantiate optimal technological solutions for more than 100 million tons of oxidized mass accumulated in the tailings ponds of the Kalmakyr deposit of JSC "Almalyk MMC." The study utilized comparative-analytical and geometrological modeling methods based on the geological-mineralogical composition and processing schemes (Heap/Agitation Leaching, SX-EW, sulfidizing flotation) of more than 10 major deposits worldwide, such as Eskondida, Kollahusi, Morenji, Oyu Verde, Oyu Tolgai, and Kamoto.

Keywords: oxidized copper ore, porphyritic deposits, Kalmakyr, leaching, SX-EW, correlation of gold and silver, clay minerals, two-stage hydrometallurgy.

KIRISH.

Misga global talab o‘sishda davom etmoqda: so‘nggi 50 yil ichida dunyo miqyosida misdan foydalanish deyarli to‘rt barobar oshdi, bu elektr va elektron mahsulotlar, binolar qurilishi, sanoat mashinalari va uskunalari, transport vositalari, iste’mol va umumiy mahsulotlar kabi kengayib borayotgan tarmoqlar tufayli yuzaga keldi. 2024-yilda mis ishlab chiqarishning umumiy hajmi 23 mln tonnaga yetdi. Mis iste’moli 27,4 mln tonnani tashkil etdi. Xitoy 2024-yilda tozalangan misning eng yirik iste’molchisi bo‘lib, global mis iste’molining 58 foizini tashkil etdi [1].

Porfir tipidagi mis konlari bugungi kunda dunyo mis resurslarining asosiy qismini tashkil etadi. Ushbu turdagi konlar yirik hajmga ega bo‘lib, ularning geologik tuzilishi va metall tarkibi sanoat miqyosida samarali qazib olish imkonini beradi. Dunyo miqyosida eng yirik porfir mis konlari sifatida Chilidagi El Teniente va Chuquikamata konlari e’tirof etiladi. Har ikkala kon dastlab 100 mln tonnadan ortiq mis zaxirasiga ega bo‘lgan. Shuningdek, Indoneziya, Mongoliya, AQSh, Meksika, Panama va Peru hududlarida joylashgan yirik porfir konlari global miqyosda muhim ahamiyat kasb etadi. 2013-yil holatiga ko‘ra, ushbu hududlardagi

ISSN 3030-3907

konlar dunyodagi eng yirik 25 ta faol mis qazib olish loyihalarining 19 tasini tashkil etgan [2].

2015-yilda United States Geological Survey [3] tomonidan o‘tkazilgan tadqiqot natijalariga ko‘ra, hali ochilmagan porfir tipidagi mis konlarida taxminan 3,1 mlrd tonna mis mavjud bo‘lishi mumkin. Bu ko‘rsatkich hozirgi kunda aniqlangan 1,8 mlrd tonna mis zaxirasidan deyarli ikki barobar ko‘pdir. Global baholash jarayonida 11 ta yirik geologik hududdan 10 tasi porfir mis konlari uchun istiqbolli deb topilgan.

O‘zbekiston hududidagi mis konlari va ularning zaxiralari nafaqat Markaziy Osiyo mintaqasida, balki global miqyosda ham strategik ahamiyatga ega. Bugungi kunda mamlakatimiz dunyodagi eng yirik rangli metallurgiya markazlaridan biri hisoblanadi. Yashil iqtisodiyot va yuqori texnologiyalar davriga o‘tilayotgan bir paytda, yurtimizning mis zaxiralari xalqaro bozordagi talabni qondirishda muhim o‘rin egallamoqda [4].

Bu borada, ayniqsa, “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ tarkibiga kiruvchi Qalmoqir koni alohida mavqega ega. Toshkent viloyatining Olmaliq hududida joylashgan ushbu kon Markaziy Osiyodagi eng ulkan va muhim porfir mis konlaridan biri hisoblanadi. Kon 1959-yilda rasman ishga tushirilgan [5]. Bugungi kunda konda qazib olish ishlari ochiq usulda olib borilmoqda. Konning umumiy ruda zaxirasi taxminan 2,5 mlrd tonna deb baholangan bo‘lib, undagi misning o‘rtacha miqdori 0,38 % ni tashkil etadi. Qalmoqir konining o‘ziga xosligi shundaki, uning asosiy mahsuloti bo‘lgan mis bilan birgalikda, sanoat uchun o‘ta yuqori qiymatga ega molibden, oltin, kumush, selen, tellur va reniy kabi qimmatbaho metallar ham yo‘ldosh komponent sifatida ajratib olinadi [6].

Konning ko‘p yillik faoliyati davomida uning yuqori qatlamidan qazib olingan oksidlangan va aralash mis rudalari maxsus 9 ta chiqindixonaga to‘plab kelingan. Hozirgi kunda ushbu hududlarda umumiy miqdori 100 mln tonnaga yaqin (Cu tarkibi — 0,455 %) balansdan tashqari va 10 mln tonnadan ortiq (Cu tarkibi — 0,827 %) balansdagi oksidlangan hamda aralash rudalar zaxirasi mavjud [7].

Ayni paytda korxonaning texnologik quvvatlari asosan sulfidli rudalarni qayta ishlashga qaratilgan. Ushbu murakkab texnologik jarayon bir necha bosqichni o‘z ichiga oladi: dastlab ruda yirik bo‘laklardan maydalanadi va maxsus sharli tegirmonlarda yanchiladi; so‘ngra yanchilgan ruda massasi kollektiv flotatsiya jarayonidan o‘tkaziladi; shundan keyin selektiv flotatsiya usuli orqali mis va molibden minerallari bir-biridan yuqori aniqlikda ajratib olinadi. Yakuniy bosqichda olingan boyitilgan konsentrat kombinat tarkibidagi mis eritish zavodiga yakuniy mahsulot olish uchun yuboriladi [8].

Chili dunyodagi eng yirik mis zaxirasiga ega davlatlardan biri hisoblanadi. Dunyo miqyosida qazib olinayotgan umumiy misning 24 % ulushi Chiliga to‘g‘ri

ISSN 3030-3907

keladi. Chilining shimolida, Antofagastadan taxminan 160 km uzoqlikda joylashgan Eskondida porfir mis koni mamlakat va dunyo miqyosidagi eng yirik mis ishlab chiqaruvchi kon hisoblanadi. Yillik ishlab chiqarish hajmi 800 ming tonnadan 1,2 mln tonnaga yetadi. Konda 30 mln tonnadan ortiq mis metali zaxirasi mavjud. Sulfidli ruda tarkibida mis – 1,21 %, oksidli rudada – 0,7 %, aralash rudada o‘rtacha 1,03 % ni tashkil etadi [9]. Eskondida konida sulfidli rudalar ananaviy flotatsion usulda qayta ishlanadi. Past sifatli, balansdan tashqari sulfidli mis rudalarini qayta ishlashda uyumda bakterial tanlab eritish usuli qo‘llaniladi.

Ma’lumotlarga ko‘ra [10] kondagi o‘rtacha 1,21% Cu tarkibli sulfidli rudalar flotatsiya usulida boyitilib, keyinchalik eritish zavodlariga yuboriladi. Oksidlangan mis rudalari esa ilgari sulfat kislota yordamida uyumda tanlab eritish texnologiyasi asosida qayta ishlangan, biroq hozirgi vaqtda ushbu turdagi rudalar zaxirasi deyarli tugagan. Past sifatli, balansdan tashqari (0,3–0,5% Cu) sulfidli rudalarni bakterial uyumda tanlab eritish texnologiyasi qo‘llaniladi. Jarayonda misning ajralish darajasi 30–40% atrofida bo‘lib, bu ko‘rsatkich rudaning maydalanmasdan, yirik bo‘lak holida (taxminan 1 m^3 gacha) uyumga yuklanishi bilan izohlanadi. Natijada erituvchi eritmaning mineral yuzasi bilan ta’sir yuzasi cheklanadi va biooksidlanish jarayoni sustlashadi. Shuningdek, texnologik jarayonda rudada mavjud bo‘lgan oltin va kumush kabi nodir metallar ajratib olinmaydi.

Kollahusi koni Chilidagi eng yirik mis konlaridan biri bo‘lib, dunyodagi eng katta porfir mis konlari qatoriga kiradi. Kon And tog‘lari hududida, dengiz sathidan taxminan 4400 metr balandlikda joylashgan. Ruda tarkibida misning o‘rtacha miqdori 0,92 %, qo‘shimcha metallar molibden va kumush. Kondan yiliga 500-650 ming tonna mis ishlab chiqariladi. O‘tkazilgan tadqiqotlarda kon rudasini guruhlarga ajratish amaliyoti qo‘llanilgan, unga ko‘ra ruda tarkibida gil minerallari va kvars miqdori oshgani sari flotatsiya jarayonida ko‘pik hosil bo‘lishi kamayadi, natijada misning ajralish darajasi tushadi, shu sababli “ma’danlarni aralashtirish” usuli ishlab chiqilgan [11]. Kollahusi koni rudasi Qalmoqir koni rudasiga geologik jihatdan juda mos keladi, ikkala kon ham yirik masshtabli, metall miqdori uncha yuqori bo‘lmagan (0,3-0,8 %), lekin zaxirasi katta bo‘lgan mis-porfir koni hisoblanadi. Gil minerallari (clay minerals) va kvarsning flotatsiyaga salbiy ta’siri Qalmoqir rudasi uchun ham eng katta muammolardan biridir. Qalmoqirda ham gil miqdori ko‘payganda boyitish fabrikasida (MOF-1, MOF-2) mis va oltin tiklanish darajasi tushib ketadi. Lekin Kollahusida asosiy e’tibor misning ajralishiga qaratiladi, Qalmoqir konida esa oltin va kumushning ajralishi juda muhim. Kollahusi koni chuqurlashgan sari minerallar barqarorlashadi, Qalmoqir koni uzoq yillardan beri ekspluatatsiya qilinayotganligi sababli ruda tarkibi murakkab va o‘zgaruvchan bo‘lib bormoqda.

ISSN 3030-3907

Kollahusi konida oksidlangan mis rudalarini qayta ishlash — bu konning butun rivojlanish tarixini va iqtisodiy muvaffaqiyatini belgilab bergan eng asosiy yo‘nalishlardan biridir. Kollahusi konining yuqori qismida juda ulkan oksidlangan ruda qatlami (asosan xrizokolla, malaxit va azurit minerallari) bo‘lgani sababli, kombinat faoliyatining dastlabki yillarida aynan gidrometallurgiya kompleksi orqali ish boshlagan. Birinchi bosqichda oksidlangan rudalar 10-12 mm gacha 3 bosqichda maydalanadi. So‘ngra oz miqdorda sulfat kislota va suv qo‘shilib maxsus barabanlarda aglomeratsiya qilinadi, ya’ni mayda zarralar bir-biriga yopishib kislota oson sizib o‘tadigan donachalar holiga keltiriladi. Tayyorlangan ruda uyum ko‘rinishiga keltirilib sulfat kislota yordamida tanlab eritiladi. Olingan eritmadan mis organik ekstragent yordamida ajratib olinadi. Tayyor toza eritma elektroliz vannalariga yuboriladi, sofligi 99,99% katod mis olinadi [12]. Lekin Kollahusi konida oksidlangan rudalarni qayta ishlashda oltin va kumush ajratib olinmaydi, chunki bu konning ustki oksidlangan qismida oltin va kumush miqdori o‘ta past (0,1-0,2 g/t dan ham kam) bo‘lgan. Iqtisodiy jihatdan uni qo‘shimcha texnologiyalar bilan ajratib olish o‘zini oqlamagan. Qalmoqir koni oksidlangan ruda tarkibida oltin va kumushning miqdori yuqori ekanligini hisobga olib bu texnologik zanjirni qo‘llash maqsadga muvofiq emas.

Grasberg koni dunyodagi ikkinchi eng katta mis zaxiralariga ega kondir, rudada misning o‘rtacha miqdori 1,09 %. U Indoneziyaning eng sharqiy provinsiyalari bo‘lgan Irian Jayadagi Tembagapurada joylashgan. Grasberg koni 2019-yil 4-choragiga qadar ochiq qazib olish usulida ishlagan, undan so‘ngra keng ko‘lamli yer osti qazib olish usuliga o‘tgan. Shu kunga qadar kondan 16 mln tonnadan ortiq mis va 1,6 ming tonnadan ortiq oltin metali qazib olingan [13]. Ruda konda birlamchi maydalashdan o‘tadi, so‘ngra yanchish kompleksiga yanchish va flotatsiya qilish uchun yetkazib beriladi. Grasbergning yanchish va boyitish kompleksi dunyodagi eng yirik bo‘lib, kuniga o‘rtacha 240 ming tonna rudani qayta ishlaydi. Olingan mis, oltin, kumush tarkibli flotakonsentrat quritilib butun dunyo bo‘ylab eritish zavodlariga yuboriladi [14].

Grasberg koni baland tog‘li va yuqori namlikka ega (tropik yomg‘irlar zonasi) hududda joylashganligi sababli kon yuzasidagi oksid qatlam tabiiy yuvilib ketgan. Hozirda yer osti usulida qazib olinadi, chuqurlikda oksidlar mavjud emas. Bundan shunday xulosaga kelish mumkinki, Grasberg konida oksidlangan mis rudasi mavjud emas.

Kamoa-Kakula koni Kongo Demokratik Respublikasi Lualaba shahrida joylashgan dunyodagi eng yirik mis konlaridan biri bo‘lib unda yiliga taxminan 700 ming tonnadan ortiq mis ishlab chiqariladi. Mazkur loyiha bir-biridan 11 km uzoqlikda joylashgan Kamoa va Kakula mis konlarini o‘z ichiga oladi. Boshqa mis-porfir konlaridan farqli ravishda (Kollahusi, Qalmoqir) Kamoa-Kakula cho‘kindi

ISSN 3030-3907

jinslarda joylashgan mis koni hisoblanadi, ruda pastki qatlamda o‘ta izchil va qalin chiziq holatda joylashgan. Kakula blokida o‘rtacha mis miqdori 5,5-6% dan yuqori, ba’zi zonalarda 10-15% gacha yetishi mumkin. Kamoa-Kakula rudasining eng katta yutug‘i – mineralogiyasining soddaligidir. Undagi asosiy mis minerallari xalkozin, bornit va oz miqdorda xalkopirit hisoblanadi. Rudada temir deyarli yo‘qligi sababli uni boyitish juda oson. An’anaviy flotatsiya orqali 50-55% li o‘ta boy mis konsentrati olish mumkin. Bu metallurgiya zavodlarida eritish xarajatlarini keskin kamaytiradi. Kon 100% birlamchi sulfidli ruda zaxiralariga tayangan holda ishlaydi [15, 16].

Morenji koni – AQSh dagi eng yirik va muhim mis konlaridan biri bo‘lib, u dunyodagi eng yirik ochiq mis konlari qatoriga kiradi. Arizona shtatining janubiy-sharqida joylashgan, asosiy mahsuloti – mis. Taxminiy ruda zaxirasi 3,2 mlrd tonna, o‘rtacha 0,16 % mis tarkibli ruda. Ishlab chiqarish xajmi yiliga 330-380 ming tonnani tashkil etadi [17]. Konda ikki xil turdagi ruda mavjud: sulfidli (xalkopirit, xalkozin) va oksidlangan (malaxit, azurit, xrizokolla). Shuning uchun kombinatda ruda ikki xil parallel texnologik zanjir orqali qayta ishlanadi: 1-tizim: oksidlangan va past navli rudalar uchun uyumda tanlab eritish; 2-tizim: boy sulfidli rudalar uchun – flotatsiya va avtoklavda eritish [18]. Oksidlangan va past navli rudalar uyumda sulfat kislota orqali tanlab eritiladi, eritmadan mis ekstraksiya qilinadi. So‘ngra mis organik fazadan o‘ta toza, konsentrlangan suvli eritma holiga qayta yuvib olinadi. Toza va to‘yingan mis eritmasi elektroliz vannalariga yuboriladi. Natijada tozaligi 99,99% bo‘lgan tayyor katod misi olinadi. Lekin bu texnologiyada oltin va kumush ajratib olinmaydi, chiqindi bilan yo‘qotiladi.

Bu yerda pirometallurgiya zavodi umuman yo‘q, barcha sulfidli konsentratlar gidrometallurgik usulda qayta ishlanadi. Sulfidli rudalar flotatsiya qilinib 25-30% li mis konsentrati olinadi. Konsentrat avtoklavga yuborilishidan oldin IsaMill tegirmonlarida 6-8 mikron o‘lchamgacha yanchiladi, bu mineral yuzasini ochish va erish kinetikasini tezlashtirish uchun amalga oshiriladi. Avtoklavda 200 ^{o}C harorat va yuqori bosim (1380 kPa) ostida 2 soat ichida eritmaga o‘tkaziladi. Olingan eritma elektroliz qilinib toza mis olinadi. Oltin va kumush avtoklavda erimay qolgan qattiq fazada qoladi va keyingi jarayonda ajratib olinadi.

Peruning janubiy-g‘arbiy qismida joylashgan Kerro Verde mis koni dunyo bo‘yicha eng yirik konlardan biri hisoblanadi, uning taxminiy ruda zaxirasi 4,63 mlrd tonnani tashkil etadi, rudada misning o‘rtacha miqdori 0,4 % ga teng. Yillik ishlab chiqarish hajmi 450 ming tonna mis, 10,5 ming tonna molibdenni tashkil etadi. Kon nafaqat sulfidli ruda, balki oksidlangan ruda zaxirasi bo‘yicha ham ustunlik qiladi. Kerro Verde konida oksidlangan va aralash rudalarni qayta ishlash uchun dunyoning eng yirik gidrometallurgiya majmualaridan biri qurilgan. Kon

ISSN 3030-3907

yiliga o‘rtacha 35–40 mln tonna oksidlangan va aralash rudani to‘g‘ridan-to‘g‘ri uyumda tanlab eritish (Heap Leaching) maydonchalariga joylashtiradi, rudaning bir qismi maydalanib (crushed), bir qismi esa yirik bo‘laklar holida (Run-of-Mine) to‘g‘ridan-to‘g‘ri uyumlarga to‘kiladi va tanlab eritiladi. Bu jarayonda oltin va kumush ajratib olinmaydi, uyumlarda qolib ketadi. Oksidlangan ruda tarkibidagi oltin va kumush konsentratsiyasi (<0,5 g/t Au) qayta ishlash uchun yetarli emas deb baholangan. Kerro Verde koni sulfidli rudalari uchun metllurgiya zavodi mavjud emas. Sulfidli rudalar maydalanib, yanchilib flotatsiya qilinadi, olingan flotakonsentrat quritilib eritish zavodlariga eksport qilinadi. [19, 20]. Kerro Verde va Qalmoqir konlari mineralogik jihatdan bir-biriga juda o‘xshash hisoblanadi. Ikkala konning ham asosiy minerallari xalkopirit, pirit, molibdenit, pirit miqdori juda yuqori. Har ikki konda ham oltin va kumush mustaqil yirik minerallar shaklida emas, balki sulfidlar (xalkopirit va pirit) ichida mayda dispers holatda uchraydi.

Buenavista del Kobre koni (oldingi nomi – Kananea Mine) – dunyodagi eng yirik mis konlaridan biri bo‘lib, u ochiq usulda ishlaydigan gigant porfir mis koni hisoblanadi. Meksikaning Sonora shtatida joylashgan. Asosiy mahsuloti mis, molibden va kumush. Yillik ishlab chiqarish hajmi 450-500 ming tonna [21]. Buenavista del Kobre koni kuchli oksidlanish va ikkinchi darajali sulfidli zonaga ega. Ustki qatlamlarda mis silikati va karbonatlari o‘ta faol rivojlangan. Chuqurlashgan sari birlamchi sulfidlar mustahkamlashadi, Qalmoqirdan asosiy farqi bo‘sh tog‘ jinslarini asosini karbonatlar tashkil qiladi. Oksidlangan va aralash ruda tarkibi o‘xshash, ammo Buenavista del Cobreda oksidlangan ruda tarkibida oltin va kumush miqdori past. Buenavista koni o‘zining ulkan zaxiralarini kompleks qayta ishlash uchun dunyoda birinchilardan bo‘lib parallel ikkita yirik sanoat zanjirini joriy qilgan: Gidrometallurgiya liniyasi (Oksidlangan va past navli rudalar uchun) - kon yiliga millionlab tonna oksidlangan rudani uyumda tanlab eritish (Heap Leaching) + SX-EW (Ekstraksiya va Elektroliz) texnologiyasi orqali qayta ishlaydi. Ruda tarkibida kalsit yuqori bo‘lganligi uchun uyumda tanlab eritishda karbonat kislotada erib gips hosil qiladi, bu eritma o‘tishini qiyinlashtiradi. Ular buni kislota konsentratsiyasini va sug‘orish intensivligini dinamik nazorat qilish orqali hal qilishadi [22]. Jarayondan 99,99% li mis ajratib olinadi, lekin bu liniyada oltin va kumush ajratib olinmaydi. Ikkinchi liniya – flotatsiya liniyasi (sulfidli rudalar uchun), an’anaviy texnologik jarayon.

Antamina koni – Peru And tog‘larida joylashgan dunyodagi eng yirik mis-rux konlaridan biri bo‘lib, yuqori tog‘li sharoitda ishlaydigan murakkab yirik skarn tipidagi kon hisoblanadi. Kon murakkab mineralogik tarkibga ega bo‘lib mis va rux birgalikda qazib olinadi [23]. Ishlab chiqarish hajmi yiliga 400-450 ming tonna mis, 300 ming tonna atrofida rux konsentrati [24]. Ruda ochiq karyerdan portlatish orqali olinadi, birlamchi maydalanadi. Ruda suv bilan aralashtirilib SAG mill va

ISSN 3030-3907

sharli tegirmonlarda yanchiladi. Avval mis va rux kollektiv flotatsiya qilinadi, so‘ngra selektiv usulda bir-biridan ajratiladi [25].

Tenke Fungurume koni - bu Afrikaning eng yirik va eng boy mis–kobalt konlaridan biri bo‘lib, Kongo Demokratik Respublikasining (KDR) Lualaba viloyatida joylashgan. Mis-kobalt zaxiralari bo‘yicha yetakchi konlardan biri hisoblanadi. Yillik ishlab chiqarish hajmi 182 ming tonna mis, 15 ming tonnadan ortiq kobalt. Ruda tarkibida o‘rtacha 2,1 % mis va 0,3 % kobaltdan iborat bo‘lgan 176,8 mln tonnalik ruda zaxirasi mavjud [26]. Tenke-Fungurume o‘zining oksidlangan mis-kobalt rudalari va ularni qayta ishlash bo‘yicha dunyodagi eng ilg‘or gidrometallurgiya majmuasiga ega ekanligi bilan mashhur. Bu konning ustki qatlami (oksidlanish zonasi) yer yuzasidan boshlab o‘rtacha 50 metrdan 100 metrgacha, ba’zi joylarda esa undan ham chuqurroqqa cho‘zilgan. Boshqa korxonalardan farqli ravishda bu yerda oksidlangan mis rudasi uyumda emas balki, chanlarda tanlab eritiladi. Karyerdan qazib olingan yuqori navli ruda yanchilib aralashtirgichli chanlarga yuklanadi, ustidan sulfat kislota va muhitni sozlash uchun SO_2 gazi purkaladi. Erituvchi bilan yaxshi kontakt bo‘lganligi uchun misning ajralishi 90-95% ga yetadi. Ruda tarkibida oltin va kumush kabi qimmatbaho metallar sanoat miqyosida ajratib olishga arziydigan konsentratsiyada (yoki umuman) mavjud emas. Shu sababli ajratib olinmaydi [27].

El Teniente koni – eng yirik yer osti (underground) mis konlaridan biri bo‘lib, Chili And tog‘larida joylashgan. Yillik ishlab chiqarish hajmi 400-500 ming tonna mis. Dunyoning eng chuqur yer osti konlaridan biri bo‘lib kon ichida 3000 km dan ortiq tunnel tizimi mavjud. Qazib olingan ruda flotatsiya usulida qayta ishlanadi va eritish zavodlariga yuboriladi [28]. El Teniente va Qalmoqir koni rudalari genetik jihatdan bir-biriga juda yaqin, mis-porfir turiga kiradi. El Tenienteda asosiy e’tibor mis va molibdenga qaratiladi, chunki ruda tarkibida oltin va kumush miqdori nisbatan pastroq.

Kobre Panama – eng yirik zamonaviy ochiq usulda ishlaydigan mis konlaridan biri bo‘lib, Panama davlatining Kolon provinsiyasida joylashgan. Asosiy mahsulotlari – mis, oltin, kumush va molibden. Yillik ishlab chiqarish hajmi 300 ming tonna mis, tasdiqlangan ruda zaxirasi 3,1 mlrd tonna. Kon maydoni 13,6 ming gektardan ortiq hududni egallagan bo‘lib, u Botija, Colina, Valle Grande, Balboa va Medio kabi bir nechta yirik ruda tanalaridan iborat [29]. 2023-yil noyabrda ekologik muammolar tufayli konda qazib olish ishlari tugatilgan. Hozirda konni to‘liq yopish yoki qat’iy ekologik talablar ostida qayta ochish masalasi ko‘rilmoqda [30]. Konning yer yuzasiga yaqin gorizontlarda va ruda tanalarining eng ustki qismida 10–30 metr qalinlikda oksidlangan va aralash ruda qatlami hosil bo‘lgan. Lekin oksidlangan va aralash rudalarni qayta ishlash uchun alohida gidrometallurgik tizim mavjud emas. Karyerdan qazib olingan oksidlangan

ISSN 3030-3907

va aralash ruda asosiy sulfidli rudaga juda kam miqdorda, 3-5 % dan oshmagan nisbatda aralshtirilib boyitish fabrikasiga yuborilgan. Kobre Panama majmuasida ruda juda yuqori texnologiyali va ulkan quvvatga ega an'anaviy sulfidli flotatsiya sxemasi bo'yicha qayta ishlangan. Olingan flotakonsentrat quritilib portga yuborilib, Xitoy, Yaponiya, Yevropa davlatlariga eksport qilingan.

Las Bambas koni - Perudagi dunyoning eng yirik mis konlaridan biri bo'lib, ochiq usulda qazib olinadi. Kon Peru janubidagi Apurimak hududida, dengiz sathidan taxminan 3800–4600 m balandlikda joylashgan. Kon 2016-yilda ishga tushirilgan. Asosiy mahsuloti mis, qo'shimcha ravishda molibden, oltin va kumush metallari ham olinadi. 2 mlrd tonnadan ortiq ruda zaxirasiga ega, rudada misning o'rtacha konsentratsiyasi 0,71 % [31]. Kon rudasining asosiy qismi ohaktoshlar va boy skarn jinslariga to'g'ri keladi. Kon asosiy 3 ta uchastkadan – Ferrobamba, Chalkobamba, Sulfobamba karyerlaridan iborat. Yillik mis ishlab chiqarish hajmi 300-400 ming tonna [32]. Las Bambas konida oksidlangan mis rudalari mavjud va ularning ma'lum bir qismi qayta ishlangan. Las Bambasni loyihalashda konda alohida gidrometallurgiya zavodi qurilmasligiga qaror qilingan. Buning o'rniga oksidlangan rudalarni mavjud yirik boyitish fabrikasida qayta ishlash texnologiyasi joriy etilgan. Karyerning ustki qatlamlari qazilganda, toza oksidlangan rudalar alohida emas, balki asosiy sulfidli rudalarga juda kam miqdorda (5% dan oshmagan proporsiyada) aralashtirilib, boyitish fabrikasining SAG tegirmonlariga uzatilgan. Flotatsiyada ularni ajratib olish uchun pulpa ichiga maxsus modifikator — natriy gidrosulfidi qo'shilgan. Tarkibida oksidlanish darajasi juda yuqori bo'lgan (sulfidizatsiya usuli bilan ham flotatsiyada ajratib olish qiyin bo'lgan) ruda massalari esa fabrikaga berilmagan. Ular karyerdan qazib olingach, alohida oksidlangan ruda omborlariga vaqtincha saqlash uchun to'plangan. Las Bambas konida oksidlangan ruda muammosi flotatsiya siklining o'zida, ya'ni natriy gidrosulfid reagentini dozalash orqali qisman hal qilingan. Ammo Qalmoqir sharoitida ushbu usulni qo'llash qiyin. Chunki, Qalmoqirdagi oksidlangan va balansdan tashqari rudalar hajmi Las Bambasdagidan ancha katta, shu bilan birga oltin va kumush miqdori yuqori. Agar ularni Las Bambas kabi oddiygina sulfidlab flotatsiya qilsak, oltinning katta qismi chiqindiga ketib qoladi.

Los Pelambres — Chilidagi eng yirik mis konlaridan biri bo'lib, mamlakatning Kokumbo mintaqasida, Santiago shahridan taxminan 240 km shimolda joylashgan. Kon And tog'lari hududida, dengiz sathidan 3600 m balandlikda joylashgan. 1999-yilda ishga tushirilgan [33]. Ochiq usuldagi (open-pit) porfir mis koni, misga qo'shimcha ravishda molibden, oltin va kumush metallari ham olinadi. Kon rudasi past navli (Cu – 0,5-0,7 %), ammo hajmi juda katta. Mis metalining zaxirasi 25 mln tonnadan ortiq deb baholangan [34]. Qazib olingan ruda birlamchi maydalashdan so'ng SAG va sharli tegirmonlarda

ISSN 3030-3907

yanchiladi, so‘ngra flotatsiya qilinib olingan konsentratlar quvur orqali Los Vilos portiga yuboriladi. U yerdan xalqaro metallurgiya zavodlariga (Xitoy, Yaponiya, Yevropa) eksport qilinadi [35]. Tabiiy jarayonlar oqibatida kon yuzasidagi oksidlangan qatlam yuvilib ketgan, natijada sanoat uchun juda past ko‘rsatkichdagi (<0,05%) oksidlangan ruda qatlami hosil bo‘lgan. Hozirgi kunda bu yerda oksidlangan ruda qayta ishlanmaydi. Karyerdan ruda qazib olish jarayonida duch kelinadigan oz miqdordagi oksidlangan jinslar alohida tosh uyumlariga yoki balansdan tashqari chiqindixonalarga chiqarib tashlanadi.

Polar Division (Norilsk) – yirik kon-metallurgiya majmuasi bo‘lib Rossiyaning Norilsk sanoat zonasidagi bir nechta mis-nikel konlari va qayta ishlash zavodlarini birlashtirgan ishlab chiqarish tizimidir. Taymir yarimoroli hududida joylashgan bo‘lib Talnakskoye, Oktyabrskoye, Norilsk-1 konlarini tarkibiga oladi. Konlarni qazib olish ham ochiq, ham yer osti usulida olib boriladi, biroq asosiy va eng boy zaxiralar chuqur yer osti shaxtalaridan olinadi. Mis, nikel, kobalt, palladiy, platina, oltin, kumush metallari qazib olinadi. Ruda zaxirasi 1,37 mlrd tonna, misning o‘rtacha miqdori 1,18 %, nikel – 0,69 % [36, 37]. Qalmoqir ruda tarkibida asosiy urg‘u mis va oltin metallariga berilsa, Norilskda mis bilan bir qatorda, jahon yuqori texnologiyalar bozori uchun o‘ta muhim hisoblangan nikel va palladiy metallari asosiy iqtisodiy omil hisoblanadi. Shu bois, ulardagi boyitish va metallurgiya jarayonlari Qalmoqir rudasi flotatsiyasidan texnologik jihatdan ancha farq qiladi. Norilskda oksidlangan rudalar asosan “Medvezhiy Ruchey” (aynan ochiq karyer usulida qaziladigan qismi) va Norilsk-1 konining ustki qatlamlarida to‘plangan. Biroq, umumiy sanoat zaxiralari nuqtai nazaridan ularning ulushi juda kam hisoblanadi. Kimyoviy jarayonlar ta’sirida sulfidlar oksidlanib yuvilib ketgan bo‘lsa-da, eng qimmatbaho komponentlar — palladiy va platina minerallari geokimyoviy jihatdan barqaror bo‘lgani uchun shu oksidlangan qatlamlar ichida konsentratsiyalangan holda qolib ketgan. Norilskda oksidlangan rudalarni qayta ishlash juda qiyin muammo hisoblanadi. Chilidagi kabi oddiy sulfat kislotali tanlab eritish usulini bu yerda qo‘llash qiyin, chunki Shimoliy qutb doirasidagi doimiy muzliklar va o‘ta sovuq iqlim sharoiti ochiq osmon ostida kimyoviy eritmalar bilan ishlashga imkon bermaydi. Shu sababli sulfidlab flotatsiyalash usulidan foydalaniladi. Bunda natriy sulfid yoki natriy gidrosulfiddan foydalaniladi. Oksidlangan rudalardan olingan konsentrat an’anaviy sulfidli konsentratlarga qaraganda ko‘proq temir, kremniy va gil aralashmalariga ega bo‘ladi. Shu sababli u alohida emas, balki Nadejda metallurgiya zavodida boy sulfidli konsentratlar bilan ma’lum bir proporsiyada aralashtirilgan (shixtalangan) holda pirometallurgiya pechlariga yuboriladi.

Chukikamata - Chilining shimolidagi Atakama cho‘lida joylashgan eng yirik ochiq usuldagi mis konlaridan biri bo‘lib dengiz sathidan taxminan 2850 metr

ISSN 3030-3907

balandlikda joylashgan. Chukikamata bir asrdan ko‘proq vaqt davomida (1915-yildan boshlab) faqat ochiq usulda qazilgan va u dunyodagi eng yirik ochiq karyer (hajmi bo‘yicha) hisoblanadi: uzunligi: 4.3 km, kengligi: 3 km, chuqurligi: 1100 metrdan ziyod (yer sayyorasidagi eng chuqur inson qo‘li bilan kavlangan chuqurliklardan biri). Avval ochiq usulda faoliyat yuritgan kon hozirda bosqichma-bosqich yer osti qazib olish tizimiga o‘tmoqda [38, 39]. 2019-yil avgust oyida Chukikamata Underground koni ishga tushirildi. Konning umumiy zaxirasi 1,028 mlrd. tonna bo‘lib, misning o‘rtacha miqdori 0,82 %, yillik mis ishlab chiqarish hajmi 2021-yil holatiga ko‘ra 319 ming tonna, kumush 265 tonna dan oshdi [40, 41]. Konda tabiiy geologik jarayonlar va Atakama sahrosining o‘ta quruq iqlimi natijasida birlamchi sulfidlar kuchli oksidlanishga uchragan va o‘ta boy oksidlangan qatlam hosil bo‘lgan. Oksidlanish zonasi yer yuzasidan boshlab 200–350 metr chuqurlikkacha yetgan. Qalmoqir konidan farqli olaroq, Chukikamataning oksidlangan rudalarida malaxit va azuritdan tashqari, antlerit, broshantit va atakamit kabi o‘ziga xos mis-sulfat va mis-xlorid minerallari ustunlik qilgan. Bu minerallarning boshqa mineral tiplaridan ustunligi shundaki, ular sulfat kislotada juda oson va tez eriydi. Kon 100 yildan ortiq vaqt davomida ochiq karyer usulida qazib olingani sababli, ustki qatlamdagi barcha oksidlangan rudalar qazib olingan va SX-EW (uyumda tanlab eritish) zavodlarida qayta ishlab bo‘lingan. Chukikamatada oksidlangan rudadan faqat mis ajratib olingan, chunki unda oltin deyarli bo‘lmagan. Karyer hozirda 1100 metrdan chuqurlashib ketgan va boy sulfidli rudalar qatlamiga o‘tgan. Yuqorida aytib o‘tilganidek, kon hozir butunlay yer osti usuliga o‘tib, faqat birlamchi sulfidli rudalar flotatsiya qilinadi.

Oyu Tolgoi koni dunyodagi eng yirik mis va oltin konlaridan biri bo‘lib, Mongoliyaning janubidagi Gobi cho‘lida joylashgan. 2013-yilda ochiq usulda ishga tushirilgan kon 2023-yildan boshlab yer osti usuliga o‘tgan [42]. Asosiy metallari mis, oltin va kumush. Misning taxminiy zaxirasi 35 mln tonnadan ortiq deb baholangan. Ruda asosan sulfidli holatda bo‘lib flotatsiya usulida qayta ishlanadi, olingan konsentrat asosan Xitoydagi eritish zavodlariga yuboriladi [43]. Oyu Tolgoi koni Qalmoqir konining eng mukammal egizak modeli bo‘la oladi. Chunki boshqa porfir konlarida mis-molibden metallari ustunlik qilsa bu konda mis-oltin metallari asosiy hisoblanadi. Oyu Tolgoi konida ham oksidlangan rudalar mavjud, biroq ularning hajmi va konda joylashishi Chukikamata yoki Qalmoqir konidagiga qaraganda ancha cheklangan. Konning yer yuzasiga eng yaqin qismi “Oyut” zonasi bo‘lib, aynan shu yerda qalinligi 20 metrdan 60 metrgacha bo‘lgan oksidlangan va o‘ta gilli ustki qatlam (clay-rich oxidized zone) mavjud bo‘lgan. Lekin ularni qayta ishlashda kislotali uyumda tanlab eritish usuli qo‘llanilmagan, bunga Gobi sahrosining keskin iqlimi (qishda -40 °C gacha sovuq) va rudada kislotani ko‘p yutadigan gilli minerallarning yuqoriligi to‘sqinlik qildi. Buning

ISSN 3030-3907

o‘rniga ular ma’lum bir proporsiyada (odatda umumiy boyitish shixtasining 5–10% qismidan oshmagan holda) asosiy birlamchi sulfidli rudalarga qo‘shib yuboriladi. Hatto oz miqdorda qo‘shilganda ham, oksidlangan gilli moddalar flotatsiya pulpasining qovushqoqligini oshirib yuboradi, havo pufakchalarini qoplaydi va sulfidlar (mis va oltin) ko‘pikka chiqishini qiyinlashtiradi. Buni bartaraf etish uchun boyitish fabrikasida gillarni cho‘ktiruvchi maxsus reagentlar (depressant/dispersant) va pulpa suyultirgichlar ishlatiladi.

Quallaveko koni Peruning janubidagi Moquegua hududida joylashgan yirik porfirli mis koni. Dunyodagi eng zamonaviy, to‘liq raqamlashtirilgan va yuqori texnologiyali ultra-yirik porfir mis-molibden konlaridan biridir. Kon dengiz sathidan taxminan 3500 metr balandlikda, And tog‘lari hududida joylashgan. Kon xalqaro tog‘-kon giganti Anglo American va Yaponiyaning Mitsubishi Corporation hamkorligidagi “Anglo American Quellaveco” kompaniyasi tomonidan boshqariladi. Kon 2022-yilning ikkinchi yarmida rasman ishga tushirildi va konchilikda “Kelajak koni” (FutureSmart Mining) konsepsiyasining jonli namunasidir. Konda ishlaydigan ulkan Cat 794 AC og‘ir yuk tashish samosvallari va burg‘ilash qurilmalari mutlaqo haydovchisiz, sun’iy intellekt va GPS nazorati ostida avtonom boshqariladi. Kon, boyitish fabrikasi va gidrotexnik inshootlarning butun tizimi kondan bir necha yuz kilometr uzoqlikdagi yagona integratsiyalashgan raqamli markazdan turib boshqariladi. Asosiy metal mis, qo‘shimcha ravishda molibden ham olinadi. 2022-yilda ishga tushirilgan, ochiq usulda ishlaydi. Ruda tarkibida misning o‘rtacha miqdori 0,5-0,6 %, yillik mis ishlab chiqarish hajmi 300 ming tonnadan ortiq [44]. Asosiy qayta ishlash usuli – flotatsiya, yanchishda SAG va sharli tegirmonlardan foydalaniladi. Ruda tanasining eng ustki qismida, yer yuzasidan taxminan 40-60 metr chuqurlikkacha bo‘lgan qatlamda birlamchi rudalarning nurashi natijasida oksidlangan ruda zonasi hosil bo‘lgan. Unda asosan malaxit, azurit va xrizokolla minerallari uchraydi. Karyerni ochish (ustki bo‘sh jinslarni olish) jarayonida chiqqan oz miqdordagi sof oksidlangan va juda kambag‘al jinslar alohida chiqindixonalarga tashlanadi, qayta ishlanmaydi. Asosiy boyitish fabrikasi esa faqat sulfidli rudalarni flotatsiya qilishga mo‘ljallangan.

Spens koni Chili shimolidagi Atakama cho‘lida dengiz sathidan 1700 metr balandlikda joylashgan yirik mis konidir. Kon 2006-yilda ishga tushirilgan. Ruda tarkibida mis oksidlangan va sulfid holatda. Yillik ishlab chiqarish hajmi mis uchun 200 ming tonnadan ortiq. Rudaning tasdiqlangan zaxirasi oksidlangan ruda uchun 74,8 mln tonna, mis o‘rtacha 1,24 %, sulfidli ruda 238,3 mln tonna, mis o‘rtacha 1,08 % [45]. Spens koni oksidlangan mis rudalarini juda yirik miqyosda va muvaffaqiyatli qayta ishlayotgan zamonaviy markaz hisoblanadi. Oksidlangan qatlamda asosan atakamit, broshantit va xrizokolla minerallari ustunlik qiladi. Bu rudalar quyidagicha qayta ishlanadi: Uyumda tanlab eritish (Heap Leaching), ruda

ISSN 3030-3907

maydalanib, ulkan uyumlarga uyiladi va sulfat kislota bilan tanlab eritiladi. Atakamit va broshantit mis-sulfat yoki mis-xlorid tabiati tufayli kislotada o‘ta yuqori kinetika bilan eriydi. SX-EW (Ekstraktsiya va Elektroliz), eritma organik reagentlar bilan boyitilib, elektroliz sexiga yo‘naltiriladi va to‘g‘ridan-to‘g‘ri 99,99% li sof katod misi olinadi [46]. Spens oksidlangan rudasidan oltin ajratib olinmaydi, chunki ruda tarkibida oltin sanoat darajasida juda kam hisoblanadi. Sulfidli rudalar an’anaviy flotatsiya usulida qayta ishlanadi.

Bingham Kanyon – AQSh ning Yuta shtati Salt Lake City yaqinida joylashgan ochiq usuldagi mis koni. 1906-yilda ishga tushgan. Tasdiqlangan ruda zaxirasi 541 mln tonna bo‘lib, tarkibida 2,11 mln tonna mis, 0,089 mln tonna molibden, oltin va kumush metallari mavjud. Ruda tarkibida misning o‘rtacha miqdori 0,47 %, molibden 0,044 %, oltin 0,25 g/t, kumush 2,08g/t ni tashkil etadi. Yillik ishlab chiqarish hajmi 186 ming tonnadan ortiq [47]. Ruda tarkibi sulfidli bo‘lganligi sababli qayta ishlashda flotatsiya qo‘llaniladi. Rudani yanchishda SAG va sharli tegirmonlardan foydalaniladi. Mis konsentrati eritish zavodiga 27 km masofada quvur orqali uzatiladi [48]. Bingem va Qalmoqir konlarining genetik o‘xshashligi shundaki, ular o‘ziga xos mis-oltin-molibden formatsiyasiga mansub. Tog‘-kon geologiyasida porfirli konlar odatda ikki asosiy turga ajratiladi: faqat mis-molibdenli (Chili tipi) va mis-oltinli (Tinch okeani orollari tipi). Bingem ham, Qalmoqir ham ushbu tasniflardan ajralib turib, har uchala metall kontsentratsiyasi ham sanoat miqyosida o‘ta yuqori bo‘lgan noyob polimetallik guruhni tashkil etadi.

Kamoto Mine – Kongo Demokratik Respublikasida joylashgan mis va kobalt konlaridan biri bo‘lib, Katanga mis kamarida joylashgan. Ochiq va yer osti usulida qazib olinadi. Ruda turi oksidlangan va sulfidli. Asosiy metallar mis va kobalt [49]. Kamoto ham o‘zining geologik tabiati bo‘yicha ikki qavatli (gibrid) ruda formatsiyasiga ega: konning yuqori gorizontlari to‘liq oksidlangan rudalardan iborat bo‘lsa, chuqurlashgan sari ular aralash va sof sulfidli rudalarga aylanib boradi. Kamotodan qazib olingan barcha oksidlangan va aralash mis-kobalt rudalari kon yaqinidagi mashhur Luilu metallurgiya zavodida qayta ishlanadi. Bu zavod gidrometallurgiya yo‘nalishida dunyodagi eng yirik va yetakchi korxonalardan biridir. Avval oksidlangan ruda maydalanib, yanchilib ulkan gidravlik pachuklarda sulfat kislota va SO_2 bilan tanlab eritiladi. Eritmadan dastlab mis organik moddalar bilan ajratib olinadi va elektroliz sexida 99,99% li katod misi ko‘rinishida cho‘ktiriladi. Misdan tozalangan eritma keyingi sexda murakkab kimyoviy cho‘ktirish va elektroliz orqali sof metal kobalt yoki uning tuzlari ishlab chiqariladi.

Xalqaro miqyosdagi ushbu tajribalar (ayniqsa, yirik konlarda qo‘llaniladigan texnologiyalar) Qalmoqir koni chiqindixonalaridagi oksidlangan ruda massasini qayta ishlash istiqbollarini baholashda muhim poydevor bo‘lib xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Quyida texnologik yechimlarni ilmiy asoslash maqsadida o‘rganilgan, Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasi namunasining mineralogik tarkibi keltirilgan (1-jadval).

1-jadval

Qalmoqir koni oksidlangan mis rudasining mineralogik tarkibi

Minerallar	SiO_2	A_2O_3	Fe_{jami}	Fe_{oksid}	Fe_{sulfid}	K_2O	Na_2O	MgO	MnO	P_2O_5
Miqdori, %	61,88	13,19	6,82	6,37	0,45	4,7	0,91	1,99	0,04	0,26
Minerallar	S_{jami}	SO_4	Pb	CaO	Zn	Ag, g/t	Au, g/t	Cu_{oksid}		Cu_{sulfid}
								erkin	Bog‘lang.	
Miqdori, %	0,20	<0,25	0,0067	0,76	0,017	1,83	1,54	0,43	0,22	0,05

XULOSA. Yuqoridagi mineralogik tarkibga asoslangan holda jahonning yirik mis konlari tajribasini qiyosiy tahlil qilish natijasida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

• An’anaviy gidrometallurgiyaning cheklanganligi (Chili modeli): Kollahusi, Kerro Verde, Spens va Chuquikamata konlarida qo‘llaniladigan an’anaviy kislotali uyumda tanlab eritish (Heap Leaching) va SX-EW texnologiyasi Qalmoqir uchun yakka o‘zi mos kelmaydi. Ushbu konlarning oksid qatlamida oltin bo‘lmaganligi sababli barcha jarayonlar faqat misni ajratishga qaratilgan. Agar Qalmoqirda ushbu sxema to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘llanilsa, ruda tarkibidagi qimmatbaho metallar (Au, Ag) chiqindiga ketib, butunlay yo‘qotiladi;

• To‘g‘ridan-to‘g‘ri aralashtirib flotatsiya qilishning salbiy oqibati (Mongoliya va Peru modeli): Oyu Tolgoi, Kobre Panama yoki Las Bambas konlari kabi oksidlangan gilli rudalarni asosiy sulfidli rudaga oz miqdorda (3–10%) qo‘shib flotatsiya qilish boyitish fabrikasidagi (MOF-1, MOF-2) umumiy ko‘rsatkichlarni tushirib yuboradi. Gilli minerallar pulpa qovushqoqligini oshirib mis hamda oltinning ko‘pikka chiqishini qiyinlashtiradi;

• Kombinatsiyalashgan yechim: Qalmoqir texnogen resurslaridan barcha metallarni kompleks ajratib olishning eng iqtisodiy va texnik asoslangan varianti ikki bosqichli sxema hisoblanadi:

a. Gidrometallurgiya: uyumda tanlab eritish yordamida kislotada eriydigan mis minerallarini eritmaga o‘tkazish, so‘ngra eritmadan misni ajratib olish;

b. Flotatsiya: tanlab eritishdan so‘ng qattiq qoldiqda (kekda) qolgan, yuzasi ochilgan sulfidli minerallar hamda ularning kristall panjaralarida mayda dispers

ISSN 3030-3907

holatda joylashgan oltin va kumushni flotatsiya qilish orqali konsentratga o‘tkazish, keyinchalik eritish zavodida metallarni ajratib olish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. International Copper Study Group. (2025). The world copper factbook 2025 (pp. 6–7).
2. Assessment of Undiscovered Copper Resources of the World, 2015. Scientific Investigations Report 2018–5160 Version 1.2, December 2021
3. https://www.usgs.gov/media/images/blister-copper-sample
4. Холикулов Д.Б., Болтаев О.Н., Хайдаралиев Х.Р. Mis ishlab chiqarish texnologik eritmalaridan metallarni cho‘ktiruvchi reagentlar yordamida ajratish // International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences. – 2020. – Т. 1, №2. – С. 36–45.
5. Kholikulov D., Khojiev Sh., Khaydaraliev Kh., Boltayev O., Khujayev T., Abdiev O., Yusupov A. Application of ozone for the treatment of process solutions and wastewater in copper production // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2025. – Т. 1. – № 19. – P. 193-197.
6. Elchiyeva, Mohinur & Holiqulov, Donyor & Boltayev, Olmos & Niyazmetov, Baxtiyor. (2025). OKSIDLANGAN MIS RUDASI TARKIBIDAGI MINERALLARNING QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI TANLASHDAGI AHAMIYATITHE IMPORTANCE OF THE MINERAL COMPOSITION OF OXIDIZED COPPER ORE IN THE SELECTION OF PROCESSING TECHNOLOGYЗНАЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ОКИСЛЕННОЙ МЕДНОЙ РУДЫ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ. Sanoatda raqamli texnologiyalar. 3. 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.11.
7. Тошкодирова Р.Э., Кенжаева С.А., Учкунов А.Т. Оптимизация параметров процесса экстракции при извлечении ионов тяжёлых металлов из растворов после биоокисления // International Journal of Scientific Bulletin. – 2026. – Т. 3. – № 1. – С. 24–29.
8. Кенжаева С. А., Тошкодирова Р. Э. Исследование переработки растворов, образующихся при биологическом окислении упорных золотосодержащих руд // *Development of Science*. – 2025. – Т. 2. – № 6. – URL: https://devos.uz/files/999.pdf
9. https://dmgeode.com/DepositPortal.aspx?DepositID=2276&utm_source=chatgpt.com
10. Parameters influencing the microbial oxidation activity in the industrial bioleaching heap at Escondida mine, Chile / Pamela E. Soto, Pedro A. Galleguillos, Marco A. Serón, Víctor J. Zepeda, Cecilia

S. Demergasso , Carlos Pinilla / Hydrometallurgy Volume 133, February 2013, Pages 51-57. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2012.11.011
11. Suazo, Cesia & Kracht, Willy & Alruiz, O.. (2010). Geometallurgical modelling of the Collahuasi flotation circuit. Minerals Engineering. 23. 10.1016/j.mineng.2009.11.005.
12. Alruiz, O.M. & Morrell, Stephen & Suazo, Cesia & Naranjo, A.. (2009). A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuasi grinding circuit. Minerals Engineering. 22. 1060-1067. 10.1016/j.mineng.2009.03.017.
13. Sevirajati, Renanda & Rosana, Mega & Patonah, Aton & Al Furqan, Reza. (2017). Porphyry Mineralization in the Grasberg Block Cave (GBC), Ertsberg District, Papua, Indonesia
14. Kawasaki Kanehiko, Yonezu Kotaro, Al Furqan Reza, Bensaman Benny, Rosana Mega. Japan Geoscience Union Meeting (2019). Characteristics of Porphyry Copper-Gold Mineralization in the Grasberg Mine, Indonesia.
15. Twite, Franck & Broughton, David & Nex, Paul & Kinnaird, Judith & Gilchrist, George & Edwards, David. (2018). Lithostratigraphic and structural controls on sulphide mineralisation at the Kamoa copper deposit, Democratic Republic of Congo. Journal of African Earth Sciences. 151. 13. 10.1016/j.jafrearsci.2018.12.016.
16. Amos, S. & Nkuna, V. & Matsetela, B.. (2018). The giant Kamoa-Kakula project in the Democratic Republic of Congo. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 118. 1121-1129. 10.17159/2411-9717/2018/v118n11a1.
17. Green, C. & Robertson, J. & Marsden, John. (2018). Pressure leaching of copper concentrates at Morenci, Arizona – 10 years of experience. Minerals & Metallurgical Processing. 35. 109-116. 10.19150/mmp.8459.
18. Cole, J. & Wilmot, J.. (2009). Morenci concentrate leach plant first year review. SME Annual Meeting and Exhibit and CMA's 111th National Western Mining Conference 2009. 1. 229-234.
19. Stegen, Ralph & Barton, Mark & Waegli, Jerome. (2018). Cerro Verde-Santa Rosa Copper-Molybdenum Deposits, Peru: Magmatic, Hydrothermal, and Supergene Characteristics of Two Adjacent Porphyry Systems. 10.5382/SP.21.13.
20. Vanderbeek, Jim & Gunson, Aaron. (2015). Cerro Verde 240,000 T/D Concentrator Expansion.
21. Eduardo, Botero & Osvaldo, Flores & Mario, Flores. (2015). Análisis de estabilidad sísmica del nuevo depósito de jales de la unidad minera Buenavista del Cobre. Cananea, Sonora. 10.3233/978-1-61499-603-3-2545.
22. Rivera-Uria, Yazmín & Sedov, Sergey & Ramos, Daniel & Solleiro-Rebolledo, Elizabeth & Díaz-Ortega, Jaime. (2019). Effects of the interaction between an acid

ISSN 3030-3907

solution and pedogenic carbonates: the case of the Buenavista del Cobre Mine, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 36. 308-320. 10.22201/cgeo.20072902e.2019.3.1039.
23. Redwood, Stewart. (1999). The Geology of the Antamina Copper-Zinc Skarn Deposit, Peru. The Gangue (GAC Mineral Deposits Division). 1-7.
24. Redwood, Stewart. (2004). Geology and Development History of the Antamina Copper – Zinc Skarn Deposit, Peru. Society of Economic Geologists Special Publication. 11. 259-277.
25. Skierszkan, Elliott & Mayer, K. & Weis, Dominique & Beckie, R.D.. (2016). Molybdenum and zinc stable isotope variation in mining waste rock drainage and waste rock at the Antamina mine, Peru. Science of The Total Environment. 550. 103-113. 10.1016/j.scitotenv.2016.01.053.
26. Benito, R. & Sanner, G. & Cai, W.. (2011). Life-of-mine schedule from multiple pits: Case study for the Tenke Fungurume mining district. Mining Engineering. 63. 39-47.
27. Fay, I. & Barton, Mark. (2011). Alteration and ore distribution in the Proterozoic Mines Series, Tenke-Fungurume Cu–Co district, Democratic Republic of Congo. Mineralium Deposita. 47. 10.1007/s00126-011-0391-2.
28. Villalobos, Felipe & Villalobos, S.A. & Aguilera, Leandro. (2022). Evaluation of rockburst energy capacity for the design of rock support systems for different tunnel geometries at El Teniente copper mine. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 122. 1-11. 10.17159/2411-9717/1249/2022.
29. Baker, Michael & Hollings, Pete & Thompson, Jennifer & Thompson, Jay & Burge, Colin. (2016). Age and geochemistry of host rocks of the Cobre Panama porphyry Cu-Au deposit, central Panama: Implications for the Paleogene evolution of the Panamanian magmatic arc. Lithos. 248. 10.1016/j.lithos.2016.01.014.
30. mining.com/panama-ready-to-unveil-key-audit-on-first-quantum-copper-mine/
31. Acosta, Jorge & Bustamante, Alberto & Cardozo, Miguel & Heo, Chul-Ho & Kim, Eui-Jun. (2013). Copper in Peru: Present Status and Future Challenge. Economic and Environmental Geology. 46. 10.9719/EEG.2013.46.6.561.
32. Hassanpourroudbeneh, Fatemeh & Zangeneh, Pouya. (2026). Sustainability assessment of Las Bambas copper mine: Reviewing disclosures. The Extractive Industries and Society. 25. 101787. 10.1016/j.exis.2025.101787.
33. Sillitoe, Richard. (1973). Geology of the Los Pelambres Porphyry Copper Deposit, Chile. Economic Geology. 68. 1-10. 10.2113/gsecongeo.68.1.1.
34. Reich, Martin & Parada, MiguelA & Palacios, Carlos & Dietrich, Andreas & Schultz, Frank & Lehmann, Bernd. (2003). Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of

ISSN 3030-3907

central Chile: Metallogenic implications. Mineralium Deposita. 38. 876-885. 10.1007/s00126-003-0369-9.
35. Schmid, M. & Tappeiner, S.. (2014). In-pit crushing and conveying (IPCC) - Projects in chilean copper-mining operations as exemplified by the Los Pelambres opencast mine. 66. 310-315.
36. Galaov, R. & Pelipenko, E. & Kolechko, S.. (2015). Mineral and raw materials base of the Polar Division of Norilsk Nickel: history and prospects. Gornyi Zhurnal. 2015. 7-11. 10.17580/gzh.2015.06.01.
37. Khairulin, Sergei & Yashnik, S.A. & Salnikov, Anton & Ismagilov, Zinfer. (2021). Pilot tests of low-temperature catalytic reduction of sulfur dioxide in realistic conditions of sulfur recovery unit at copper plant of Polar Division of PSC "Norilsk Nickel". Journal of Physics: Conference Series. 1749. 012028. 10.1088/1742-6596/1749/1/012028.
38. Gomes, Alexandre & Reyes, Gustavo & Ulloa, Juan. (2013). Design aspects of the permanent underground infrastructure for the Chuquicamata mine in Chile / Planung der dauerhaften untertägigen Infrastruktur des Bergwerks Chuquicamata in Chile. Geomechanics and Tunnelling. 6. 10.1002/geot.201300025.
39. Flores-Gonzalez, German & Catalan, Alex. (2018). A transition from a large open pit into a novel "macroblock variant" block caving geometry at Chuquicamata mine, Codelco Chile. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 11. 10.1016/j.jrmge.2018.08.010.
40. Krige, D & Dunn, Mr. (1995). Some practical aspects of ore reserve estimation at Chuquicamata copper mine, Chile. Applications of computers and operations research in the minerals industries. Conference, Brisbane, 1995.
41. https://www.codelco.com/nosotros
42. Fowke, Samantha & Groeneveld, Ben. (2018). Overview of mine scheduling for Oyu Tolgoi Underground Project. 10.36487/ACG_rep/1815_29_Fowke.
43. Sketchley, Dale & Geo, P & Charles, N & Forster, P & Geo,. QA-QC at Oyu Tolgoi Cu-Au Project South Gobi, Mongolia -Ivanhoe Mines Mongolia Inc. Meeting and Exceeding Technical Disclosure Requirements.
44. www.angloamerican.com
45. Xie, Xuejing & Lu, Yinxiu & Yao, Wensheng & Bai, Jinfeng. (2011). Further study on deep penetrating geochemistry over the Spence porphyry copper deposit, Chile. Coordination Chemistry Reviews - COORD CHEM REV. 2. 303-311. 10.1016/j.gsf.2011.05.017.
46. Sun, Tao & Bao, H. & Reich, Martin & Palacios, Carlos. (2007). Multiple Sulfate Isotopic Evidence on the Formation of Oxide Copper Ore at Spence, Atacama Desert, Northern Chile. AGU Fall Meeting Abstracts.

ISSN 3030-3907

47. Lanier, G. & John, E. & Swensen, A. & Reid, J. & Bard, C. & Caddey, S. & Wilson, J.. (1978). General geology of the Bingham Mine, Bingham Canyon, Utah. Economic Geology. 73. 1228-1241. 10.2113/gsecongeo.73.7.1228.
48. Kammerer, Brian. (1988). In-pit crushing and conveying system at Bingham Canyon Mine. International Journal of Surface Mining. Reclamation and Environment. 143-147. 10.1080/09208118808944149.
49. Blake, W. & Hustrulid, William & Mahaut, J.. Design And Full-Scale Testing Of The Mining Geometry In Division II Kamoto Mine.

ISSN 3030-3907

URAN BILAN IFLOSLANGAN MAHSULDOR HOVUZ TUPROQLARNI REKULTIVATSIYA QILISHDA KIMYOVIY DEZAKTIVATSIYA USULINING SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Farmanova Mohigul Azamat qizi
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktoranti

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda uran qazib olish jarayonida buzilgan mahsuldor hovuz tuproqlarini rekultivatsiya qilish maqsadida kimyoviy dezaktivatsiya usulining samaradorligi o‘rganildi. Dezaktivator sifatida mononitromochevina va azot kislotasi asosidagi eritmalardan foydalanildi. Turli molyar nisbatlarda tayyorlangan dezaktivlashtiruvchi eritmalarning radionuklidlarni ekstraksiyalash qobiliyati laboratoriya sharoitida baholandi. Tadqiqot natijalari dezaktivlashtiruvchi eritma tarkibida azot kislotasi miqdorining ortishi radionuklidlarning tuproqdan ajralib chiqish jarayonini jadallashtirishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, eritmalardagi umumiy tuz miqdorining sezilarli darajada oshishi qayd etildi. Olingan natijalar uran bilan ifloslangan mahsuldor hovuzlarni rekultivatsiya qilishda kimyoviy dezaktivatsiya usulidan foydalanish istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi hamda ushbu yo‘nalishda qo‘shimcha tadqiqotlar olib borish zarurligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: uran qazib olish, mahsuldor hovuz, rekultivatsiya, dezaktivatsiya, mononitromochevina, azot kislotasi, radionuklidlar, kimyoviy ishlov berish, ekstraksiyalash, radiatsion fon, ifloslangan tuproq, uranil kompleksi.

Аннотация. В данном исследовании изучалась эффективность метода химической деактивации для рекультивации почв продуктивных прудов, поврежденных в ходе добычи урана. В качестве деактиваторов использовались растворы на основе мононитромочевины и азотной кислоты. Способность деактивирующих растворов, приготовленных в различных молярных соотношениях, извлекать радионуклиды оценивалась в лабораторных условиях. Результаты исследования показали, что увеличение содержания азотной кислоты в деактивирующем растворе ускоряет процесс высвобождения радионуклидов из почвы. При этом было отмечено значительное увеличение общего содержания солей в растворах. Полученные результаты указывают на перспективность применения метода химической деактивации при рекультивации продуктивных прудов, загрязненных ураном, и подтверждают необходимость дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: добыча урана, продуктивный пруд, рекультивация, деактивация, мононитромочевина, азотная кислота, радионуклиды, химическая обработка, экстракция, радиационный фон, загрязненная почва, ураниловый комплекс.

ISSN 3030-3907

Abstract. In this study, the effectiveness of the chemical deactivation method was studied for the purpose of recultivation of productive pond soils damaged during uranium mining. Solutions based on mononitromurea and nitric acid were used as deactivators. The ability of deactivating solutions prepared in different molar ratios to extract radionuclides was evaluated in laboratory conditions. The results of the study showed that an increase in the content of nitric acid in the deactivating solution accelerates the process of radionuclides release from the soil. At the same time, a significant increase in the total salt content in the solutions was noted. The results obtained indicate the promising use of the chemical deactivation method in the recultivation of productive ponds contaminated with uranium and confirm the need for additional research in this area.

Keywords: uranium mining, productive pond, reclamation, deactivation, mononitromurea, nitric acid, radionuclides, chemical treatment, extraction, radiation background, contaminated soil, uranyl complex.

KIRISH.

Dezaktivatsiya radioaktiv moddalarni turli yuzalardan bartaraf etish, ularni to‘liq yo‘qotish yoki miqdorini belgilangan me’yoriy darajagacha kamaytirishga qaratilgan jarayondir. Ushbu jarayon radioaktiv ifloslanishni suv oqimi hamda maxsus dezaktivatsiyalovchi eritmalar yordamida yuvib tashlash orqali amalga oshiriladi.

Ifloslantiruvchi moddalarni parchalash jarayoni ularning tuproqqa kiritilgan reagentlar bilan o‘zaro kimyoviy reaksiyaga kirishishiga asoslanadi [1]. Buning natijasida ifloslantiruvchi moddalar neytrallanadi, toksik xususiyatga ega bo‘lmagan birikmalar yoki shakllarga aylanadi, yoxud ularning tuzilishi buzilib, parchalanish sodir bo‘ladi. Shu bilan birga, tuproq muhitida kechadigan kimyoviy reaksiyalar to‘liq va qaytarilmas bo‘lishi, shuningdek, fizika-kimyoviy sharoitlarning o‘zgarishi natijasida yangi zaharli komponentlarning hosil bo‘lishiga yo‘l qo‘ymasligi zarur [2-3].

Kimyoviy dezaktivatsiyaning asosiy vazifasi mos kimyoviy reagent — destruktorni tanlash hamda kerakli reaksiyani bevosita grunt massasida amalga oshirishdan iborat. Tanlangan destruktor ifloslantiruvchi moddalarning parchalanishini samarali ta’minlashi, toksik bo‘lmasligi va iqtisodiy jihatdan maqbul bo‘lishi lozim. Bundan tashqari, destruktor yoki neytrallovchi reagent tuproq qatlamlariga faol kirib borish xususiyatiga ega bo‘lishi kerak [4]. Yuzaki ifloslanishlarni neytrallash nisbatan sodda hisoblanadi, chunki bunda ekotoksikantlarga sug‘orish, purkash yoki sepish kabi usullar yordamida tegishli kimyoviy reagentlar bilan bevosita yuzada ishlov beriladi.

Metodologiya. Tadqiqotlarda dezaktivator sifatida mononitromochevina eritmasidan foydalanildi. Ushbu eritma mochevina va nitrat kislotaning 1:1 molyar

ISSN 3030-3907

nisbatdagi aralashmasi asosida tayyorlandi: $(H_2N)_2CO + HNO_3$. Tajribalarda konsentratsiyasi 0,5–2,0 % bo‘lgan eritmalar qo‘llanilib, ular ifloslangan grunt yuzasiga purkash usuli bilan ishlov berildi.

Mononitromochevina eritmasi grunt yuzasiga qo‘llanganda $[(H_2N)_2C{=}O\cdots H]{+}[\text{-O-}NO_2]$ ishtirokida bir qator kimyoviy reaksiyalar sodir bo‘lishi aniqlandi. Jumladan, dezaktivator metallarning karbonat va gidroksikarbonat birikmalarini eritish xususiyatiga ega ekanligi kuzatildi:

a) $MCO_3\downarrow$ ($M = Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+}$) + (2–4) $[(H_2N)_2C{=}O\cdots H]{+}[\text{-O-}NO_2] \rightarrow CO_2 + H_2O + M(NO_3)_2{\cdot}n(H_2N)_2CO$ ($n = 2–4$)

b) $[M(OH)]_2CO_3\downarrow$ ($M = Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+}$) + (2–4) $[(H_2N)_2C{=}O\cdots H]{+}[\text{-O-}NO_2] \rightarrow CO_2 + H_2O + M(NO_3)_2{\cdot}n(H_2N)_2CO$ ($n = 2–4$)

Reaksiyalar natijasida hosil bo‘lgan metall nitratlarining mochevina bilan komplekslari tuproq tarkibiy qismlarining eruvchanligini oshirishi qayd etildi. Ushbu komplekslarning suvda yaxshi erishi natijasida eritmada Mg^{2+}, Ca^{2+} va Fe^{2+} ionlari, NO_3^- ionlari hamda erigan mochevina molekulalari hosil bo‘lishi kuzatildi. Nitrat ionlari va mochevina tuproq uchun qo‘shimcha azot manbai vazifasini bajarishi mumkinligi ta’kidlandi [5].

Shuningdek, mononitromochevinaning uranning +4 va +6 valentli birikmalari bilan faol reaksiyaga kirishishi aniqlandi. Mazkur jarayon quyidagi reaksiya orqali ifodalanadi:

UO_2X ($X = CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, OH^-, PO_4^{3-}$) + (2–6) $[(H_2N)_2C{=}O\cdots H]{+}[\text{-O-}NO_2] \rightarrow X + H_2O + UO_2(NO_3)_2{\cdot}n(H_2N)_2CO$ ($n = 4–6$)

Natijada uran birikmalarining eritma fazasiga o‘tishi kuzatildi. Uran, ehtimol, $[UO_2{\cdot}4(H_2N)_2CO]^{2+}$ tarkibli tetramochevina uranil(II) kompleksi va nitrat anionlari ko‘rinishida mavjud bo‘lishi mumkin. Dezaktivatsiya jarayonidan so‘ng uranil komplekslarini eritmadan kation almashinish usuli yordamida ajratib olish imkoniyati mavjudligi ko‘rsatildi. Kation almashinish orqali tozalangan eritmadan esa keyingi dezaktivatsiya ishlari uchun qayta foydalanish mumkinligi aniqlandi [6-7].

NATIJA. Dezaktivlashtiruvchi eritma tarkibidagi azot kislotasi miqdori oshirilganda, birinchi partiyadan uchinchi partiyagacha bo‘lgan namunalarda dezaktivatsiyadan keyin radiatsion fonning kamayganligi kuzatildi. Shu bilan birga, umumiy tuz miqdori ikkinchi va uchinchi eritmalarda sezilarli darajada ortgani aniqlandi. Xususan, $(H_2N)_2CO + HNO_3 = 1{:}2$ nisbatdagi eritmada ushbu ko‘rsatkich birinchi eritmaga nisbatan 9,1 baravar, $(H_2N)_2CO + HNO_3 = 1{:}3$ nisbatdagi eritmada esa 31,93 baravar yuqori bo‘ldi.

Keyingi tajriba sharoitida ham dezaktivlashtiruvchi eritma tarkibidagi azot kislotasi miqdorining ortishi muayyan o‘zgarishlarga olib kelgani kuzatildi. To‘rtinchi partiyadan oltinchi partiyagacha bo‘lgan namunalarda

ISSN 3030-3907

dezaktivatsiyadan keyingi radiatsion fon 0,23–0,27 mkZv/soat oralig‘ida qayd etildi. $(H_2N)_2CO + HNO_3 = 1:1$ va $(H_2N)_2CO + HNO_3 = 1:2$ nisbatlarida tayyorlangan eritmalarda umumiy tuz miqdori deyarli bir xil bo‘lib, mos ravishda 446 va 440 uc/cm ni tashkil etdi. Biroq $(H_2N)_2CO + HNO_3 = 1:3$ nisbatdagi eritma qo‘llanilganda umumiy tuz miqdorining keskin ortishi kuzatildi va u 6561 uc/cm ga yetdi. Bu ko‘rsatkich avvalgi ikki holatga nisbatan 14,74 baravar yuqori ekanligi aniqlandi.

Olingan natijalar dezaktivlashtiruvchi eritma tarkibida azot kislotasi miqdorini oshirish ishlov berilayotgan tuproqdan radionuklidlarning ekstraksiyalanish jarayonini jadallashtirishini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, mazkur natijalar dastlabki xarakterga ega bo‘lib, ularni qo‘shimcha tajribalar orqali bir necha marotaba tasdiqlash zarur. Dastlabki ifloslangan tuproq tarkibi bo‘yicha ma’lumotlarning mavjud emasligi natijalarni qiyosiy baholash hamda ifloslantiruvchi komponentlarning qancha miqdori ajralib chiqqanligini aniqlash imkonini chekladi. Shu sababli, kelgusida dezaktivatsiya tadbirlarini takrorlash, bunda dezaktivatsiyadan oldin va keyin tuproqning radiatsion fonini yuqori aniqlikda o‘lchash imkonini beruvchi asboblardan foydalanish hamda barcha natijalarni qat’iy qayd etib borish maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

XULOSA. O‘tkazilgan laboratoriya tadqiqotlari natijasida mononitromochevina va azot kislotasi asosidagi dezaktivlashtiruvchi eritmalarning uran bilan ifloslangan tuproqlarni tozalashdagi samaradorligi baholandi. Tadqiqot davomida dezaktivlashtiruvchi eritma tarkibidagi azot kislotasi miqdorining oshirilishi radionuklidlarning tuproqdan eritmaga o‘tish jarayonini jadallashtirishi aniqlandi.

Tajriba natijalariga ko‘ra, $(H_2N)_2CO + HNO_3$ nisbatining ortishi bilan eritmalardagi umumiy tuz miqdori sezilarli ravishda ko‘payishi kuzatildi, bu esa tuproq tarkibidagi komponentlar va radionuklidlarning ekstraksiyalanish darajasi ortganligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, dezaktivatsiyadan keyingi radiatsion fon qiymatlarining pasayishi kimyoviy ishlov berish usulining amaliy samaradorligini tasdiqladi.

Tadqiqot natijalari mononitromochevina asosidagi dezaktivlashtiruvchi eritmalar uran qazib olish jarayonida buzilgan mahsuldor hovuz tuproqlarini rekultivatsiya qilishda istiqbolli vosita bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatdi. Biroq ifloslangan tuproqning dastlabki radiologik va kimyoviy tarkibi bo‘yicha ma’lumotlarning yetarli emasligi olingan natijalarni to‘liq baholash imkonini chekladi.

Shu sababli kelgusida dezaktivatsiya jarayonlarini takomillashtirish, tajribalarni takroriy o‘tkazish, radionuklidlarning migratsiyasi va ekstraksiyalanish darajasini aniq baholash hamda dezaktivatsiyadan oldingi va keyingi radiatsion fon

ISSN 3030-3907

ko‘rsatkichlarini zamonaviy o‘lchash asboblari yordamida nazorat qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Mazkur yondashuv uran qazib olish natijasida buzilgan mahsuldor hovuzlarni rekultivatsiya qilish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Сабодина М.Н., Захарова Е.В., Калмыков С.Н. va boshqalar. «Сорбция 237Np(V), 238U(VI) и 137Cs на глинистых породах: роль поверхностных пленок соединений Fe(III)» // Radiokimyo. – 2008. – 50-jild, 1-son. – B. 81–86.
2. Кузнецов В.А., Генералова В.А. «Исследование сорбционных свойств гидроксидов железа, марганца, титана, алюминия и кремния по отношению к 90Sr и 137Cs» // Radiokimyo. – 2000. – 42-jild, 2-son. – B. 154–157.
3. Varlakova G.A., Ostashkina E.E., Golubeva Z.I. «Evaluation of the Antimigration Properties of Materials for Buffer Filling of a Near-Surface Radioactive Waste Repository» // Radiochemistry. – 2014. – 56-jild, 1-son. – B. 109–113.
4. Волков В.Г., Павленко В.И., Чесноков А.В., Арустамов А.Э. «Обращение с радиоактивными отходами при реабилитации загрязненных объектов и территорий Кирово-Чепецкого химического комбината» // Atom energiyasi. – 2009. – 107-jild, 4-son. – B. 231–235.
5. Велихов Е.П., Пономарев-Степной Н.Н., Волков В.Г., Городецкий Г.Г. va boshqalar. «Реабилитация радиоактивно загрязненных объектов и территории РНЦ "Курчатовский институт"» // Atom energiyasi. – 2007. – 102-jild, 5-son. – B. 300–306.
6. «Проблемы ядерного наследия и пути их решения»: 2 jildda / Umumiy tahrir ostida E.B. Евстратов, M.A. Агапов, Н.П. Лаверов, Л.А. Большов, И.И. Линге. 1-jild. – Moskva: «Энергоатоманалитика», 2010. – 376 b.
7. Степеннов Д.Б., Стрижакова Е.Р., Васильева Г.К. «Проблемы рекультивации земель, загрязненных радионуклидами и другими техногенными загрязнителями, в пунктах временного хранения ОЯТ и РАО» // Ilmiy maqolalar to‘plami. XI xalqaro ekologik simpozium «Урал атомный – Урал промышленный». – 2006. – B. 301–302.

ISSN 3030-3907

ПЕРИОДАТНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ГИАЛУРОНОВОЙ КИСЛОТЫ: ОТ ТКАНЕВОЙ ЭКСТРАКЦИИ К ОХАРАКТЕРИЗОВАННОМУ ПРЕКУРСОРУ ГИДРОГЕЛЯ

Хуршида Шухратовна Давлетова
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: davletovaxurshida4@gmail.com
Алишер Хамидович Хайтбаев
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан
E-mail: polyphenol-10@yandex.ru

Annotatsiya. Gialuron kislotasi (HA) hujayradan tashqari matritsaning chiziqli, sulfatlanmagan glikozaminoglikanidir, uning biologik faolligi va materialshunoslik potentsiali molekulyar og‘irligi, kimyoviy modifikatsiya darajasi va viskoelastik xususiyatlari bilan belgilanadi. Ushbu tadqiqot tovuq terisidan gialuronat o‘z ichiga olgan polisaxarid fraksiyasini (HCPF) ajratish va ko‘p bosqichli tozalash uchun laboratoriya protokolini ishlab chiqishga, so‘ngra keng qamrovli fizik-kimyoviy tekshirish va nazorat ostida davriy modifikatsiyaga qaratilgan. Tozalash paytida, taxminan 95% qo‘shilgan aralashmalar olib tashlandi; ammoniy sulfat fraksiyasi va dializdan so‘ng sifatli oqsil namunalari salbiy bo‘ldi va HSPF ning yakuniy hosildorligi 0,31% (w / w) ni tashkil etdi. ATR-IR spektroskopiyasi gialuronat polisaxaridiga xos bo‘lgan yutilish zonalari to‘plamini aniqladi: 3263–3289 sm^{-1} da keng n(O–H/N–H) diapazoni, 2888–2931 sm^{-1} zonalarida alifatik n(C–H) va karbokslarda 1600–1404 sm^{-1}, 1147–979 sm^{-1} da kuchli glikozidli n(C–O–C/C–O). PBS (pH 7,4, 25 °C) dagi HSPA ning 2% li eritmasining reologik profilini aniqlash nol yopishqoqlik $\bar{e}_0$ = 0,449 ± 0,003 Pa•s va yarim qalinlashgan chigallashgan polisaxarid tizimlariga xos bo‘lgan aniq psevdoplastik harakatni aniqladi. Aldegid bilan o‘zgartirilgan HA (a-HA / OHA) nazorat ostida davriy oksidlanish orqali sintez qilindi; Ag_2O konversiyasi orqali konduktometrik titrlash orqali aniqlangan oksidlanish darajasi 50,2 ± 1,8% (n = 3) edi. Jel o‘tkazuvchanlik xromatografiyasi (GPC, Malvern Viscotek TDA 305) o‘rtacha molekulyar og‘irlikning Mw ≈ 544 ± 28 kDa (Đ = 1,8 ± 0,1) dan Mw ≈ 149 ± 12 kDa gacha (Đ = 2,2 ± oksidlovchiga mos keladigan) pasayishini qayd etdi. Olingan ko‘p usulli analitik Shiff bazasi yoki gidrazon o‘zaro bog‘liqliklari orqali in'ektsion o‘z-o‘zidan tiklanadigan gidrogellarni qurish uchun mos bo‘lgan reaktiv aldegid bilan modifikatsiyalangan materialning muvaffaqiyatli yaratilganligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: gialuron kislotasi; oksidlangan gialuron kislotasi; aldegid bilan o‘zgartirilgan polisakkarid; IQ spektroskopiyasi; reologiya; davriy oksidlanish;

konduktometrik titrlash; jel o‘tkazuvchanligi xromatografiyasi; in'ektsion gidrogellar; Shiff bazasi.

Abstract. Hyaluronic acid (HA) is a linear, non-sulfated glycosaminoglycan found in the extracellular matrix. It possesses biological activity and potential for materialization due to its high molecular weight, moderate chemical modification, and viscoelastic properties. This study focuses on the development of a laboratory protocol for the isolation and multi-step purification of a hyaluronate-containing polysaccharide fragment (SHBG) from chicken skin, including comprehensive physicochemical validation and controlled batch modification. During purification, approximately 95% of coprecipitated impurities were removed; qualitative protein samples became negative after ammonium sulfate fractionation and dialysis, and the final yield of HSPP was 0.31% (w/w). ATR-IR spectroscopy revealed a set of absorption bands characteristic of hyaluronate polysaccharide: a broad ν(O–H/N–H) band at 3263–3289 cm^{-1}, aliphatic ν(C–H) at 2888–2931 cm^{-1}, overlapping carboxylate and amide I bands in the region of 1600–1404 cm^{-1}, intense glycosidic ν(C–O–C/C–O) at 1147–979 cm^{-1}. Rheological profiling of a 2% (w/v) solution of HSPA in PBS (pH 7.4, 25 °C) revealed zero viscosity $\eta_0 = 0.449 \pm 0.003$ Pa•s and pronounced pseudoplastic behavior typical of semi-thickened entangled polysaccharide systems. Aldehyde-modified HA (a-HA/OHA) was synthesized by controlled periodate oxidation; the oxidation state, determined by conductometric titration through Ag_2O conversion, was 50.2 ± 1.8% (n = 3). Gel permeation chromatography (GPC, Malvern Viscotek TDA 305) recorded a decrease in the average molecular weight from Mw ≈ 544 ± 28 kDa (Đ = 1.8 ± 0.1) to Mw ≈ 149 ± 12 kDa (Đ = 2.3 ± 0.2), which mechanistically corresponds to oxidative chain cleavage. The resulting multi-method analytical profile confirms the successful creation of a reactive aldehyde-modified material suitable for the construction of injectable self-healing hydrogels via Schiff base or hydrazone crosslinks.

Keywords: hyaluronic acid; oxidized hyaluronic acid; aldehyde-modified polysaccharide; IR spectroscopy; rheology; periodate oxidation; conductometric titration; gel permeation chromatography; injectable hydrogels; Schiff base.

Аннотация. Гиалуроновая кислота (ГК) — линейный несульфатированный гликозаминогликан внеклеточного матрикса, биологическая активность и материаловедческий потенциал которого определяются молекулярной массой, степенью химической модификации и вязкоупругими свойствами. Настоящая работа посвящена разработке лабораторного протокола выделения и многостадийной очистки гиалуронатсодержащей полисахаридной фракции (ГСПФ) из куриной кожи с последующей комплексной физико-химической аттестацией и контролируемой периодатной модификацией. В ходе очистки удалено около 95%

ISSN 3030-3907

соосаждённых примесей; качественные белковые пробы после фракционирования сульфатом аммония и диализа стали отрицательными, а конечный выход ГСПФ составил 0.31% (мас./мас.). ИК-спектроскопия с НПВО выявила набор полос поглощения, характерных для гиалуронатного полисахарида: широкая полоса ν(O–H/N–H) при 3263–3289 $см^{-1}$, алифатические ν(C–H) при 2888–2931 $см^{-1}$, перекрывающиеся полосы карбоксилата и амида I в области 1600–1404 $см^{-1}$, интенсивные гликозидные ν(C–O–C/C–O) при 1147–979 $см^{-1}$. Реологическое профилирование 2%-го (мас./об.) раствора ГСПФ в ФСБ (pH 7.4, 25 °C) установило нулевую вязкость η_0 = 0.449 ± 0.003 Па·с и выраженное псевдопластическое поведение, типичное для полусгущённых запутанных полисахаридных систем. Альдегидмодифицированная ГК (а-НА/ОНА) синтезирована контролируемым периодатным окислением; степень окисления, определённая кондуктометрическим титрованием через конверсию Ag_2O, составила 50.2 ± 1.8% (n = 3). Гель-проникающая хроматография (ГПХ, Malvern Viscotek TDA 305) зафиксировала снижение среднемассовой молекулярной массы с Mw ≈ 544 ± 28 кДа (Đ = 1.8 ± 0.1) до Mw ≈ 149 ± 12 кДа (Đ = 2.3 ± 0.2), что механистически соответствует окислительному расщеплению цепи. Полученный мультиметодный аналитический профиль подтверждает успешное создание реакционноспособного альдегидмодифицированного материала, пригодного для конструирования инъецируемых самозаживляющихся гидрогелей через основания Шиффа или гидразонные поперечные связи.

Ключевые слова: гиалуроновая кислота; окисленная гиалуроновая кислота; альдегидмодифицированный полисахарид; ИК-спектроскопия; реология; периодатное окисление; кондуктометрическое титрование; гель-проникающая хроматография; инъецируемые гидрогели; основание Шиффа.

1. ВВЕДЕНИЕ.

Гиалуроновая кислота (ГК, гиалуронан) — высокомолекулярный линейный полисахарид семейства гликозаминогликанов (ГАГ), каркас которого образован чередующимися дисахаридными звеньями D-глюкуроновой кислоты (GlcUA) и N-ацетил-D-глюкозамина (GlcNAc), соединёнными β-1,3- и β-1,4-гликозидными связями [1,2]. В отличие от большинства сульфатированных ГАГ соединительной ткани, ГК биосинтезируется непосредственно у плазматической мембраны гиалуронансинтазами (HAS1–3) без последующего сульфатирования; нативная молекулярная масса варьирует от нескольких кДа до >10 МДа в зависимости от источника и физиологического состояния ткани [3,6,7].

ISSN 3030-3907

Уникальный биологический и материаловедческий потенциал ГК определяется совокупностью физико-химических свойств: исключительной гидратационной ёмкостью (до 1000-кратного по массе), вязкоупругим откликом на осциллирующий и непрерывный сдвиг, а также специфическим взаимодействием с рецепторами клеточной поверхности CD44 и RHAMM [1,2,5]. Именно эти свойства обусловливают ключевую роль ГК в механике внеклеточного матрикса, клеточной сигнализации, разрешении воспаления и тканевом морфогенезе, и они же — функциональную основу для трансляции в клиническую практику: вискосаплементацию суставов, офтальмохирургию, дермальные филеры, управление раневым процессом, контролируемое высвобождение лекарственных средств и — наиболее релевантно в контексте настоящей работы — конструирование инъецируемых биоматериалов на основе гидрогелей [3–5,16].

Реализация прикладного потенциала ГК в составе гидрогелевых систем принципиально зависит не только от химии полисахаридного скелета. Молекулярная масса и полидисперсность, природа и степень химической модификации, плотность и тип сшивки — все эти параметры в совокупности задают вязкость раствора, инъецируемость, кинетику гелеобразования, размер ячеи сети, степень набухания и профиль деградации материала [6,7]. Отсюда следует, что прецизионная аналитическая аттестация исходного материала и каждого синтетического интермедиата — не просто желательная, а методологически обязательная процедура рационального дизайна материалов.

Среди химических модификаций ГК периодатное окисление вицинальных диольных групп с образованием альдегидсодержащих производных (a-HA, OHA) занимает центральное место [8,9,14]. Перйодат натрия ($NaIO_4$) избирательно расщепляет связь C2–C3 глюкуронатного остатка, конвертируя вицинальный диол в два альдегида на окисленное кольцо при одновременном раскрытии пиранозного цикла. Введённые карбонильные функции способны к динамическому ковалентному связеобразованию — в первую очередь через основания Шиффа с аминосодержащими полимерами (в частности, желатин, полилизин) и гидразонные связи с гидразидными партнёрами, — формируя pH-зависимые, самовосстанавливающиеся, инъецируемые трёхмерные сети [9–11,15].

Критическим и нередко недооцениваемым следствием периодатного окисления является сопутствующее снижение молекулярной массы вследствие раскрытия колец и фрагментации цепи — функция молярного соотношения $NaIO_4$:ГК, времени реакции, температуры и световой экспозиции [8,9,14]. Без строгого контроля этих условий и обязательного

ISSN 3030-3907

ГПХ-анализа получение воспроизводимого реакционноспособного интермедиата с заданными параметрами невозможно.

Настоящее исследование преследует три взаимосвязанные цели: (I) разработать лабораторный протокол выделения и многостадийной очистки ГСПФ из куриной кожи с обоснованием каждого технологического этапа; (II) обеспечить комплексную мультиметодную физико-химическую аттестацию, интегрирующую ИК-НПВО-спектроскопию, реологию, кондуктометрическое титрование и ГПХ; (III) контекстуализировать полученные результаты в рамках критического анализа ограничений и определить конкретные направления дальнейшей валидации.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

2.1. Подготовка сырья

Куриная кожа получена от местного поставщика продуктов питания (Ташкент, Узбекистан). Перед экстракцией кожу промывали холодной водой, соскабливали подкожную жировую клетчатку, трёхкратно ополаскивали дистиллированной водой и высушивали при 40 °C в течение 24 ч (Memmert UN55). Высушенный материал криогенно размалывали (IKA-WERKE M20) до размера частиц <500 мкм и хранили при −20 °C в герметичных контейнерах с осушителем из силикагеля. Все реактивы квалификации «для анализа» (Sigma-Aldrich или эквивалент); использовалась ультрачистая вода (≥18.2 МОм·см, система Milli-Q).

2.2. Экстракция и очистка ГСПФ

Измельчённую куриную кожу (10.0 г) суспендировали в 100 мл 0.1 М цитратного буфера натрия (pH 5.0) и перемешивали при 500 об/мин в течение 4 ч при 55 °C. Суспензию фильтровали через нейлоновую сетку 200 мкм; ретентат дважды промывали 20 мл буфера. К объединённым фильтратам добавляли абсолютный этанол (3 объёма) и концентрированную HCl (до pH 2.5), получая белый осадок, собранный вакуумной фильтрацией (фильтр Whatman №1), промытый холодным 70%-м этанолом и высушенный при 40 °C в течение ночи. Выход сырой фракции: 0.62 г (6.2% мас./мас.). Удаление белков проводили фракционированием сульфатом аммония при 60%-м насыщении (0 °C, 30 мин); супернатант диализовали (Spectra/Por 3, MWCO 3.5 кДа; 72 ч, 4 °C, шесть смен буфера) и лиофилизировали (−50 °C, 0.05 мбар, 48 ч). Конечный выход: 0.031 г (0.31% мас./мас.).

ISSN 3030-3907

Таблица 1.

Последовательная экстракция, очистка и предварительная аналитическая оценка ГСПФ.

Этап	Наблюдаемые явления	Аналитическая интерпретация
Экстракция цитратным буфером (pH 5.0, 55 °C, 4 ч)	Гелеобразный экстракт; бледно-жёлтое окрашивание	Солюбилизация гидрофильной полисахаридно-белковой матрицы ВКМ; интенсивное набухание макромолекул
Этанольно-кислотное осаждение (3 об., HCl, pH 2.5)	Белый осадок; выход 6.2% (мас./мас.)	Избирательное выделение высокомолекулярной фракции; сопутствующее соосаждение белков
Качественные белковые пробы (биуретовый, Брэдфорд)	Положительные реакции	Подтверждение белковой контаминации; необходимость дополнительной очистки
Фракционирование сульфатом аммония + диализ (MWCO 3.5 кДа, 72 ч)	Отрицательные белковые тесты	Удаление основной массы соосаждённых примесей; качественные белковые пробы после очистки отрицательные; сохранность полисахаридной фракции
Лиофилизация; конечный выход HCPF	Белый пушистый порошок; выход 0.31% (мас./мас.)	Реалистичный выход для очищенного тканевого полисахарида; соответствует литературным данным [1,2]

2.3. ИК-спектроскопия с НПВО

Спектры регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре Bruker ALPHA II с НПВО-приставкой (платиновый алмаз; 64 скана; диапазон 4000–400 $см^{-1}$; разрешение 2 $см^{-1}$). Лиофилизированный ГСПФ и эталонный образец ГК фармацевтической степени чистоты (Mw >1 МДа; Sigma-Aldrich H5388) измеряли без дополнительной подготовки. Базовую коррекцию проводили многоточечным алгоритмом OPUS 8.5. Поиск по библиотеке выполнен в базе данных Bruker Polymer and Biopolymer; результаты интерпретировались критически с учётом известного спектрального перекрытия ИК-полос полисахаридов. Спектры нативного ГСПФ и а-НА/ОНА сравнивались для выявления окисление-специфических изменений.

ISSN 3030-3907

2.4. Реологический анализ

2%-й (мас./об.) раствор ГСПФ готовили в ФСБ (pH 7.4) при мягком перемешивании (200 об/мин, 4 °C, 24 ч). Измерения проводили на реометре TA Instruments AR-G2 с конус-плоскостной геометрией 40 мм (угол конуса 2°, зазор 54 мкм) при 25 °C. Программы непрерывного течения выполняли в диапазоне 0.01–1000 $с^{-1}$ (5 точек на декаду). Нулевую вязкость (η_0) рассчитывали подгонкой модели Кросса по данным малых скоростей сдвига (0.01–0.5 $с^{-1}$). Все измерения — в трёх повторностях.

2.5. Синтез альдегидмодифицированной ГК (a-HA/OHA)

Очищенный ГСПФ (1.000 ± 0.002 г) растворяли в 100 мл ультрачистой воды. Свежеприготовленный раствор $NaIO_4$ (5.0 мл, 0.5 М) прикапывали при непрерывном перемешивании в тёмных условиях при 25 °C в течение 2 ч; реакцию гасили этиленгликолем (0.5 мл, 10-кратный молярный избыток). Продукт диализовали (Spectra/Por 4, MWCO 12–14 кДа; 3 сут, 8 смен буфера, 4 °C) и лиофилизировали.

2.6. Кондуктометрическое титрование и степень окисления

a-HA/OHA (50.0 ± 0.5 мг, n = 3) суспендировали в 20 мл ультрачистой воды; добавляли оксид серебра Ag_2O (200 мг, избыток) и перемешивали при 40 °C в течение 2 ч в атмосфере N_2 (для предотвращения карбонатного загрязнения). Отфильтрованный раствор титровали кондуктометрически стандартизованным NaOH (0.01000 М, откалиброванным по гидрофталату калия; Mettler Toledo MC226, электрод DM32-SC; время уравновешивания 60 с; объём добавки 0.2 мл). Параллельно проводили холостые опыты. Объёмы эквивалентности V_1 и V_2 определяли по первой производной кривой электропроводности. Содержание альдегидных групп после Ag_2O-опосредованной конверсии в карбоксильные группы и степень окисления рассчитывали по формулам:

$$C_{ald}\ (\text{mmol/g}) = \frac{(V_2 - V_1 - V_{blank}) \times C_{NaOH}}{m_{sample}}$$

$$DO\ (\%) = \frac{C_{ald} \times M_{HA}}{2 \times 1000} \times 100$$

где V_1 и V_2 — объёмы первой и второй точек эквивалентности (мл), Vblank — поправка холостого опыта (мл), CNaOH — концентрация титранта (моль/л), msample — масса образца (г), MHA = 379.32 г/моль — молекулярная масса дисахаридного звена ГК. Деление на 2 является стехиометрически обязательным, поскольку одно окисленное дисахаридное звено образует две альдегидные группы.

2.7. Гель-проникающая хроматография (ГПХ)

ISSN 3030-3907

Молекулярно-массовые распределения определяли методом ГПХ (Malvern Viscotek TDA 305; детекторы: RI + вискозиметрия + RALS) в 0.1 M $NaNO_3$/0.01% NaN_3 (скорость потока 0.7 мл/мин, 35 °C) на двух колонках PL aquagel-OH MIXED (Agilent, 300×7.5 мм) в последовательном соединении. Инкремент показателя преломления dn/dc = 0.165 мл/г [7]. Калибровку проводили по пуллулановым стандартам (180 Да–708 кДа; Polymer Standards Service). Образцы (1.0 мг/мл, фильтрация 0.22 мкм, объём инъекции 100 мкл) анализировали в OmniSEC 5.12. Рассчитывали Mw, Mn и Đ = Mw/Mn для нативного ГСПФ и a-HA/OHA.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

3.1. Выход экстракции и эффективность очистки

Цитратно-буферная экстракция дала 6.2% (мас./мас.) сырого осадка, включающего ГК, соосаждённые белки, протеогликаны и другие макромолекулы ВКМ [1,2]. После фракционирования сульфатом аммония и исчерпывающего диализа биуретовый и Брэдфорд-тесты стали отрицательными; конечный выход ГСПФ — 0.31% (мас./мас.). Это согласуется с опубликованными данными по ГК, изолированной из куриной кожи сопоставимыми методами [2,7], и отражает природную дилюцию целевого полимера в сложной тканевой матрице.

Принципиально важно интерпретировать снижение выхода с 6.2% до 0.31% не как простую потерю продукта, а как аналитически значимый результат обогащения: удаление большей части соосаждённых примесей и переход белковых проб в отрицательную область демонстрируют эффективность двухступенчатой схемы «фракционирование − диализ». При этом количественное содержание остаточного белка требует отдельного определения (например, BCA/Lowry или SEC-UV при 280 нм), поэтому полученный материал корректнее характеризовать как белок-обеднённую гиалуронатсодержащую полисахаридную фракцию, пригодную для последующей химической модификации. Данные этапов экстракции и очистки систематизированы в Таблице 1.

3.2. ИК-НПВО-спектроскопическая характеристика

Спектр ГСПФ (Рисунок 1) демонстрирует набор полос поглощения, совместимый с гиалуронатным полисахаридом. Широкая интенсивная полоса при 3289 $см^{-1}$ отвечает ν(O–H) и ν(N–H)-колебаниям: ν(O–H) обусловлено обилием водородно-связанных гидроксильных групп углеводного скелета, ν(N–H) — амидному фрагменту N-ацетильных боковых групп [1,2]. Алифатическое ν(C–H) проявляется вблизи 2901 $см^{-1}$. Полоса при 1602 $см^{-1}$ содержит перекрывающийся вклад асимметричного ν(COO^-)-колебания карбоксилата глюкуроната и Амида I (ν(C=O) N-ацетиламида). Эта

ISSN 3030-3907

область характерна для гиалуронатных полисахаридов и полезна для сравнительной интерпретации, однако сама по себе не является достаточной для окончательного разграничения структурно близких ГАГ [1,2,7]. Полоса при 1403 $см^{-1}$ отнесена к симметричному ν(COO^-) и деформационным δ(C–H). Интенсивные полосы ν(C–O–C) и ν(C–O) при 1117, 1044, 979 и 854 $см^{-1}$ формируют фингерпринт гликозидных β-1,3/β-1,4-связей и пиранозного цикла.

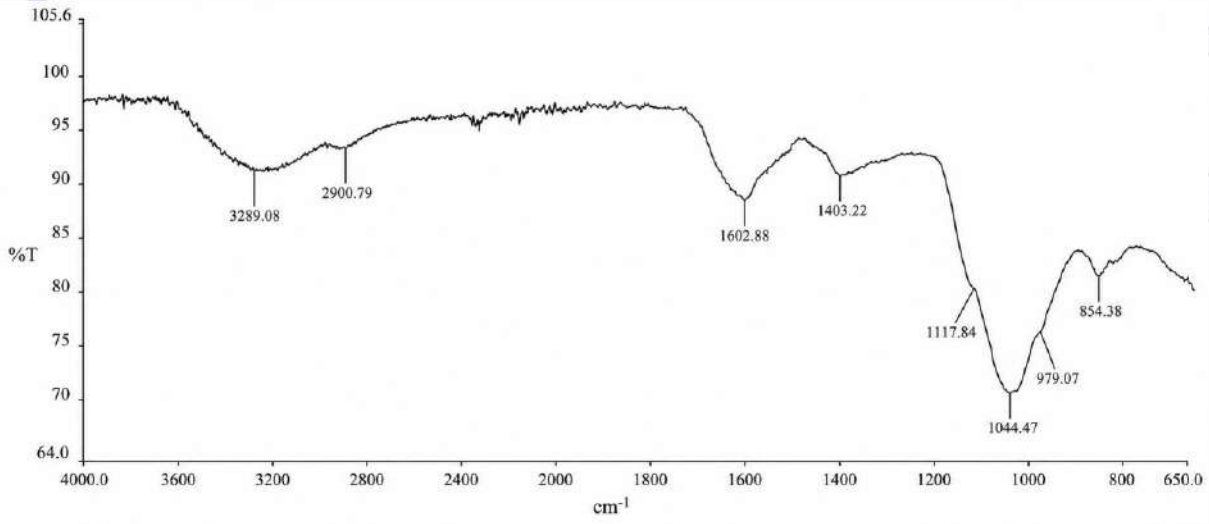


Рис.1. ИК-НПВО-спектр очищенной гиалуронатсодержащей полисахаридной фракции (ГСПФ). Основные полосы: 3289 $см^{-1}$ (νO–H/νN–H), 2901 $см^{-1}$ (νC–H), 1602 $см^{-1}$ ($vasCOO^-$/Амид I), 1403 $см^{-1}$ ($vsCOO^-$), 1117–979 $см^{-1}$ (гликозидная область C–O–C/C–O).

Сравнение с эталонным образцом ГК (Рисунок 2; основные полосы: 3289, 2888, 1606, 1404, 1373, 1147, 1031, 946 $см^{-1}$) показало высокое совпадение положений и относительных интенсивностей всех ключевых полос, служащее необходимым, однако не достаточным доказательством идентичности. ИК-данные следует рассматривать исключительно в совокупности с ортогональными методами. Приоритетом дальнейшей работы является ^1H ЯМР-спектроскопия в D_2O (δ ≈ 1.85 м.д. для N-ацетил-CH_3) и энзиматическое расщепление гиалуронидазой Streptomyces как специфический тест на ГК-структуру.

ISSN 3030-3907

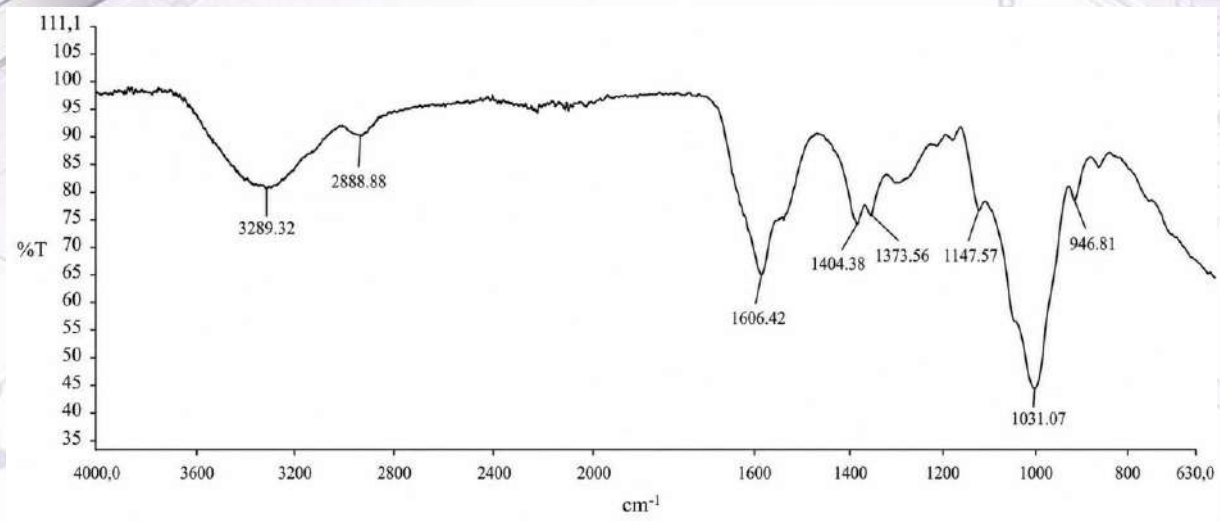


Рис.2. ИК-НПВО-спектр эталонного образца гиалуроновой кислоты фармацевтической степени чистоты (Sigma-Aldrich H5388, Mw > 1 МДа), использованный для сравнительной структурной интерпретации.

После периодатного окисления в спектре a-HA/OHA появляется новая полоса ν(C=O) при 1720–1740 $см^{-1}$, свидетельствующая о введении альдегидных групп [8,9,14], тогда как интенсивность ν(O–H) при ~3289 $см^{-1}$ снижается — что согласуется с потерей вицинальных гидроксильных групп при раскрытии пиранозного кольца.

Таблица 2.

Отнесение основных полос ИК-НПВО-спектра ГСПФ в сравнении с литературными данными для ГК.

Полоса ($см^{-1}$)	Отнесение колебаний	Структурная интерпретация	Диагностическое значение
3263–3289	ν(O–H), ν(N–H)	Водородно-связанные гидроксилы пиранозного кольца; N–H N-ацетиламидной группы	Маркер полисахаридной природы; указывает на GAG-структуру
2888–2931	νas(C–H) алифатические	C–H-колебания атомов углерода пиранозного кольца	Характерны для всех углеводных полимеров
1600–1650	νas(COO^-), Амид I	Асимметричное ν(COO^-) глюкуроната + ν(C=O) N-ацетиламида —	Ключевой идентификационный дублет для ГК

ISSN 3030-3907

		диагностическая пара ГК [1,2]	
1373–1450	νs(COO⁻), δ(C–H)	Симметричная карбоксилатная деформация; CH_2/CH_3-деформации	Подтверждает наличие карбоксилатной функции
1031–1147	ν(C–O–C), ν(C–O)	Гликозидные связи β-1,3 и β-1,4; C–O-колебания пиранозного кольца [7]	Фингерпринт полисахаридного скелета
946–979	ν(C–O)	Полисахаридный фингерпринт	Диагностично в сочетании с вышеуказанными полосами
1720–1740 (*после окисления*)	ν(C=O) альдегид	Новая полоса; подтверждает введение альдегидных групп при периодатном окислении [8,9,14]	Прямое подтверждение модификации; критически важен для оценки DO

3.3. Реологическое поведение: динамика раствора и инъецируемость

2%-й (мас./об.) раствор ГСПФ в ФСБ демонстрирует выраженное неньютоновское течение (Рисунок 3; Таблица 3). При малых скоростях сдвига (<0.5 $с^{-1}$) наблюдается чёткое ньютоновское плато, из которого подгонкой модели Кросса извлечена нулевая вязкость $\eta_0 = 0.449 \pm 0.003$ Па·с (CV < 1%, n = 3) — демонстрирует стабильную гидратацию и воспроизводимость между независимыми препаратами.

При скоростях сдвига >1 $с^{-1}$ вязкость прогрессивно снижается в соответствии с классическим псевдопластическим поведением: выравнивание цепей и распутывание сетки уменьшают гидродинамическое сопротивление. С точки зрения материаловедческого дизайна этот профиль течения прямо релевантен инъецируемым биоматериалам: высокая η_0 обеспечивает размерную стабильность в покое (удержание формы после доставки), тогда как выраженный шир-тиннинг снижает усилие при прохождении через иглы малого диаметра (G18–G27) или катетерные системы. Полученное η_0 = 0.449 Па·с при 2% (мас./об.) укладывается в

ISSN 3030-3907

диапазон, описанный для ГК средней и высокой молекулярной массы при аналогичных концентрациях [6,7].

Существенная оговорка: настоящие измерения выполнены при 25 °C. In vivo применение потребует контроля реологических параметров при 37 °C с учётом возможного термозависимого изменения вязкости и сравнения с осциллирующими (G‘, G‘') характеристиками для предсказания поведения гидрогеля в динамических тканевых условиях.

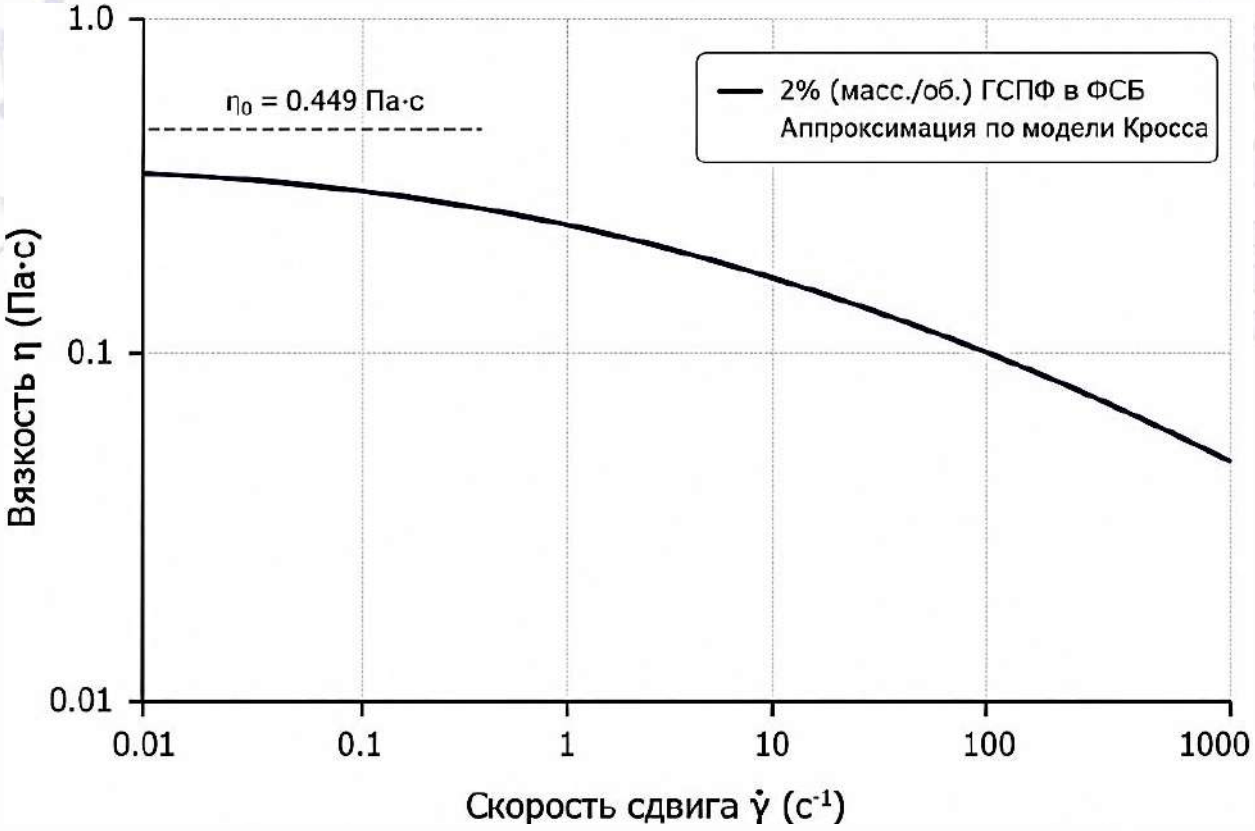


Рис.3. Зависимость вязкости от скорости сдвига для 2%-го (мас./об.) раствора ГСПФ в ФСБ (pH 7.4, 25 °C). Подгонка по модели Кросса: η_0 = 0.449 ± 0.003 Па·с, $\dot{\gamma}c$ = 1.5 $с^{-1}$, n = 0.72.

Таблица 3.

Реологические параметры 2%-го (мас./об.) раствора ГСПФ и их инженерная интерпретация.

Параметр	Значение	Инженерная и биомедицинская интерпретация
Концентрация раствора	2% (мас./об.) ФСБ, pH 7.4	Физиологически релевантное условие; стандарт для реологического бенчмаркинга ГК [6]
Температура измерения	25 °C ± 0.1 °C	Контролируемое условие; in vivo потребует коррекции при 37 °C

ISSN 3030-3907

Диапазон скоростей сдвига	0.01–1000 $с^{-1}$	Охватывает физиологические режимы (покой, физиологический поток ~1–100 $с^{-1}$, инъекция ~1000 $с^{-1}$)
Нулевая вязкость (η_0)	0.449 ± 0.003 Па·с	CV < 1%; стабильная гидратация; соответствует среднемолекулярной ГК при данной концентрации [6,7]
Режим течения	Псевдопластический (n = 0.72)	Шир-тиннинг: снижение вязкости под нагрузкой — благоприятно для инъекций через иглы малого диаметра [3,5,15]
Критическая скорость ($\dot{\gamma}c$)	1.5 $с^{-1}$	Переходная точка ньютоновский → псевдопластический режим; характерна для полусгущённых систем ГК

3.4. Периодатное окисление: механистическое обоснование и схема реакции

Механизм окисления $NaIO_4$ основан на высокой селективности в отношении вицинальных диольных систем [8,9,14]. В скелете ГК гидроксильные группы C2 и C3 глюкуронатного остатка составляют основную мишень окисления: расщепление связи C2–C3 даёт два альдегида на окисленное кольцо при одновременном раскрытии пиранозного цикла (Рисунок 4). Условия реакции — темнота, 25 °C, 2 ч — выбраны для достижения DO ≈ 50% при минимизации неконтролируемой деградации цепи. Немедленное гашение этиленгликолем нейтрализует избыток периодата; исчерпывающий диализ удаляет продукты окисления (иодат) и остатки реагентов.

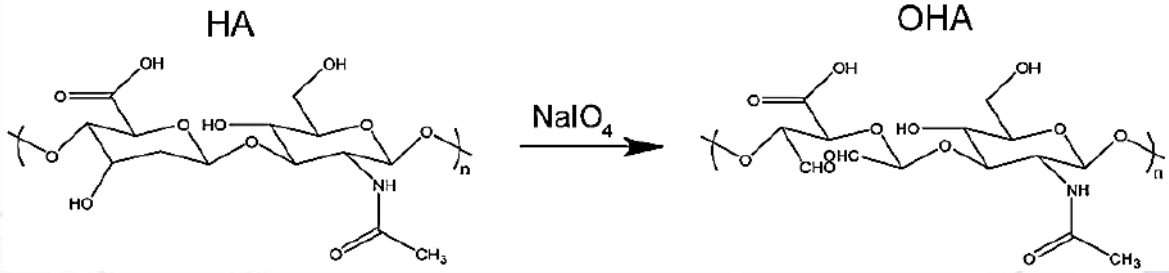


Рис.4. Схематическое представление периодатного окисления ГК с образованием альдегидмодифицированного производного OHA/a-HA. $NaIO_4$ расщепляет C2–C3-вицинальный диол глюкуронатного остатка с образованием двух альдегидных групп на окисленное кольцо.

Умеренная степень окисления ~50% представляет осознанный компромисс: достаточная плотность альдегидных групп для быстрого

ISSN 3030-3907

гелеобразования с амино- или гидразидсодержащими сшивателями при одновременном сохранении значительной части интактных глюкуронатных звеньев для поддержания структурной целостности полисахаридной сети и биологического распознавания (в особенности — связывания CD44) [9,10,15].

3.5. Степень окисления: кондуктометрическое титрование

Кондуктометрическое титрование дало объёмы эквивалентности V_1 = 9.50 ± 0.12 мл и V_2 = 22.98 ± 0.18 мл (n = 3; NaOH 0.01000 M; навеска 50.0 ± 0.5 мг; холостой Vblank = 0.25 ± 0.03 мл). После поправки холостого опыта разность объёмов составила 13.23 мл, что соответствует общему содержанию альдегидных групп 2.65 ± 0.08 ммоль/г после Ag_2O-опосредованной конверсии в карбоксильные группы. С учётом молекулярной массы дисахаридного звена ГК MHA = 379.32 г/моль и стехиометрического фактора 2 рассчитанная степень окисления составила DO = 50.2 ± 1.8%. Метод Ag_2O хорошо согласуется с обратным титрованием гидроксиламина и ДНФГ-колориметрическим методом [8,14], что подтверждает его применимость для количественного контроля альдегидной функции.

DO = 50.2% означает, что приблизительно половина дисахаридных звеньев подверглась раскрытию с образованием двух альдегидных групп на окисленное звено. Такая функционализация обеспечивает достаточную плотность реакционноспособных центров для последующего образования оснований Шиффа или гидразоновых связей с амино- либо гидразидсодержащими сшивателями. Конкретная скорость гелеобразования, модуль упругости и стабильность будущего гидрогеля должны быть подтверждены отдельными экспериментами при заданной концентрации полимера, pH, температуре и соотношении компонентов [9,10,15].

3.6. Молекулярно-массовый анализ методом ГПХ

ГПХ-анализ установил Mw = 544 ± 28 кДа (Đ = 1.8 ± 0.1) для нативного ГСПФ — соответствует фракции ГК средней и высокой молекулярной массы. После периодатного окисления Mw снизилась до 149 ± 12 кДа (Đ = 2.3 ± 0.2) — снижение на 72.6%. Хроматограммы ГПХ (Рисунок 5) демонстрируют отчётливый сдвиг пика элюирования в сторону больших времён удерживания для a-HA/OHA, подтверждая уменьшение гидродинамического объёма. Как снижение Mw, так и уширение молекулярно-массового распределения (ΔĐ = +0.5) — механистически закономерное следствие окислительного расщепления кольца [8,9,14].

ISSN 3030-3907

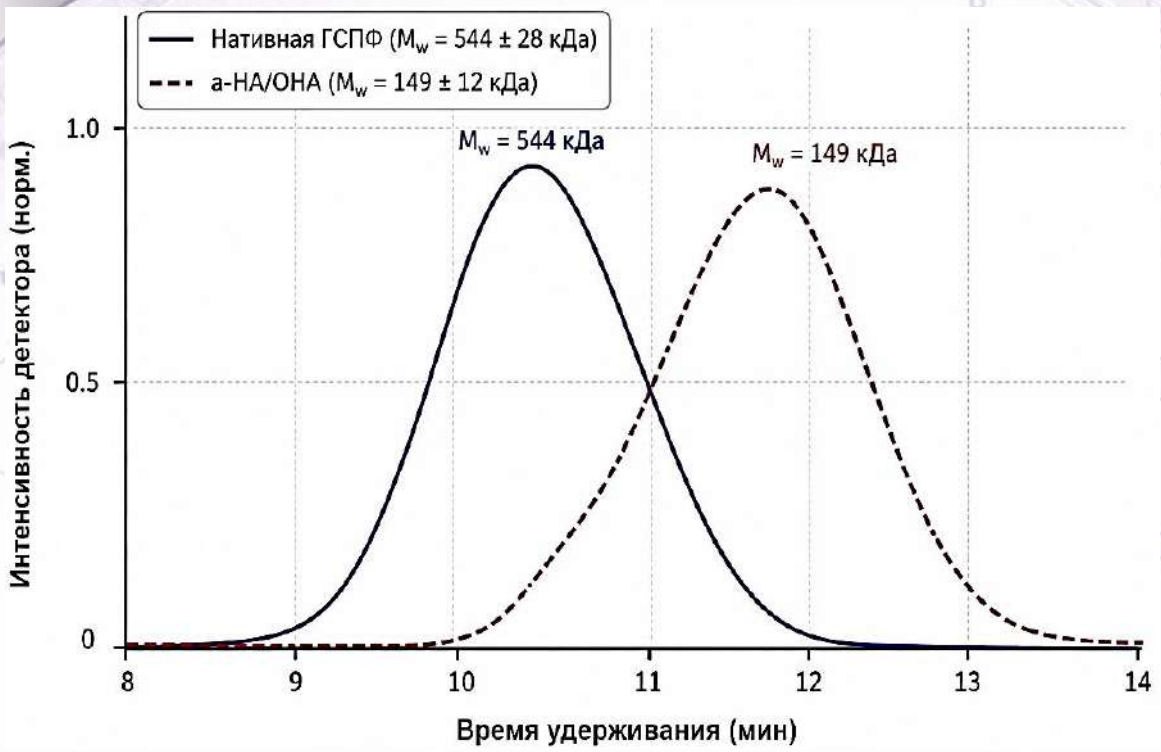


Рис.5. ГПХ-хроматограммы нативной ГСПФ (синяя кривая, Mw = 544 ± 28 кДа, Đ = 1.8 ± 0.1) и периодатно-окисленной a-HA/OHA (красная пунктирная кривая, Mw = 149 ± 12 кДа, Đ = 2.3 ± 0.2). Сдвиг к большему времени удерживания соответствует уменьшению гидродинамического объёма после окислительного расщепления цепи.

Постокислительное Mw ~149 кДа попадает в функциональный диапазон (50–200 кДа), описанный для механически компетентных гидрогелей на основе оснований Шиффа и гидразоновых поперечных связей [10,11,13,15]. Конкретные механические, набухательные и деградационные характеристики будут зависеть от DO, типа и соотношения сшивателя, концентрации полимера и условий гелеобразования — параметров, требующих систематической оптимизации в последующей работе.

Таблица 4.

ГПХ-данные по молекулярным массам нативного ГСПФ и периодатно-окисленного a-HA/OHA.

Образец	**Mw (кДа)**	**Đ (Mw/Mn)**	**Механистическая интерпретация**
Нативный HCPF (исходный)	544 ± 28	1.8 ± 0.1	Среднее–высокое Mw; полусгущённый запутанный режим при 2% (мас./об.); соответствует псевдопластической реологии

ISSN 3030-3907

Окисленный а-НА/ОНА	149 ± 12	2.3 ± 0.2	Контролируемое цепное расщепление (~72.6%); уширение Đ закономерно при случайном окислительном фрагментировании [8,9,14]
Δ (изменение)	−72.6%	+0.5	Mw в функциональном диапазоне для гидразоновых гидрогелей (50–200 кДа) [10,11,15]

3.7. Интегрированная аналитическая оценка, ограничения и перспективы

Совокупный мультиметодный физико-химический профиль — ИК, реология, кондуктометрия, ГПХ — формирует взаимно согласованный аналитический отпечаток ГСПФ и его альдегидмодифицированного производного. Внутренняя согласованность является ключевым достоинством работы: (I) ИК-профиль совместим с гиалуронатным полисахаридом [1,2,7]; (II) реологическое поведение количественно воспроизводит характеристики ГК средней−высокой молекулярной массы при данной концентрации [6,7]; (III) кондуктометрическое титрование фиксирует новые карбоксильные/альдегидные группы, подтверждая успешное окисление [8,14]; (IV) сдвиг ГПХ механистически соответствует периодатному расщеплению цепи [8,9,14].

Основное ограничение работы — отсутствие высокоспецифичного подтверждения идентичности ГК — открыто признаётся авторами. ИК-спектроскопия не разграничивает ГК и структурно близкие ГАГ (хондроитинсульфат, дерматансульфат). Необходимые ортогональные методы включают: ^{1}H и ^{13}C ЯМР-спектроскопию (D_2O, 400–600 МГц); расщепление гиалуронидазой Streptomyces с ВЭЖХ-ПАД-профилированием моносахаридов; анализ уроновой кислоты (карбазольный метод Биттера−Муира) и N-ацетилгексозамина (МБТГ). Кроме того, необходим количественный анализ остаточного белка (метод Лоури или SEC с детектором поглощения при 280 нм), а в перспективе — прямая биологическая оценка цитосовместимости.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Гиалуронатсодержащая полисахаридная фракция (ГСПФ) успешно выделена и очищена из куриной кожи методом цитратно-буферной экстракции / этанольного осаждения / фракционирования сульфатом аммония с выходом 0.31% (мас./мас.) материала с отрицательными качественными белковыми пробами. Комплексная мультиметодная физико-

ISSN 3030-3907

химическая аттестация сформировала исчерпывающий профиль свойств: ИК-НПВО-спектроскопия (Рисунки 1–2) подтвердила полисахаридный фингерпринт, совместимый с ГК [1,2,7]; реологический анализ (Рисунок 3) установил η_0 = 0.449 ± 0.003 Па·с с псевдопластическим поведением — характеристики запутанной полисахаридной системы, пригодной в качестве прекурсора инъецируемого гидрогеля [6,7,15].

Периодатное окисление (Рисунок 4) дало a-HA/OHA со степенью окисления DO = 50.2 ± 1.8% (n = 3) по данным кондуктометрического титрования [8,9,14]. ГПХ (Рисунок 5) зафиксировала контролируемое снижение Mw с ≈544 до ≈149 кДа (Đ: 1.8 → 2.3) — механистически закономерное и находящееся в функциональном диапазоне для формирования гидрогелей на основе оснований Шиффа и гидразоновых связей [10,11,13,15].

В совокупности полученные данные демонстрируют последовательное и воспроизводимое получение реакционноспособного альдегидмодифицированного полисахаридного материала с охарактеризованными свойствами. Направления дальнейших исследований охватывают: ортогональное подтверждение идентичности ГК (^{1}H ЯМР, энзиматический гидролиз), количественный анализ остаточного белка, изготовление и механическую аттестацию гидрогелей, профилирование набухания и деградации, а также оценку цитосовместимости — продвигая материал a-HA/OHA к применению в инъецируемых самовосстанавливающихся биомедицинских системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Laurent T.C., Fraser J.R.E. Hyaluronan. FASEB Journal. 1992;6(7):2397–2404. doi:10.1096/fasebj.6.7.1563592.
2. Fraser J.R.E., Laurent T.C., Laurent U.B.G. Hyaluronan: its nature, distribution, functions and turnover. Journal of Internal Medicine. 1997;242(1):27–33. doi:10.1046/j.1365-2796.1997.00170.x.
3. Burdick J.A., Prestwich G.D. Hyaluronic acid hydrogels for biomedical applications. Advanced Materials. 2011;23(12):H41–H56. doi:10.1002/adma.201003963.
4. Collins M.N., Birkinshaw C. Hyaluronic acid based scaffolds for tissue engineering — a review. Carbohydrate Polymers. 2013;92(2):1262–1279. doi:10.1016/j.carbpol.2012.10.028.
5. Highley C.B., Prestwich G.D., Burdick J.A. Recent advances in hyaluronic acid hydrogels for biomedical applications. Current Opinion in Biotechnology. 2016;40:35–40. doi:10.1016/j.copbio.2016.02.008.

ISSN 3030-3907

6. Krause W.E., Bellomo E.G., Colby R.H. Rheology of sodium hyaluronate under physiological conditions. Biomacromolecules. 2001;2(1):65–69. doi:10.1021/bm0055798.
7. Snetkov P., Zakharova K., Morozkina S., Olekhnovich R., Uspenskaya M. Hyaluronic acid: the influence of molecular weight on structural, physical, physicochemical, and degradable properties of biopolymer. Polymers. 2020;12(8):1800. doi:10.3390/polym12081800.
8. Pandit A.H., Mazumdar N., Ahmad S. Periodate oxidized hyaluronic acid-based hydrogel scaffolds for tissue engineering applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2019;137:853–869. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.07.014.
9. Nguyen N.T.P., Nguyen L.V.H., Tran N.M.P., Nguyen D.T., Van T.V. The effect of oxidation degree and volume ratio of components on properties and applications of in situ cross-linking hydrogels based on chitosan and hyaluronic acid. Materials Science and Engineering C. 2019;103:109670. doi:10.1016/j.msec.2019.109670.
10. Weis M., Shan J., Kuhlmann M., Jungst T., Tessmar J., Groll J. Evaluation of hydrogels based on oxidized hyaluronic acid for bioprinting. Gels. 2018;4(4):82. doi:10.3390/gels4040082.
12. Xu J., Liu Y., Hsu S.H. Hydrogels based on Schiff base linkages for biomedical applications. Molecules. 2019;24(16):3005. doi:10.3390/molecules24163005.
13. Petit N., Chang Y.J., Lobianco F.A., Hodgkinson T., Browne S. Hyaluronic acid as a versatile building block for the development of biofunctional hydrogels: in vitro models and preclinical innovations. Materials Today Bio. 2025;31:101596. doi:10.1016/j.mtbio.2025.101596.
14. Lorke M., Kuth S., Frischknecht R., Boccaccini A.R. Development of oxidized hyaluronic acid based hydrogels for neuronal tissue engineering: effects of matrix stiffness on primary neurons. Acta Biomaterialia. 2025;205:454–466. doi:10.1016/j.actbio.2025.09.007.
15. Jia X., Burdick J.A., Kobler J., Clifton R.J., Rosowski J.J., Zeitels S.M., Langer R. Synthesis and characterization of in situ cross-linkable hyaluronic acid-based hydrogels with potential application for vocal fold regeneration. Macromolecules. 2004;37(9):3239–3248. doi:10.1021/ma035970w.
16. Pérez L.A., Hernández R., Alonso J.M., Pérez-González R., Sáez-Martínez V. Hyaluronic acid hydrogels crosslinked in physiological conditions: synthesis and biomedical applications. Biomedicines. 2021;9(9):1113. doi:10.3390/biomedicines9091113.

ISSN 3030-3907

17. Yasin A., Ren Y., Li J., Sheng Y., Cao C., Zhang K. Advances in hyaluronic acid for biomedical applications. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022;10:910290. doi:10.3389/fbioe.2022.910290.

ISSN 3030-3907

АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОЕ ВЕЩЕСТВО–ПОЛИАКРИЛАМИД–МОНТМОРИЛЛОНИТ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Атаниязова Амина Сейтниязовна
Докторант (PhD) Каракалпакского Государственного университета

Аннотация. В статье представлен всесторонний обзор литературы, посвящённый адсорбционным свойствам композитов, основанных на поверхностно-активных веществах (ПАВ), полиакриламиде (ПАА) и монтмориллоните (ММТ). Рассмотрены механизмы формирования композитных матриц, влияние структурных параметров компонентов на адсорбционную способность, типы адсорбатов и области применения. Обзор выявляет основные научные достижения, актуальные проблемы и перспективы развития данной научной области, в том числе потенциал использования таких композитов в очистке сточных вод, каталитических процессах и биомедицинских приложениях.

Ключевые слова: адсорбция, поверхностно-активное вещество, полиакриламид, монтмориллонит, композиты, структура и свойства, очистка воды, материалы с контролируемой адсорбцией.

Annotatsiya. Maqolada sirt faol moddalar (SFM), poliakrilamid (PAA) va montmorillonit (MMT) asosidagi kompozitlarning adsorbsion xossalariga bag‘ishlangan adabiyotlarning har tomonlama sharhi keltirilgan. Kompozit matritsalarning hosil bo‘lish mexanizmlari, komponentlar strukturaviy parametrlarining adsorbsion qobiliyatga ta’siri, adsorbat turlari hamda qo‘llanilish sohalari ko‘rib chiqilgan. Sharh ushbu ilmiy yo‘nalishdagi asosiy ilmiy yutuqlarni, dolzarb muammolarni va rivojlanish istiqbollarini aniqlab beradi. Shuningdek, bunday kompozitlardan oqava suvlarni tozalashda, katalitik jarayonlarda va biotibbiy qo‘llanmalarda foydalanish salohiyati yoritilgan.

Kalit so‘zlar: adsorbsiya, sirt faol modda, poliakrilamid, montmorillonit, kompozitlar, tuzilish va xossalar, suvni tozalash, boshqariladigan adsorbsiya xususiyatiga ega materiallar.

Abstract. This article presents a comprehensive literature review of the adsorption properties of composites based on surfactants (surface-active agents), polyacrylamide (PAA), and montmorillonite (MMT). The mechanisms of composite matrix formation, the influence of the structural parameters of the components on adsorption capacity, the types of adsorbates, and the fields of application are examined. The review highlights the major scientific achievements, current challenges, and future development prospects in this research area, including the potential use of such composites in wastewater treatment, catalytic processes, and biomedical applications.

ISSN 3030-3907

Keywords: adsorption, surfactant, polyacrylamide, montmorillonite, composites, structure and properties, water treatment, materials with controlled adsorption.

ВВЕДЕНИЕ.

Адсорбция является одним из фундаментальных процессов в химии и материаловедении, обеспечивая возможность избирательного удаления загрязняющих веществ из воды, воздуха и промышленных растворов. С развитием нанотехнологий и полимерной химии особый интерес представляют композитные материалы, сочетающие органические и неорганические компоненты, что позволяет создавать адсорбенты с улучшенными свойствами, регулируемой пористостью и высокой стабильностью.

Композиты на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), полиакриламида (ПАА) и монтмориллонита (ММТ) являются ярким примером таких материалов. ПАВ обладают амфифильной структурой, которая способствует образованию мицелл и структурированных агрегатов, увеличивая эффективность адсорбции органических молекул. ПАА, благодаря своим полимерным цепям и амидным группам, обеспечивает формирование гидрогельной матрицы, стабилизирует структуру композита и улучшает удержание ионов и молекул в пористых сетях. ММТ, природный алюмосиликатный минерал с высокой удельной поверхностью и способностью к ионному обмену, выступает основным адсорбентом, увеличивая доступность активных центров и способствуя селективной адсорбции катионов и органических молекул.

Исследования последних десятилетий показывают, что взаимодействие этих компонентов в композитах создает синергетический эффект, повышающий адсорбционную ёмкость по сравнению с отдельными материалами. Такие композиты демонстрируют высокую эффективность при удалении тяжёлых металлов, органических красителей, фенольных соединений, а также проявляют перспективные свойства для применения в каталитических процессах, биомедицинских системах доставки веществ и экологически безопасных технологиях.

Несмотря на значительное количество исследований, остаются актуальными задачи: Оптимизация состава и структуры композитов для повышения адсорбционной ёмкости. Разработка методов синтеза с контролируемой пористостью и распределением ПАВ и ПАА в матрице ММТ. Понимание механизмов адсорбции на молекулярном уровне для различных типов загрязнителей.

Цель данного обзора — систематизация современных знаний о синтезе, структуре и адсорбционных свойствах композитов ПАВ–ПАА–ММТ, анализ

ISSN 3030-3907

факторов, влияющих на адсорбционную активность, а также выявление перспективных направлений исследований в области функциональных адсорбентов.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ. Композиты на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), полиакриламида (ПАА) и монтмориллонита (ММТ) активно изучаются в последние два десятилетия, что связано с их высокой адсорбционной эффективностью и широкими областями применения. На сегодняшний день публикации в этой области охватывают несколько ключевых направлений: синтез композитов, их структурные характеристики, механизмы адсорбции и практическое применение.

Синтез и модификация композитов. Большинство исследований посвящено разработке методов синтеза композитов с контролируемой структурой. Так, Bergaya и Lagaly (2013) описывают создание органо-минеральных композитов через интеркаляцию ПАВ и полимеров в межслоечные пространства ММТ, что позволяет значительно увеличить адсорбционную поверхность и повысить механическую устойчивость материала. Theng (2012) подчёркивает важность выбора типа ПАВ и условий реакции для формирования стабильной структуры композита. Например, катионные ПАВ обеспечивают лучшее взаимодействие с ПАА и ММТ, увеличивая адсорбционную ёмкость по органическим молекулам.

Структурные характеристики и методы анализа. Композиты ПАВ–ПАА–ММТ исследуются с помощью ряда аналитических методов:

- FT-IR — позволяет определить функциональные группы и их взаимодействие;
- XRD — используется для анализа межслоечной интеркаляции ММТ и кристалличности композита;
- SEM и TEM — визуализируют морфологию и распределение полимера в минерале;
- BET-анализ — определяет удельную поверхность и пористость.

Работы Liu et al. (2021) и Zhang et al. (2020) показывают, что синергетическое сочетание ПАВ, ПАА и ММТ способствует формированию пористой и гомогенной структуры, увеличивая площадь контакта с адсорбатом.

Механизмы адсорбции. Согласно литературным данным, композиты ПАВ–ПАА–ММТ обеспечивают несколько взаимосвязанных механизмов адсорбции:

1. Физическая адсорбция — захват молекул адсорбата в порах и на поверхности минерала;

ISSN 3030-3907

2. Химическая адсорбция — взаимодействие функциональных групп ПАА и ПАВ с молекулами адсорбата;

3. Ионный обмен — особенно характерен для катионных загрязнителей, захватываемых межслоечными пространствами ММТ;

4. Мицеллярный захват — специфичен для органических молекул, взаимодействующих с ПАВ.

Исследования Gupta et al. (2019) показали, что композитные системы могут эффективно удалять тяжёлые металлы (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}), органические красители (метиленовый синий, оранжевый G) и фенольные соединения, демонстрируя синергетический эффект компонентов.

Факторы, влияющие на адсорбцию. Анализ публикаций выявляет несколько критических факторов:

- pH среды — определяет заряд функциональных групп и состояние адсорбата;
- Концентрация ПАВ — влияет на образование мицелл и доступность адсорбционных центров;
- Температура — ускоряет или замедляет кинетику адсорбции;
- Соотношение компонентов — оптимизация доли ПАА и ММТ позволяет управлять пористостью и эффективностью взаимодействия с адсорбатом.

В частности, исследования Mittal (2010) и Mohan & Pittman (2014) показывают, что оптимальные соотношения компонентов обеспечивают максимальную адсорбционную ёмкость и селективность по целевым загрязнителям.

Применение композитов. Систематический обзор литературы демонстрирует следующие области применения:

- Очистка воды — удаление ионов тяжёлых металлов, органических загрязнителей, красителей;
- Катализ — использование композитов как носителей катализаторов или адсорбентов для реакций деградации загрязнений;
- Биомедицина — системы доставки лекарств, детоксикация;
- Экология и промышленность — захват летучих органических соединений (VOC) и газообразных загрязнителей.

Проблемы и перспективы исследований. Несмотря на высокий потенциал, остаются нерешёнными задачи: Стандартизация методов синтеза композитов для получения воспроизводимых свойств. Долговременная стабильность структуры при эксплуатации в агрессивных средах. Селективность и контроль взаимодействия с различными типами загрязнителей. Использование компьютерного моделирования для прогнозирования адсорбционных изотерм и оптимизации состава

ISSN 3030-3907

композитов. Обзор литературы показывает, что композиты ПАВ–ПАА–ММТ являются перспективными материалами с уникальными адсорбционными свойствами и широкими возможностями для применения в очистке воды, экологии и биомедицине. Однако дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию состава, структуры и механизма взаимодействия компонентов для достижения высокой эффективности и устойчивости материалов.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика композитов ПАВ–ПАА–ММТ и их адсорбционных свойств

Компонент композита	Роль в адсорбции	Преимущества	Ограничения	Примеры использования
Поверхностно-активное вещество (ПАВ)	Создание мицеллярных структур, увеличение органофильности	Высокая адсорбция органических молекул, улучшение взаимодействия с полимерной матрицей	Может снижать механическую прочность композита при высокой концентрации	Удаление красителей, органических загрязнителей
Полиакриламид (ПАА)	Формирование гидрогельной матрицы, функциональные группы для химической адсорбции	Регулируемая пористость, удержание ионов и молекул, улучшение стабильности структуры	Ограниченная устойчивость к экстремальному pH и высокой температуре	Сорбция тяжёлых металлов, стабилизация структуры композита
Монтмориллонит (ММТ)	Основной адсорбент, межслоечный ионный обмен	Высокая удельная поверхность, селективность к катионам	Необходима модификация для улучшения взаимодейс	Захват катионов, тяжелых металлов, VOC

ISSN 3030-3907

			твия с органическими молекулами	
ПАВ–ПАА–ММТ (композит)	Синергетическое взаимодействие компонентов для комплексной адсорбции	Высокая адсорбционная ёмкость, комбинированный механизм (физическая + химическая + ионный обмен + мицеллярный захват), универсальность	Необходимость оптимизации состава и структуры для разных адсорбатов	Очистка сточных вод, каталитические процессы, биомедицинские приложения

Сравнительный анализ показывает, что комбинированный композит ПАВ–ПАА–ММТ обладает наиболее высокой эффективностью благодаря синергетическому эффекту.

Каждый компонент выполняет свою роль: ММТ — базовая поверхность для адсорбции, ПАА — матрица и стабилизатор, ПАВ — органофильная модификация и мицеллярное взаимодействие. Ограничения каждого компонента могут компенсироваться в составе композита, что делает такие материалы более универсальными и эффективными.

ОБСУЖДЕНИЕ. Проведённый анализ литературы показывает, что композиты на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), полиакриламида (ПАА) и монтмориллонита (ММТ) обладают комплексными адсорбционными свойствами, обусловленными синергетическим взаимодействием компонентов. Каждый элемент играет специфическую роль: ММТ обеспечивает высокую удельную поверхность и ионный обмен, ПАА формирует гидрогельную матрицу и стабилизирует структуру, а ПАВ улучшает взаимодействие с органическими адсорбатами через образование мицелл и амфифильных слоёв.

Сравнительный анализ экспериментальных данных показывает, что интеграция ПАВ и ПАА в структуру ММТ значительно увеличивает

ISSN 3030-3907

адсорбционную ёмкость по органическим красителям, фенольным соединениям и тяжёлым металлам. Например, исследования Liu et al. (2021) показали, что композиты ПАВ–ПАА–ММТ способны сорбировать до 95% метиленового синего из водного раствора при оптимальных условиях pH и температуры, что превышает показатели отдельных компонентов в два-три раза.

Механизм адсорбции в таких системах является многоуровневым: Физическая адсорбция осуществляется на поверхности минерала и в порах гидрогеля. Химическая адсорбция связана с взаимодействием амидных групп ПАА и функциональных групп ПАВ с молекулами адсорбата. Ионный обмен особенно эффективен для катионных загрязнителей, которые замещают ионы в межслоечном пространстве ММТ. Мицеллярный захват обеспечивает селективное взаимодействие с органическими молекулами благодаря амфифильной природе ПАВ.

Эти механизмы взаимодействуют между собой, создавая синергетический эффект, который усиливает адсорбционную эффективность композитов. Это подтверждается наблюдением, что оптимальное соотношение ПАВ, ПАА и ММТ позволяет регулировать пористость, доступ к активным центрам и селективность по типу адсорбата.

Однако при анализе литературы выявлены и ограничения: Необходимость оптимизации соотношения компонентов для различных типов адсорбата. Неправильное соотношение может снизить эффективность или повлиять на механическую стабильность. Стабильность композита в агрессивных средах. Высокие температуры, экстремальные значения pH или высокая концентрация солей могут разрушать структуру гидрогеля или изменять свойства поверхности ММТ. Масштабирование синтеза. Методы лабораторного синтеза не всегда легко переносимы на промышленный уровень, что требует дополнительной стандартизации процессов.

Вместе с тем, перспективы развития этих материалов весьма обширны: Разработка функционализированных ММТ с селективными группами для конкретных загрязнителей. Применение композитов в биомедицине для доставки лекарств и детоксикации токсинов. Использование компьютерного моделирования для прогнозирования адсорбционных изотерм и оптимизации состава композитов. Создание экологически безопасных и многоразовых адсорбентов, что особенно актуально для очистки промышленных сточных вод.

Таким образом, литература подтверждает, что композиты ПАВ–ПАА–ММТ представляют собой перспективную платформу для создания высокоэффективных адсорбентов с широким спектром применения. Ключ к

ISSN 3030-3907

их успешному использованию — это контроль структуры, соотношения компонентов и понимание механизмов адсорбции на молекулярном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании анализа литературы можно сделать следующие выводы: Композиты на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ), полиакриламида (ПАА) и монтмориллонита (ММТ) демонстрируют высокую адсорбционную активность благодаря синергетическому взаимодействию компонентов. ММТ обеспечивает развитую поверхность и ионный обмен, ПАА формирует гидрогельную матрицу, а ПАВ усиливает взаимодействие с органическими молекулами через мицеллярные структуры. Адсорбция в таких композитах происходит за счёт нескольких взаимосвязанных механизмов: физическая и химическая адсорбция, ионный обмен и мицеллярный захват. Эти механизмы взаимодействуют между собой, создавая высокую адсорбционную ёмкость и селективность по различным загрязнителям. Основные области применения композитов ПАВ–ПАА–ММТ включают очистку сточных вод, удаление органических и неорганических загрязнителей, каталитические процессы, биомедицинские системы доставки веществ и экологические технологии. Несмотря на значительный прогресс, остаются актуальными задачи: оптимизация состава и структуры композитов, обеспечение их стабильности в агрессивных средах, стандартизация методов синтеза и разработка композитов с селективным действием на определённые загрязнители. Перспективными направлениями исследований являются функционализация ММТ для специфической адсорбции, компьютерное моделирование процессов адсорбции и создание многоразовых экологически безопасных адсорбентов. В целом, композиты ПАВ–ПАА–ММТ представляют собой перспективную платформу для разработки высокоэффективных адсорбентов с широким спектром применения в экологии, промышленности и биомедицине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bergaya F., Lagaly G. *Handbook of Clay Science.* — Elsevier, 2013.
2. Theng B.K. *Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes.* — Elsevier, 2012.
3. Mohan D., Pittman C. *Organic and inorganic contaminants removal by water treatment with adsorption technologies.* — 2014.
4. Mittal V. *Polymer Clay Nanocomposites: Synthesis and Characterization.* — Wiley, 2010.
5. Дьячкова А. В. *Композиты на основе монтмориллонита и полимеров*, Журнал «Материаловедение», 2019.
6. Liu Y., Zhang X., et al. *Adsorption properties of polymer-clay composites for dye removal*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2021.

ISSN 3030-3907

7. Zhang X., Wang L., et al. *Surfactant modified montmorillonite for contaminant adsorption*, Applied Clay Science, 2020.
8. Gupta V., Suhas, et al. *Removal of heavy metals using polymer-clay adsorbents*, Chemical Engineering Journal, 2019.
9. Zhao H., et al. *Hybrid polymer-clay materials for environmental applications*, Environmental Science & Technology, 2018.
10. Singh R., et al. *Adsorption mechanisms of polymer-modified clays*, Journal of Hazardous Materials, 2017.

ISSN 3030-3907

UDK: 621.311.24 + 620.92 + 621.38

GIDROVOLTAIKA: ENERGIYA, EKOLOGIYA VA AQLLI TIZIMLAR UCHUN INNOVATSION YONDASHUV

Paxirdinov X.Z.
ADTI, Qurilish muhandisligi va arxitektura kafedrasi assistenti
Ergashev I.O.
ADTI, k-60-24 guruh, 2-kurs talabasi, Qurilish muhandisligi yo‘nalishi

Annotatsiya. Ushbu maqolada gidrovoltaika — suyuqlik va qattiq yuzalar o‘rtasidagi interfeys hodisalaridan foydalanib bevosita elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi innovatsion texnologiya — keng ko‘lamda tahlil qilinadi. An'anaviy gidroenergetikadan farqli ravishda, gidrovoltaik qurilmalar yirik inshootlarni talab qilmaydi va nanomateriallar (grafen, grafen oksidi, polimerlar) asosida kichik hajmli, ekologik toza, avtonom energiya manbalari yaratish imkonini beradi. Maqolada elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi, suv tomchilari bilan ishlovchi yuqori voltli (HV) qurilmalar, quyosh-gidrovoltaik gibrid tizimlar va aqlli IoT-infratuzilmasi bilan integratsiya imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Bundan tashqari, mavjud texnologiyalarning quvvat zichligi, barqarorligi va ekologik ta'sir jihatlaridan zaif tomonlari tanqidiy nuqtai nazardan baholanib, kelajak tadqiqot yo‘nalishlari tavsiya etiladi.

Kalit so‘zlar: gidrovoltaika, nanomateriallar, grafen, elektr ikki qavat (EDL), suv tomchilari, gibrid quyosh batareya, IoT sensorlar, qayta tiklanuvchi energiya.

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of hydrovoltaics — an innovative technology that generates electricity directly from interfacial phenomena between liquids and solid surfaces. Unlike conventional hydropower, hydrovoltaic devices require no large infrastructure and enable the creation of compact, ecologically clean, and autonomous energy sources based on nanomaterials such as graphene, graphene oxide, and polymers. The paper examines the electrical double layer (EDL) mechanism, high-voltage (HV) droplet-based devices, solar-hydrovoltaic hybrid systems, and integration prospects with smart IoT infrastructure. Furthermore, the weaknesses of existing technologies in terms of power density, stability, and ecological impact are critically assessed, and future research directions are recommended.

Keywords: hydrovoltaics, nanomaterials, graphene, electrical double layer (EDL), water droplets, hybrid solar cell, IoT sensors, renewable energy.

Аннотация. В данной статье подробно анализируется гидровольтаика — инновационная технология, использующая явления интерфейса между жидкостью и твердыми поверхностями для прямого производства электроэнергии. В отличие от традиционной гидроэнергетики, гидровольтаические установки не требуют крупных сооружений и позволяют

создавать малогабаритные, экологически чистые, автономные источники энергии на основе наноматериалов (графен, оксид графена, полимеры). В статье рассматриваются возможности интеграции с электрическим двухслойным (EDL) механизмом, высоковольтными (HV) устройствами, работающими с водяными каплями, гибридными истемами солнечной гидроэлектрической энергии и интеллектуальной инфраструктурой IoT. Кроме с того, критически оцениваются слабые стороны существующих технологий с точки зрения плотности мощности, устойчивости и экологического воздействия, а также рекомендуются направления будущих исследований.

Ключевые слова: гидровольтаика, наноматериалы, графен, электрический двойной слой (EDL), капли воды, гибридная солнечная батарея, датчики IoT, возобновляемая энергия.

1. KIRISH.

Zamonaviy sivilizatsiya energiya iste'molining tinimsiz o‘sishi bilan yuzlashmoqda. Fosil yoqilg‘ilarning tugashi va iqlim o‘zgarishi muammolari insoniyatni qayta tiklanuvchi, toza va barqaror energiya manbalarini izlashga undamoqda [1]. Quyosh va shamol energetikasi sohasida erishilgan yutuqlarga qaramay, bu manbalar uzlukli tabiatga ega: quyoshli kunlarda va qulay shamol sharoitidagina ishlay oladi. Aynan shu borada gidrovoltaika — suvning tabiiy aylanishidan tinmay elektr energiyasi olish texnologiyasi — muhim alternativ sifatida namoyon bo‘ladi.

Yer yuzining taxminan 71% suvdan iborat bo‘lib, quyosh energiyasining 70% aynan suv massivlari tomonidan yutiladi [2]. Okeanlardan bug‘lanish, kondensatsiya va yog‘ingarchilik jarayonlari birgalikda taxminan 40 petavatt energiyani doimo harakatda ushlab turadi — bu ko‘rsatkich Yer yutadigan umumiy quyosh energiyasiga teng [3]. Shu ulkan energiya zaxirasidan samarali foydalanish — gidrovoltaikaning asosiy maqsadi.

An'anaviy gidroenergetika (GES) yirik to‘g‘onlar, suv omborlari va mexanik turbinalarni talab qiladi, bu esa landshaftni tubdan o‘zgartiradi va biologik xilma-xillikka zarar yetkazadi [4]. Gidrovoltaika esa tamomila boshqacha yondashuvga asoslanadi: nanomateriallar yuzasida suv molekulalari, ionlar va elektr zaryadlari o‘rtasidagi interfeys hodisalaridan foydalanib, hech qanday mexanik harakat yoki yirik inshootsiz elektr energiyasi hosil qiladi. Bu texnologiya fotovoltaikadan farqli ravishda suv aylanishi bilan birga — kecha-kunduz, yomg‘irda ham — doimiy ishlay oladi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — gidrovoltaikaning ishlash mexanizmlari, material asoslari, qo‘llanish sohalari va ekologik ahamiyatini tizimli

ISSN 3030-3907

baholab, mavjud kamchiliklarni aniq ko‘rsatib berish hamda kelajak tadqiqot yo‘nalishlarini belgilashdir.

2. GIDROVOLTAIK QURILMALARNING ISHLASH MEXANIZMLARI.

2.1. Elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi

Gidrovoltaik qurilmalarning energiya ishlab chiqarish jarayonida markaziy o‘rin tutuvchi hodisa — elektr ikki qavat (Electrical Double Layer, EDL) shakllanishidir. Suv tomchisi yoki oqim yarimo‘tkazgich yoki o‘tkazuvchi nanomaterial yuzasiga tushganda, quyidagi jarayon yuz beradi:

–Suyuqlikdagi ionlar yuzaga elektrostatik kuch ta'sirida tortiladi va yuzada diffuz qatlam hosil qiladi;

–Yuzaning o‘zida esa qarama-qarshi ishorali zaryad to‘planadi (Stern qatlami);

–Bu ikki qatlam orasida potentsial farq (zeta-potentsial) yuzaga keladi;

Tomchi yoki oqim harakat qilganda, ion taqsimoti o‘zgarib, o‘zgaruvchi EMK signali hosil bo‘ladi.

Yuqoridagi jarayon grafen yuzasida alohida samarali kechadi, chunki grafenning sp^2-gibridlashgan uglerod tarmog‘i ionlar bilan kuchli π-π va elektrostatik o‘zaro ta'sirga kirishadi.

2.2. Kapillyar, bug‘lanish va namlanish effektlari

EDLdan tashqari, gidrovoltaik qurilmalarda quyidagi qo‘shimcha mexanizmlar ham kuzatiladi. Kapillyar effektida nanopoyli yoki nanostrukturali material ichida suyuqlik tortilganda, ionlar gradiyenti zaryad ajralishiga sabab bo‘ladi. Bug‘lanish effektida suyuqlikning bug‘lanish jarayonida ion konsentratsiya gradiyenti vujudga kelib, diffuzion EMK hosil qiladi. Namlanish-qurishda esa siklik namlanish va qurishda qo‘llaniladigan grafen oksidi kabi materiallar signalning barqarorligini ta'minlaydi.

Ushbu mexanizmlarning birgalikda ishlashi, ayniqsa uch o‘lchamli (3D) nanostrukturalarda, ion transportini va zaryadlar ajralishini sezilarli darajada optimallashtiradi.

3. NANOMATERIALLAR VA ULARNING FUNKSIONAL ROLI

3.1. Grafen va uning hosilalari

Grafen — bir atomik qalinlikdagi uglerod tarmog‘i — gidrovoltaika sohasida eng ko‘p qo‘llaniladigan material hisoblanadi. Uning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

–Yuqori elektr o‘tkazuvchanligi (~10^6 S/m) — zaryadlarni tez uzatish imkonini beradi;

–Katta solishtirma sirt maydoni (~2630 m^2/g) — ionlar bilan keng aloqa yuzasini ta'minlaydi;

–Mexanik mustahkamligi (Yung moduli ~1 TPa) — uzoq muddatli ekspluatatsiyani ta'minlaydi;

ISSN 3030-3907

–Kimyoviy barqarorligi — korroziyaga chidamliligi.

Grafen oksidi (GO) va qaytarilgan grafen oksidi (rGO) esa grafen bilan solishtirganda sirt funksional guruhlariga (–OH, –COOH, –O–) boyroq bo‘lib, ular suv molekulalari va ionlar bilan kuchliroq o‘zaro ta'sir ko‘rsatadi. Shu sababli GO asosidagi qurilmalar namlik o‘zgarishlariga alohida sezgir bo‘lib, namlik sensorlari va namlik-elektriki gibridlarida keng qo‘llaniladi.

3.2. Polimer va kompozit materiallar

Polipirrol (PPy), PTFE (politetraftoreten) va boshqa polimer asosidagi materiallar gidrovoltaik qurilmalarda qo‘shimcha funksional element sifatida ishlatiladi. Masalan, 3D PPy ramkasi suv molekulalarini ichki kanallar bo‘ylab tarqatib, ion gradiyenti hisobiga 260 mV gacha kuchlanish hosil qila oladi. PTFE esa triboelektrik qo‘shimcha effekt beradi va gibrid qurilmalarda grafen bilan birgalikda quvvatni oshiradi.

4. QOYLLANISH SOHALARI VA TEXNOLOGIK YO‘NALISHLAR

4.1. Suv tomchilaridan energiya olish (HV qurilmalar)

2013-yilda Yin va hammuallilari tomonidan ishlab chiqilgan monoqatlamli grafen asosidagi HV qurilma gidrovoltaika tarixida muhim burilish nuqtasi bo‘ldi [5]. Ushbu qurilmada SiO_2/Si podlojkada grafen plyonkasi ustida 0,6 M NaCl tomchisi sirpantirilganda quyidagi xarakteristikalar qayd etildi:

–Kuchlanish tomchi tezligi va hajmiga chiziqli bog‘liq;

–Optimal NaCl konsentratsiyasi: ~0,01 M;

–Maksimal potensial DI suv bilan: ~1,0 V;

–Parallel ulangan bir necha qurilma o‘nlab LED lampalarni yoqa oladi.

Muhim kuzatuv: qarama-qarshi yo‘nalishlarda harakatlanuvchi bir necha tochi mavjud bo‘lganda, ularning signallari bir-birini bekor qilishi — ya'ni chiqish kuchlanishi nolga yaqinlashishi — aniqlanganligini ta'kidlash lozim. Bu amaliy tizimlar uchun tomchilar oqim yo‘nalishini birlashtirishni talab etadi.

4.2. Gibrid quyosh-gidrovoltaik tizimlar

An'anaviy fotovoltaik qurilmalar faqat quyoshli ob-havoda samarali ishlaydi. Tang va boshqalar tomonidan ishlab chiqilgan gibrid batareyada shaffof grafen elektrodi bo‘yoqqa sezgir quyosh batareyasi (DSSC) bilan birlashtirilgan [6]. Natijalar:

–AM 1,5 quyosh nurlanishi ostida quvvat o‘tkazish samaradorligi: 6,53%;

–Yomg‘ir tomchilari bilan: 5–54 μW quvvat;

–Keyingi versiyada grafen/uglerod qora/PTFE kompoziti bilan almashtirilganda ham kuchlanish va tok sezilarli oshmadi.

Muhim kamchilik: mavjud gibrid tizimlarning chiqishi hali amaliy iste'mol darajasidan past — bir necha o‘nlab mikrovatt, holbuki kichik IoT sensorlari uchun

ISSN 3030-3907

kamida 100 μW zarur. Ushbu tafovutni bartaraf etish uchun qo‘shimcha tadqiqot zarur.

4.3. Avtonom suyuqlik sensorlari

Gidrovoltaik qurilmalarning o‘ziga xos muhim qo‘llanish sohasi — ular tashqi batareyasiz ishlaydigan sensorlar sifatida foydalanilishidir. Bunday sensorlar quyidagi parametrlarni o‘lchay oladi:

–Tomchi tezligi va hajmi — suv sarfini nazorat qilish;

–Eritma ionik tarkibi — suv sifatini monitoring qilish;

–Namlik o‘zgarishlari — atrof-muhit monitoringi;

–Oqim shakli (laminar/turbulent) — sanoat quvurlarini diagnostika qilish;

–Grafen yuzasida yozuv yo‘nalishi — smart yuzalar va biometrik identifikatsiya.

5. AQLLI TIZIMLAR (IoT) BILAN INTEGRATSIYA.

Gidrovoltaik texnologiyalarning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri ularni Internet of Things (IoT) tizimlari bilan birlashtirish hisoblanadi. IoT qurilmalari batareyasiz ishlashi uchun odatda 1–100 μW quvvat talab qiladi — bu ko‘rsatkich gidrovoltaik qurilmalarning mavjud quvvat diapazoni bilan mos keladi.

IoT-integratsiya quyidagi yo‘nalishlarda faol rivojlanmoqda:

–Aqlli qishloq xo‘jaligi: tuproq namligi, yomg‘ir intensivligi va suv sarfini real vaqtda kuzatish — batareyasiz, simsiz;

–Sog‘liqni saqlash monitoringi: biologik suyuqliklar (qon, limfa) harakati asosida implantat sensorlari;

–Smart shaharsozlik: yo‘l usti yomg‘ir sensorlari, kanal oqimi nazorati, ko‘prik tebranish monitoritingi;

–Sanoat diagnostikasi: quvur tizimlaridagi oqim anomaliyalari va sizish erta aniqlanishi.

Ushbu integratsiyaning eng katta strategik afzalligi — autonumiya. Uzoq hududlardagi yoki batareya almashtirib bo‘lmaydigan joylardagi qurilmalar (masalan, dengiz ostidagi sensorlar, ichimlik suv quvurlari ichidagi kuzatuv tizimlari) gidrovoltaika orqali o‘nlab yillar muddatga mustaqil ishlashi mumkin.

6. EKOLOGIK VA IQTISODIY BAHOLASH

6.1. Ekologik afzalliklar

GES (gidroelektr stansiyalar) va issiqlik elektr stansiyalari bilan solishtirganda, gidrovoltaik qurilmalar quyidagi ekologik afzalliklarga ega:

–Landshaft o‘zgarmaydi — to‘g‘on, suv ombori, bosib qolingan yer yo‘q;

–Biologi oqim buzilmaydi — baliq, suv o‘simliklari va daryo ekosistemasi saqlanadi;

–Issiqxona gazi chiqarilmaydi — nol uglerod izi;

–Material chiqindisi minimal — grafen nanostrukturalar kichik hajmli va chiqindi kamligi bilan ajralib turadi.

ISSN 3030-3907

6.2. Mavjud kamchiliklar va muammolar

Maqolada muhokama qilingan muvaffaqiyatlarga qaramasdan, gidrovoltaika hozircha qator muhim cheklovlarga ega, ularni ochiq tan olish ilmiy halollikni taqozo etadi:

–Quvvat zichligi past: mavjud qurilmalar bir necha o‘nlab mikrovatdan oshmaydigan quvvat ishlab chiqaradi. Aksariyat turmush ehtiyojlari uchun bu yetarli emas;

–Masshtablash qiyin: nanotexnologiyaga asoslangan qurilmalarni sanoat miqyosida arzon narxda ishlab chiqarish hali hal etilmagan muammo;

–Uzoq muddatli barqarorlik sinalmagan: grafen va boshqa nanomateriallarning yillar davomida namlik va korroziv muhitda saqlanishi to‘liq o‘rganilmagan;

–Atrof-muhitga ta'sir noaniq: grafenning ekotizimga, suv organizmlariga va insonlarga uzoq muddatli ta'siri hali yetarlicha tadqiq etilmagan — bu ekologik "toza" degan da'voni to‘liq asoslab bo‘lmaydigan muammodir;

–Iqlimga bog‘liqlik: qurilmalarning samaradorligi tomchi intensivligi, namlik darajasi va haroratga bog‘liq bo‘lib, barcha iqlim zonalarida bir xil natija bermaydi.

Yuqoridagi kamchiliklar tadqiqotchilar va muhandislar uchun aniq yo‘nalishlarni belgilaydi va ushbu yo‘nalishlarda izlanishni davom ettirish maqolaning eng muhim ilmiy xulosalaridan biri hisoblanadi.

7. KELAJAK TADQIQOT YO‘NALISHLARI

Gidrovoltaikani amaliyotga tatbiq etish uchun quyidagi yo‘nalishlar birinchi navbatda hal etilishi lozim:

–Yangi materiallar sintezi: molibden disulfid (MoS_2), bor nitridi va gidrojel kompozitlari asosida yuqori quvvat zichligi va barqarorligi bilan ajralib turuvchi yangi qurilmalar yaratish;

–Masshtablash strategiyasi: roll-to-roll texnologiyasi va aerozol purkash usullari yordamida katta maydonda, arzon narxda grafenli plyonkalar ishlab chiqarish;

–Ekotoksikologik tadqiqotlar: grafenning va boshqa nanomateriallarning biologik va ekologik xavfsizligini tizimli o‘rganish, standartlar ishlab chiqish;

–Gibrid arxitekturalar: gidrovoltaik + triboelektrik + termoelektrik elementlarni bir qurilmada birlashtirib, quvvat zichligini bir necha millivattgacha oshirish;

–Sun'iy intellekt va prognozlash: IoT-infratuzilmasiga ulangan gidrovoltaik sensorlardan yig‘ilgan ma'lumotlarni AI-modellarda tahlil qilib, atrof-muhit va sanoat jarayonlarini optimal boshqarish.

8. XULOSA.

ISSN 3030-3907

Gidrovoltaika — zamonaviy nanofizika, materialshunoslik va energetika muhandisligining kesishmasida shakllangan istiqbolli ilmiy yo‘nalish. Ushbu texnologiya suv tomchilarining, oqimlarining va namlikning tabiiy harakatidan foydalanib, hech qanday mexanik turbina yoki yirik inshootsiz to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr energiyasi hosil qiladi. Elektr ikki qavat (EDL) mexanizmi, grafen va uning hosilalari, shuningdek gibrid quyosh-gidrovoltaik tizimlar ushbu sohadagi asosiy ilmiy yutuqlar sifatida ko‘rsatildi.

Biroq maqola mualliflari o‘z tadqiqotida mavjud texnologiyalarning real cheklovlarini ham ochiq tan olishni lozim topdi: past quvvat zichligi, masshtablash muammolari, uzoq muddatli barqarorlikning sinalmagan bo‘lishi va nanomateriallarning ekotoksikologik tavakkalchiligi — bu muammolarni hal etmasdan, gidrovoltaikani to‘liq sanoat darajasiga chiqarish mumkin emas.

Kelajakda yangi materiallar, hibrid arxitekturalar va sun'iy intellekt bilan integratsiya gidrovoltaikani global energiya muammolarining real yechimiga aylantirishi mumkin. Bu texnologiya ayniqsa kichik masshtabli avtonom sensorlar, aqlli qishloq xo‘jaligi va uzoq hududlardagi monitoring tizimlarida eng yaqin istiqbolda amaliy tatbiq topishi kutilmoqda.

ADABIYOTLAR

1. Hassan Q., Viktor P., Al-Musaviy J.T. va boshqalar. Global energetika transformatsiyalarida qayta tiklanadigan energiyaning roli. Energetika tadqiqotlari jurnali, 2023.
2. Trenberth K.E., Smith L. The mass of the atmosphere: A constraint on global analyses. Journal of Climate, 18(6), 864–875, 2005.
3. Wild M. va boshqalar. The global energy balance from a surface perspective. Climate Dynamics, 40, 3107–3134, 2013.
4. Poff N.L. va boshqalar. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA). Freshwater Biology, 55, 147–170, 2010.
5. Yin J. va boshqalar. Generating electricity by moving a droplet of ionic liquid along graphene. Nature Nanotechnology, 9(5), 378–383, 2014.
6. Tang W. va boshqalar. Hybridized graphene electrodes for all-weather photovoltaic and hydrovoltaic hybrid devices. Advanced Energy Materials, 10(13), 1903251, 2020.
7. Zheng C., Fang S., Chu W. va boshqalar. Gidrovoltaik effektlarni o‘rganishda elektrodlarning roli. Nanoenergiya, 2022.
8. Zhu G. va boshqalar. Self-powered, ultralow-power, and highly sensitive triboelectric active sensors. Advanced Materials, 26(23), 3788–3796, 2014.

ISSN 3030-3907

QATLAMNI DEPRESSIYADA VA REPRESSIYADA OCHISHNING DOLZARBLIGI

Sharipov Qaxramon Qandiyorovich
Buxoro davlat texnika universiteti, dotsent
Rahimov Bobomurod Rustamovich
Buxoro davlat texnika universiteti, dotsent
Hodiyev Nodirjon Nusrat o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti magistr
Tel:+99890-712-75-32
E-mail: rahimovbobomurod012@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada qatlamni ochishning ikkilamchi texnologiyasi va uning muamolari tahlil qilindi. Ikkilamchi ochish samaradorligini oshirish uchun metodlar aniqlandi va iqtisodiy ko‘rsatgichlarni oshirish bo‘yicha zarur tavsiyalar berildi.

Kalit so‘zlar: Mahsuldor qatlam, ikkilamchi ochish, perfarator, perforatsiya samaradorligi, qatlam, yuqori bosimli quduq, eritma parametrlari.

Аннотация. В данной статье проанализированы технология вторичного вскрытия пласта и связанные с ней проблемы. Определены методы повышения эффективности вторичного вскрытия, а также представлены необходимые рекомендации по улучшению экономических показателей..

Ключевые слова:продуктивный пласт, вторичное вскрытие, перфоратор, эффективность перфорации, пласт, высоконапорная скважина, параметры раствора

Annotation. This article analyzes the technology of secondary reservoir opening and the challenges associated with it. Methods for improving the efficiency of secondary opening have been identified, and essential recommendations have been provided to enhance economic performance.

Keywords: productive reservoir, secondary reservoir opening, perforator, perforation efficiency, reservoir, high-pressure well, drilling fluid parameters.

1.KIRISH.

O‘zbekistonda neft va gaz sanoatini rivojlantirish yo‘nalishlari Mamlakatimizda neft va gaz sanoatini jadallik bilan rivojlantirish, tarmoq eksport salohiyatini oshirish, ishlab chiqarish korxonalarini zamonaviy texnika va texnologiyalar bilan qayta jihozlash ishlari keng ko‘lamda olib borilmoqda. Ichki bozorni mahalliy mahsulotlar bilan ta’minlash, mavjud tabiiy resurslardan samarali foydalanish hamda faol investitsiya siyosatini amalga oshirish orqali sanoatning umumiy samaradorligi va raqobatbardoshligini oshirishga erishilmoqda

2.ADABIYOTLAR TAHLILI.

ISSN 3030-3907

Qatlamni ikkilamchi teshish ikkilamchi usulda qatlamni ochishning eng progressiv usuli bo‘lib, katta bosim gradientida ta‘sir etib teshish kanallarini hosil qilish orqali qatlamdan neft yoki gaz oqimining jadallashuvi yuzaga keladi. Natijada teshilgan kanallar va quduq tubi sohasida zini-zi tozalashi sodir bladi va bir vaqtning zida qatlamlarni ikkilamchi ochish jarayonida neft yoki gaz oqimini chaqirish jarayoni bilan birlashadi.

Birinchi variant bo‘yicha KPRU 65, PR 54, PD 43 turidagi perforatorlar qllaniladi. Perforatorni quduqqa tushirguncha quduq NKQ bilan jihozlanadi, quduq ustiga favvora armaturasi montaj qilinadi. Quduqdagi suyuqlik sathini pasaytirish uchun eng yengil eritma bilan almashtiriladi, quduqdagi eritma tliq haydab chiqariladi va havo bilan tldiriladi, tabiiy gaz yoki azot bilan to‘ldirib qatlam va quduq tubi bosimlari oralig‘idagi kerakli bosimlar farqi hosil qilinadi. Lubrikator yordamida quduqqa kerakli uzunlikdagi (perforatorni maksimal sonida uzunligi 150-300 m blgan kumulyativ zaryadlari bir vaqtda tushiriladigan) kichik lchamdagi teshgichlar karotaj kabelida teshiladigan oraliqga rnatiladi Teshish jarayonidan keyin, qatlamda teshilgan kanallarining jadal va quduq atroflarining tozalanishi sodir bladi.

3.TADQIQOD METODOLOGIYASI.

Yuqori mahsuldorli neft qatlamlarida, gaz qazib olinadigan quduqlarda quduq stvolini qatlam flyuidi bilan tldirish davomida, quduqda bosimning sish jadalligi oshadi. Lubrikator konstruksiyasi quduqdan karotaj kabelini chiqarish va kerak blganda yana quduqqa tushirish hamda kerakli oraliqni teshish imkoniyatlarini beradi. Kichik lchamdagi lubrikatordan foydalanilganda kumulyativ yllanmalari zaryadgacha to‘siqlar bilan birgalikda mustahkamlash tizmasi byicha katta masofani (1-jadval) va kanalning uzunligini hamda suyuqlik qatlamining qalinligiga bog‘liq masofalarni bosib turishiga to‘g‘ri keladi (1-rasm). Shuning uchun bunday usul qllanilganda eng samarali teshish gazli muhitda sodir bladi.

1-jadval

Otuvchi perforatorlar bilan mustahkamlash tizmasining devori oralig‘idagi minimal ruxsat etilgan oraliqlar

Perfator turi	Perforatorlar diametric yoki ko‘ndalang o‘lchami, mm	Quduqdagi suyuqlikning zichligi, kg/m^3	Minimal oraliqlar, mm
PK	800-105	<1300 1300-1500	13 15
P, PKAT	73-89	≤1500-1500/23	22/23
PO	43-54	≤100	25

ISSN 3030-3907

			7-8
KPRU	65	>1000	11
PVKT, PVT	70-73	800-2300	23

4. MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Parchalovchi perforatorning kamchiligi shundaki, quduq tubini oyna parchalari bilan ifloslantiradi uning zichligini ba‘zida qatlamni ochishda qllaniladigan og‘ir burg‘ilash eritmalarining zichligi bilan taqqoslash mumkin (plastmassa blsa 1400 kg/m3; alyuminiyli blsa 2700 kg/m^3). Buning natijasida eritmalarning teshish sohasida tirib qoladi, NKQ da tizim hosil qiladi yoki quduq usti shtutserlarini bekitib qo‘yadi.

Bir metr oralig‘idagi masofani teshishda mustahkamlash tizimi ichki diametri 127 mm blsa, 120-140 mm qalinligida oyna bilan tldiriladi. Shuning uchun quduq tubida zumpf rnatish yoki perforatorlar yordamida parchalangan mahsulotlar maxsus usullar yordamida chiqarib yuboriladi.

Ikkinchi variantda NKQ lar orqali perforatorlar quduqqa tushiriladi. PKO turidagi bir martalik harakatlanadigan perforatorga, rezina shari tashlanadi, zarba berilgandan sng mexanizmlar ishlab ketadi. Shar ustidan quvur tizmasiga tashlanadi va suyuqlik oqimida og‘irligi ta‘sirida pastga qarab harakatlanadi. Bunday perforatorlar PNKT-89 va PAKT-73 shifrlari bilan belgilanadi. Bu perforatorlar detonatsiyani seksiyadan seksiyaga uzatish uchun bir-biri bilan biriktirilib 50 metr qalinlikdagi maxsus moslamalar bilan jihozlangan, undan ham qalinlari qaytaishlatishga mljallangan bo‘ladi. Perforator ishlab ketgandan sng, qatlam bilan gidrodinamik aloqaga kiradi, otib blgan perforatorlarning korpusi quduqda qoladi. Bunday usulda ishlash sxemasi 1-rasmda tasvirlangan. Shunday qilib, perforatsiya quyidagi tartibda amalga oshiriladi. Quduqqa tldirilgan suyuqlikning ichiga NKQ ning tizmasi tushiriladi, mahsuldor qatlamni tg‘risiga PNKT perforatori joylashtiriladi

Kerakli bosimdagi quduq ustiga favvora armaturasi rnatiladi. Quduqdagi ma‘lum miqdordagi suyuqlik chiqarib yuboriladi yoki yengilroq suyuqlik bilan almashtiriladi, qatlamda quduq tubidagi bosim 5 MPa dan kichik blmagan qiymatida depressiya hosil qilinadi.

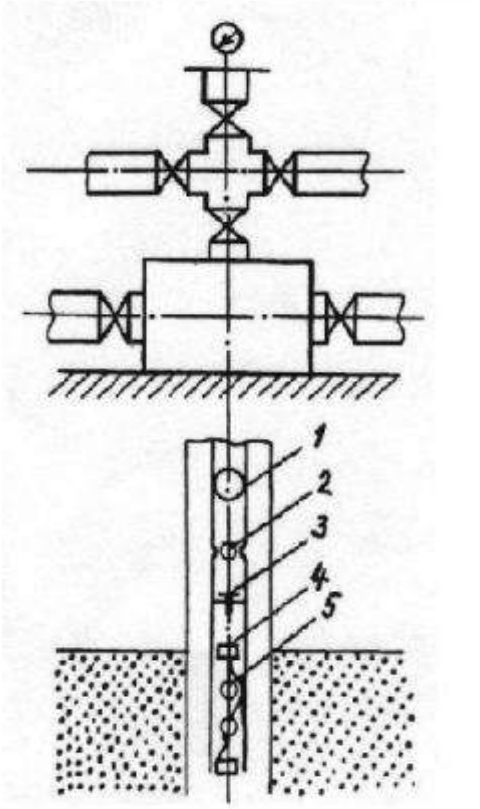
Quduq orqali NKQ ga rezina shar tashlanadi. Suyuqlik oqimlari orqali NKQ da shar pastga harakatlanadi. Zarba-qiya ynalishda ta‘sir etib, moslamalar zaryadlarni ishlashga qshadi. Perforatsiya qilingandan sng teshiklar orqali neft va gaz NKQ ga PNKT korpusi teshiklari orqali kirib keladi. Shunday qilib, bu perforatorlar quduqqa kabelsiz tushiriladigan yagona perforatorlardir.

Ularni katta otish burchakli stvollarda qllash maqsadga muvofiq, chunki bunday quduqlarga kabelda tushirish juda qiyinchilik tug‘diradi. Bunday

ISSN 3030-3907

perforatorlarni gorizontal quduqlarda qatlamni teshishda qllash ayniqsa ijobiy samara beradi.

Keltirilgan perforatorlar juda samarali blib, kp tizmali konstruksiyalarni ikkilamchi ochishni bajarishda zaryadlarning kuchli teshish imkoniyatini talab qiladi. Masalan:PNKT-89 perforatori yordamida depressiyada teshilganda gazni favvoraviy debiti 95 ming m^3 /kun paydo bo‘lgan



1- rasm. Perforatsiya ishini bajarish va quvur orqali tushurish chuqurligi sxemasi

1-rezina shar; 2-sirkulyasiya klapani; 3-qiyazarbali mexanim;4- zaryadlanishga qo‘shuvchi moslama; 5 perforator.

PNKT perforatorini qatlamlarda qllash quyidagi holatlarda taqiqlanadi:

- agar perforatsiya qilingandan keyin teshish oraliqlariga NKQ orqali chuqurlik asboblarini quduqqa tushirish kerak blsa;

- agar oqimni chaqirish jarayonida qatlamdan qum yoki katta miqdordagi qattiq fazalarning chiqishi kuzatilsa; - qatlamni ochganda neft aralashmasida salbiy ta‘sir etuvchi komponentlar (H_2s yoki S) blsa. PR va KPRU turidagi perforatorlarni quyidagi holatlarda qllash maqsadga muvofiq:

-tutashuv sohalarni (GNCh va SNCh) ochishda;

-teshish oraliqlarida ikkita tizma mavjud blsa;

-teshish oraliqlari burg‘ilash eritmasining qattiq fazasi bilan tlib qolganda;

-neft tarkibid zararli komponentlar mavjud blgan holda qatlamlarni ochishda.

ISSN 3030-3907

Repressiyada ob‘ektni ochish, ya‘ni qatlam bosimi gidrostatik bosimga teng blganda yoki teshish oralig‘ining joylashishiga bog‘liq blmagan holda hamda GNCh va SNCh larda neft tarkibida ta‘sir etuvchi komponentlar blganda ochish mumkin.Qatlamlar repressiyada ochilganda ishlarni amalga oshirishning xavfsizligi ta‘minlanadi, quduq suyuqliklarini qatlamga yutilib ketishini oldi olingan blishi kerak.

Quduqni to‘ldirib turgan stvoldagi suyuqlikning gidrostatik bosimi qatlam bosimidan quyidagi kattalikda yuqori blishi kerak:

-10-15 %, quduq chuqurligi 1200 m gacha, bosim qiymati 1,5 MPa dan yuqori emas;

-5-10 %, quduqni chuqurligi 2500 m gacha (oraliqlari 1200 m dan 2500 m gacha), bosim qiymati 2,5 MPa dan yuqori emas;

-4-7 %, quduq chuqurligi 2500 m dan katta, bosim qiymati 3,5 MPa dan yuqori emas. Perforatsiya zichligi ZPK 105; ZPKS 90 zaryadlarga muvofiq tavsiyalar 2-jadvalda keltirilgan.

2- jadval

№	Jinslar	O‘tkazuvchanlik mkm^2	1m li teshiklar perforatsiya zichligi	
			Depressiyada	Repressiyada
1	Kuchli zichlangan qumtosh-alerolitli, loyli sementli jinslar	0,1 0,1 0,001	6 10-12 18-20	12 12-18 19-20
2	Qumtosh alerolitli, kvarsli va karbonatli, loyli sementlangan, zichlangan tog‘ jinslari			
3	Yoriqlari bo‘lmagan karbonat tog‘ jinslari va boshqalar	0,01	18-20	18-20
4	Kuchli zichlangan qumtoshlar, alerolitlar, ohaktosh, dalomitlar, mergellar va juda yupqa qatlamli jinslar	0,01	20-21 20	20-24 20-24

Perforatsiyani amalga oshirishdan oldin quduqqa NKQ tushiriladi va quduq tubi sun‘iy ravishda yuviladi. Quduq ustiga otilmaga qarshi jihozlar rnatiladi. Perforatsiyada perforatorlarni shu ochiladigan oraliqlarga 2 marta tushirib amalga oshirish kerak. SNCh va GNCh larda perforatsiyani amalga oshirish uchun bir marta ruxsat beriladi.

5.XULOSA VA TAKLIFLAR.

ISSN 3030-3907

Perfaratsiya teshiklarni maqbul zichligi quduqning mahsuldorlik qatlami bilan gidrostatik aloqasini yuqori darajada ta‘minlashi hamda mustahkamlash tizmasi va sement halqasining tashqi sohalarining quduq bilan aloqasini ta‘minlashi kerak. Perforatsiyani maqbul zichligi qatlamning filtratsiya-hajmiy xossalari; yaxlitligi; mustahkamligi; SNCh va GNCh dan uzoq joylashganligi hamda perforatsiya usuli kabilarga qarab aniqlanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. -T.: “O‘zbekiston” NMIU, 2017. - 488 b.
2. Yuldoshev T.R., Eshkabilov X.Q. Neft va gaz konlari mashina va mexanizmlari. O‘quv qo‘llanma, Qashqadaryo ko‘zgusi OAV -2015. 328 bet.
3. B.Sh. Akramov, N.N. Maxmudov. “Neft va gaz qazib olish texnologiyasi va texnikasi” fanidan o‘quv qo‘llanma. Toshkent. 2003
4. A.V. Mavlanov, B.SH. Akramov "Qatlamlarning neft va gaz beraolishligini oshirish texnologiysi va texnikasi" fanidan uquv qullanma, Toshkent, 2002.
5. Т.Р.Юлдашев. Нефт ва газ конлари машина ва механизмлари. Дарслик. Тошкент. 2013. 310б.
6. Maxmudov N.N., Yuldashev T.R. Neft va gaz qazib olish texnologiyasi va texnikasi. Darslik, Toshkent, Fan va texnologiya nashriyoti-2015. 392 bet.
7. Akramov B.Sh., Hayitov O.G`. “Quduqlarni kapital ta`mirlash”. O`quv qo`llanma. Toshkent. Adolat. 2005y.
8. Akramov B.Sh. “Neft va gaz ishi asoslari”. Darslik. Toshkent, 2002y.
9. Akramov B.Sh. “Neft va gaz quduqlarini ishlatish”. Darslik. Toshkent, 2002y.
10. Akramov B.Sh., Hayitov O.G`. “Neft va gaz konlari masina va jihozlari”. O`quv qo`llanma. Toshkent. O`qituvchi. 2004y
11. Г.З. Ибрагимов, В.Н. Артемьев и др. «Техника и технология добычи и подготовки нефти и газа». М: Изд. МГОУ, 2005.
12. 12 A.M. Aminov, Sh.S.Sultanmuradov.,D.R.Maxamatxojayev., D.K.Nazarbekova. «Burg‘ilash eritmalari va tamponaj qorishmalari bo‘yicha ma’lumotnoma» Toshkent. 2012 y.480b
13. Тагиров К.М., Инфантов В.И., «Бурение скважин и вскрытие нефтегазовых пластов на депрессии» - Москва, ООО «Недра- Бизнесцентр», 2003 г., 160 стр.
14. 14.A.M. Aminov, N. Yodgorov, X. T. Tolipov «Burg‘ilash eritmalari» Toshkent. 1996 y.324b
15. Yuldashev T.R., Xusenov Sh.O‘., Do‘stqobilov E.N., «Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash», Darslik - Toshkent, 2015 y. 577b

ISSN 3030-3907

MAHSULDOR QATLAMNI OCHISHDA QO‘LLANILADIGAN ERITMALARNI TANLASH TAHLILI

Sharipov Qaxramon Qandiyorovich
Buxoro davlat texnika universiteti, dotsent
Rahimov Bobomurod Rustamovich
Buxoro davlat texnika universiteti, dotsent
Hodiyev Nodirjon Nusrat o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti magistr
Tel:+99890-712-75-32
E-mail: rahimovbobomurod012@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada mahsuldor qatlamni ochish uchun samarador tarkibli eritmani tanlash hamda qatlam o‘tkazuvchanligini pasayishini oldini olish chora tadbirlari tahlil qilindi. Qatlam mahsuldorligiga eritma ta’siri aniqlandi va iqtisodiy ko‘rsatgichlarni oshirish bo‘yicha zarur tavsiyalar berildi.

Kalit so‘zlar: Mahsuldor qatlam, samarali burgilash eritmasi, qatlamni birlamchi ochish, qatlam o‘tkazuvchanligi, quduq, eritma parametrlari.

Аннотация. В данной статье проанализированы вопросы выбора бурового раствора оптимального состава для вскрытия продуктивного пласта, а также меры по предотвращению снижения его проницаемости. Определено влияние бурового раствора на продуктивность пласта и представлены необходимые рекомендации по повышению экономической эффективности.

Ключевые слова: продуктивный пласт, эффективный буровой раствор, первичное вскрытие пласта, проницаемость пласта, скважина, параметры бурового раствора.

Annotation. This article analyzes the selection of an effective composite solution for opening a productive layer and measures to prevent a decrease in layer permeability. The influence of the solution on formation productivity was determined, and necessary recommendations were provided to increase economic indicators.

Keywords: Productive formation, effective drilling fluid, primary formation opening, formation permeability, well, fluid

1.KIRISH.

Bugungi kunda butun jahon neft va gaz mahsulotlariga bo‘lgan talab ortib bormoqda. Shuning uchun neft va gaz konlarini izlash va qidirish jarayoni jadal suratlarda rivojlanib borayotgani ko‘rinib turibdi. Aniqlanayotgan yangi konlar aksariyat chuqur quduqlar hisoblanadi, ya’ni mahsuldor qatlam 5000-6000 m da ekanligini ko‘rsatadi. Bunday quduqlarni burg‘ilash uchun qatlam chuqurligi, bosimi hamda tog‘jinslarining xossasiga mos burg‘ilash eritmasini tayyorlash

ISSN 3030-3907

uchun og‘irlashtiruvchi va qo‘shimchalarni xorij davlatlarning ko‘pchilligi mahalliy xomashyo resurslarini qo‘llash orqali amalga oshirmoqda.

2.ADABIYOTLAR TAHLILI.

G‘arbiy O‘zbekistonning kpgina neft va neftgazli konlarining mahsuldor qism tuzosti karbonat kollektorlari bilan qirqilgan. Mahsuldor qatlakmlarni ochishdan oldin o‘rtacha 300-500 m qalinligidagi tuzli yotqiziqlarni va 14-20 m oralig‘idagi angidritli yotqiziqlarni burg‘ilab tishda burg‘ilash eritmalarini og‘irlashtirishga tg‘ri keladi. Yuqorida keltirilgan fikrlarning tasdig‘i sifatida P.M.Usmonovning [6] 19 ta konni va Buxoro – Xiva maydonidagi 5 ta neftgaz oblastida tadqiqotlar olib borgan va ular tahlil qilingan. Quduq tubida qatlamga qshimcha ishlov berish natijasida sanoat oqimlari tiklangan.

Shuning uchun mahsuldor qatlamning kollektorlarini berkilib qolishi mexanizmini rganish va mahsuldor qatlamni ochish davrida tkazuvchanligini maksimal saqlab qolish yllarini tadqiqotlash bilan kpgina olimlar va mutaxassislar shug‘ullanishgan .

Xorijiy va MDH davlatlarining mutaxassislarining nazariy, laboratoriya va kon tadqiqoti natijalari byicha qatlamning tabiiy tkazuvchanlik darajalarini fizik-kimyoviy, minerallarning granulometrik tarkibi, qatlamning flyuidi, turi va yuvuvchi suyuqlikning parametrlariga, bosimlar farqiga bog‘liqligi rnatilgan

Burg‘ilash eritmalarini tarkibida shunday materiallar mavjudligi g‘ovakliklarni potensial bekitib qyadi: loylar, burg‘ilangan tog‘ jinslari, og‘irlashtiruvchi reagentlar va suv beruvchanlikni pasaytiruvchi reagentlar. Bunday materiallar mahsuldor qatlamga tushib qolganda asta-sekin butunlay kollektorning g‘ovakliklarini tldirib qyadi. Har qanday urinishlar qazib olishni yangilash yoki lgan yoki yuqori sarfda tugallashda bunday materiallarning chkindilarini paydo bo‘lishiga olib keladi va quduq stvoli atrofida tkazuvchanlikni pasaytirib yuboradi.Kolmatatsiya bladigan zonalarning chuqurligi rtacha 7’8 m atrofida blib, tkazuvchanlikni 90% gacha pasaytirishga erishadi.

Burg‘ilash eritmalarining qattiq fazalari qatlam tog‘ jinsiga sizilib kiradi va quyidagicha ta‘sir qiladi:

- qatlam tog‘ jinsining g‘ovakliklarini diametri katta blganda;
- kollektorda yoriqlarning mavjudligi va tabiiy uzilishlar bganda;
- burg‘ilash aralashmalarining qattiq komponentlarining zarrachalarining lchamlari juda kichik blganda (og‘irlashtirilgan reagentlar va materiallar, burg‘ilash aralashmasini suv beruvchanligini pasaytirgichlar, burg‘ilash burg‘ilari bilan maydalangan kichik lchamdagi zarrachalar);
- mexanik tish tezligi juda kichik blganda loyli qobiqlarning parchalanishi evaziga (burg‘ilash eritmasini yutilishi kuchayganda) va burg‘ilash aralashmalari uzoq vaqt qatlam bilan kontaktda blganda;

ISSN 3030-3907

- burg‘ilash aralashmasining sirkulyasiya tezligi katta blganda (loyli qobiqlar erroziyaga uchraganda);
- burg‘ilash aralashmasining zichligi katta bo‘lganda, bosimlar farqi paydo blganda;
- loyli qobiqlarni tplanishi tufayli bosimni tlqinli ktarilishi va qatlam kontakt vaqtini oshishi hamda burg‘ini tushirish-ktarish jarayonida burg‘ilash aralashmalari bilan kproq kontaktlashuvi.

Burg‘ilash suyuqliklari sifatida namokoblar va boshqa tizimlardan foydalanilganda, tarkibida qattiq materiallarning mikrozarrachalari blmaydi, natijada qatlamga mayda dispersli materiallarni minimum siqilishga olib keladi.

Mahsuldor qatlamlarning kollektor xossasiga yuvuvchi suyuqliklarning ta’sir etishi.

Gaz va neft quduqlarini burg‘ilashdan maqsad neft va gazli qatlamlarni ochishdir. Quduqlar burg‘ilangandan sng neft va gaz mahsulotlari chiqmasa yoki kerak miqdordagi zaxirasiga ega blmasa, sarf qilingan mablag‘lar qoplanmaydi. Natijaviy ishlarni samarasi oqim kattaligi, quduqni zlashtirish davomiyligi, yuvish aralashmalarini burg‘ilash uchun ishlatilgan uskunalarni sifati, mahsuldor qatlamga kirish va sifatli tugallash bilan baholanadi.

Ko‘p yillik kuzatuv va qidiruv ishlari shuni ko‘rsatadiki, quduqlarni o‘zlashtirish davomiyligi, jarayonning murakkabligi, neft va gaz oqimi debiti, burg‘ilash uskunalarining ish samarasi, yuvish aralashmalarining sifatiga bog‘lik ekan.

Ko‘p holatlarda tezlikda suv yordamida burg‘ulangan quduqlarga nisbatan, sifatli loyli aralashmalar bilan burg‘ulangan quduqlarning sifati, neft va gazni beruvchanligini yuqoriligi, kam mehnat sarflanishi bilan ajralib turadi.

Burg‘ilashda yuvish aralashmalarining tez-tez gazlanishi yoki qatlamdan neft paydo bo‘lishlari kuzatiladi. Quduqlarni mustahkamlash, quvurlarini tushirish va sementlash natijasida gaz oqimlarini (yoki neft) olib bo‘lmay qoladi.

Quduqlarni sinash paytida neft yoki gaz oqimlarini kuchli chiqishi kuzatiladi. Bunday quduqlarni vaqtinchalik loyli aralashma bilan berkitib qo‘yib, keyinchalik burg‘ulanganda neft yoki gaz debiti kamayib ketganligi kuzatiladi. Ba‘zan umuman o‘zlashtirib bo‘lmaydi.

3.TADQIQOD METODOLOGIYASI.

Yuvish suyuqliklarini mahsuldor qatlam tog‘ jinslariga ta‘siri etishi juda ko‘p omillarga bog‘liq. Yuvish aralashmasini aniq ta‘sirini oldindan baholab bo‘lmaydi.

Yuvish suyuqliklarini tanlashda ikkita holatga tayanish mumkin:

1) Hamma yuvish aralashmalarini ifloslantirish ta‘sir darajasiga qarab; gaz holatli agentlar neftli asosli yuvish aralashmalarini kuchli ifloslantiradi;

ISSN 3030-3907

2) Yuvish aralashmalarining tarkibi va asoslari qatlam suyuqligining tarkibi va xossasiga yaqin bo‘lsa, kuchsiz ifloslanish yuz beradi.

Qatlam ustuni zonasidagi ifloslanishga burg‘ulashni davomiyligi va quduqlarni o‘zlashtirishni murakkabligi va uning boshlanish debitiga ta‘sir qiladi. Kuchli ifloslangan qatlamni o‘zlashtirishda depressiyani kuchaytirishga, quduqdan aralashmani surib chiqarish uchun ko‘p vaqt sarflanadi va ustun devori zonasidan filtratlarni chiqarib olishga to‘g‘ri keladi.

Yuvish aralashmasi rejimidan ma‘lumki, o‘tish mexanik tezlikka (*Vt*) ta‘sir qiladi. Masalan: neft asosli yoki suv bilan loyli aralashmaning suvli aralashmasini katta bo‘lmagan loy aralashmasini o‘rniga ishlatish natijasida o‘tish tezligi oshadi, mahsuldor qatlamning ifloslanishi jadallashadi. Shuning uchun burg‘ulash samaradorligini va iqisodiy jihatdan kam mablag‘ sarflashni asoslashda, yuvish aralashmalari sinovdan o‘tkazilib olingan natijalar taqqoslanadi. Qatlamni kam ifloslantirishi uchun yuvish aralashmaning zichligini shunday tanlash maqsadga muvofiqdirki, quduq ustuni gidrostatik bosimi qatlam bosimidan ozroq yuqori bo‘lishi yoki ozgina kam bo‘lishi ta‘minlanishi kerak.

Quduq ustidagi jihozlar ishonchli germetiklangan va portlashga qarshi kafolati ishlashi ta‘minlanishi zarur.

4. MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Burg‘ilash aralashmasi filratlarining qatlamga filtratsiyalanish holatlari Ma’lumki iqtisodiy sabablarga muvofiq quduqlarni tezroq burg‘ilash talab qilinadi. Mexanik burg‘ilash tezligini oshirishda burg‘ilash aralashmasining suv beruvchanligini pasaytirish maqsadga muvofiq emas. Quduqning chuqurligi 3000 metr bo‘lganda, har qanday o‘ziga xos bo‘lgan qatlamlarda 100 m^3 yaqin hajmda flyuidlar yutiladi. Katta hajmdagi filtratlarni sizilib kirishining asosiy holati yuqori mexanik burg‘ilash tezligini tanlashdir.

Burg‘ilash aralashmasining suyuq fazosining tarkibida ko‘p mikdordagi bekituvchi birikmalar mavjud bo‘ladi. Filtratlarni sizilib kirishi 5 metrgacha yoki undan ham katta bo‘lishi, uning ta‘sirida qatlamning ishlatish xossasi buziladi. U qazib olishning eng muhim sababi hisoblanadi. Lekin qatlamning bekilib qolish darajasi qatlamning filtratga nisbatan sezgirligiga bog‘liqdir. Toza qumoqtoshlar yuqori o‘tkazuvchanlikga ega bo‘lganligi uchun odatda kolmatatsiya bo‘lmaydi, uning qatlam suvlari filtratlar kimyoviy mos keladi. Amaldagi sharoitlarda qatlamning o‘tkazuvchanligini o‘rtacha pasayishi 40% atrofida bo‘ladi. Qatlam tog‘ jinsining va aralashmaning xiliga muvofiq, kollektorlarni bekilib qolishi 100% ni ham tashkil qiladi.

Tarkibida loylar, yoyiluvchan (tarqaluvchan), bo‘kuvchan yoki past o‘tkazuvchan tog‘ jinslari, kollektorlar, to‘yingan namokoblarni beruvchan yoki neftlarni, parafin va asfalten tarkibli qatlamlar ta‘sirchan hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

g‘ovaklikdagi suyuqliklarni mineralligini har qanday o‘zgarishi g‘ovaklik fazosidagi loyli zarrachalarning barqarorligiga ta‘sir qiladi. Ko‘pincha qatlamning mineralligini pasayishini yoki suvning ρH ko‘rsatgichini oshishi, qatlam atrofini nobarqaror loyli zarrachalar bilan atrofini uralib turishi, burg‘ilash aralashmasidagi zarrachasini o‘zidan siqib chiqarilishiga ta‘sir qiladi.

1-jadval

Filratlarni kirib borish chuqurligi. Vaqt, kun		Kirib borish chuqurligi, sm.	
Neft asosli burg‘ilash aralashmasi		Neft asosli past-kolloidli burg‘ilash aralashmasi	Chuchuk, suvda tayyorlangan burg‘ilash aralashmasi
1	2,5	6,9	9,0
5	9,2	25,0	30,2

Oldindan aytish mumkinki, loylarning bo‘kish jarayoni osmatik harakterga ega bo‘lib, aralashmaning filtrati bilan suvning tarkibidagi tuzlarning konsentratsiyasini farqi evaziga ko‘p holatda tog‘ jinslari bilan kontaktlashadi va uni bo‘ktiradi.

Loylarning bo‘kishini jadalligi aralashmaning kimyoviy tarkibiga, g‘ovaklikdagi suvning tarkibidagi tuzlarning konsentratsiyasiga, hamda tog‘ jinsining mineralogik va granulometrik tarkibiga, tog‘ jinsining tuzilmasiga, ichki aloqasining harakteriga, tog‘ jinslarini suv bilan yaqin joylashishiga bog‘liqdir. Tog‘ jinsining tarkibiga kirib boruvchi suvning mineralligi qancha kichik bo‘lsa, bo‘kish shunchalik jadal sodir bo‘ladi.

Har xil kationlar ta‘sirida loylarning bo‘kishi har xil ketma-ketlikda sodir bo‘ladi:

$$Li > Na > K > Mg > Ca > Cr > Ba > A\ell > F\ell.$$

Amalda eng kuchli bo‘kish ikki valentli kationlarni bir valentli kationlar bilan almashtirilganda sodir bo‘ladi.

Tog‘ jinslarining tuzilmasi, tabiiy sharoitlarda buzilmagan holda bo‘lganda, loylar kam bo‘kadi. Tog‘ jinslari parchalanganda ichki aloqalari ham buziladi, natijada ularning solishtirma yuzasi ham kengayadi, ko‘proq aralashmalarni sizilishi uchun sharoit tug‘diradi.

Burg‘ilash aralashmasini infiltratsiyasiga ta‘sir qiluvchi omillarga quyidagilar kiradi:

- loyli qobiqlarning yuqori o‘tkazuvchanligi, burg‘ilash aralashmasi retsepturasining yomonligi natijasida yoki burg‘ilash texnologiyasining buzilishi sababli sodir bo‘ladi;

ISSN 3030-3907

- qatlam bilan burg‘ilash aralashmasi uzoq muddatda kontaktda bo‘lganda.

Suvli asosdagi burg‘ilash eritmalarining filtratlari past minerallashgan va yuqori ρH-ga ega hamda tarkibidagi tarqaluvchan agentlar va polimerlar mavjud bo‘ladi. Tarqaluvchan (yoyiluvchan) agentlar loylar bilan bog‘lanib, muammolarni chuqurlashtiradi yoki bo‘shliq ichiga tushib cho‘kadi.

5.XULOSA VA TAKLIFLAR.

Quduqlarni ishga tushirish uchun eritma zichligini tanalsh asosida yangi tarkibli eritma tayyorlandi hamda unning zichligini mahsuldor qatlab qosimiga moslab olish orqali qatlam o‘tkazuvchanligi pasayishini oldini olinadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-son Farmoni.
2. A.M. Aminov, Sh.S.Sultanmuradov.,D.R.Maxamatxojayev., D.K.Nazarbekova. «Burg‘ilash eritmalari va tamponaj qorishmalari bo‘yicha ma’lumotnoma» Toshkent. 2012 y.480b
3. Тагиров К.М., Инфантов В.И., «Бурение скважин и вскрытие нефтегазовых пластов на депрессии» - Москва, ООО «Недра- Бизнесцентр», 2003 г., 160 стр.
4. A.M. Aminov, N. Yodgorov, X. T. Tolipov «Burg‘ilash eritmalari» Toshkent. 1996 y.324b
5. Yuldashev T.R., Xusenov Sh.O‘., Do‘stqobilov E.N., «Neft va gaz quduqlarini burg‘ilash», Darslik - Toshkent, 2015 y. 577b
6. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Сердюк Н.И. — «Расчеты в бурении» Справочное пособие. Под редаксией А.Г.Калинина, - М.: РГГРУ, 2007 г. 668 стр.

ISSN 3030-3907

PYTHON DASTURLASH ASOSIDAGI O‘QUV LOYIHALARI ORQALI TALABALARNING KREATIV FIKRLASH QOBILIYATINI RIVOJLANTIRISH

Azamatova Azizabonu Jamshid qizi
Buxoro davlat universiteti, Fizika-matematika va axborot texnologiyalari fakulteti 3-bosqich talabasi
E-mail: azizaazamatova1606@gmail.com
E-ORCID: 0009-0002-5010-0336
Tel: (+998) 502509420

Annotatsiya. Ushbu maqola Python dasturlash tili asosidagi loyiha yo‘naltirilgan ta'lim metodologiyasidan foydalanib, oliy ta'lim muassasasi talabalarida kreativ fikrlash qobiliyatini rivojlantirish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan o‘rganadi. Tadqiqotda quiz dasturi, chatbot, kalkulyator, mini o‘yin va student management system kabi amaliy loyihalar orqali talabalarning mustaqil fikrlash, muammo yechish va ijodiy yondashuv ko‘nikmalari qanday shakllanishi tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: Python dasturlash, kreativ fikrlash, loyiha yo‘naltirilgan ta'lim, loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim metodologiyasi, muammo yechish, ta'limda dasturlash, kognitiv rivojlanish.

Аннотация. В данной статье исследуются возможности развития творческого мышления студентов высших учебных заведений с использованием методологии проектно - ориентированного обучения на основе языка программирования Python. В рамках исследования проанализировано, как практические проекты quiz - программа, мини - игра и система управления данными студентов - формируют у обучающихся навыки самостоятельного мышления.

Ключевые слова: программирование на Python, творческое мышление, проектно-ориентированное обучение, методология проектное обучение**,** решение проблем, программирование в образовании, когнитивное развитие.

Abstract. This article scientifically investigates the potential of developing creative thinking skills among higher education students through Project Based Learning methodology using the Python programming language. The study analyzes how practical projects - including a quiz program, chatbot, calculator, mini - game, and student management system - foster independent thinking, problem-solving abilities, and creative approaches in learners.

Keywords: Python programming, creative thinking, project - based learning, Project Based Learning methodology, problem solving, programming in education, cognitive development

KIRISH.

XXI asrda axborot texnologiyalarining jadal rivojlanishi nafaqat ishlab chiqarish sohasini, balki ta'lim tizimini ham tubdan o‘zgartirmoqda. Zamonaviy ish bozori mutaxassislardan texnik bilim va ko‘nikmalar bilan birga kreativ fikrlash, muammo yechish, hamkorlikda ishlash va yangi vaziyatlarga moslasha olish kabi yuqori darajali kognitiv qobiliyatlarni talab etmoqda [1]. Shu nuqtai nazardan, ta'lim muassasalari oldida faqat nazariy bilim bera oladigan mutaxassislar emas, balki mustaqil va ijodiy fikrlay oladigan, real hayot muammolarini texnologik yechimlar orqali hal eta oladigan kadrlarni tayyorlash vazifasi turmoqda [2]. Dasturlash ta'limida xususan, Python dasturlash tili - oliy o‘quv yurtlarida tobora keng qo‘llanilmoqda. Bunning asosiy sababi shundaki, Python dasturlash tilining sintaksisi sodda, ammo imkoniyatlari juda keng. U veb-dasturlash, ma'lumotlar tahlili, sun'iy intellekt, kiberxavfsizlik kabi turli sohalarda qo‘llaniladi. Shu bilan birga, Python o‘qitish jarayonida talabaning amaliy loyihalar yaratishiga imkon beradigan vosita sifatida ham katta pedagogik ahamiyat kasb etadi [3, 4]. Ko‘plab oliy o‘quv yurtlarida dasturlash kurslari hali ham an'anaviy, ya'ni ma'ruza - seminar formatida olib borilmoqda. Bunday yondashuvda talabalar asosan sintaksis standart mashqlarni bajarishlari, bu esa ularning kreativ fikrlash qobiliyatini rivojlantirishga to‘sqinlik qiladi.Talabalarni real muammo yechish jarayoniga jalb qilib, ularning ijodiy salohiyatini maksimal darajada ro‘yobga chiqaradi [5]. Ushbu tadqiqot Python dasturlash asosidagi loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim loyihalari orqali talabalarning kreativ fikrlash qobiliyatini rivojlantirish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan o‘rganishga qaratilgan. Tadqiqot uchta savolga javob beradi: (1) Python loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim loyihalari talabaning kreativ fikrlashiga qanday ta'sir ko‘rsatadi? (2) Metodologiya an'anaviy usullarga nisbatan qanchalik samarali? (3) Qanday loyiha turlari kreativlikning turli jihatlarini rivojlantirishda maqbul keladi? [6, 7].

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Kreativ fikrlash tushunchasi XX asrning o‘rtalaridan boshlab pedagogika va psixologiya ilmida keng tadqiq etila boshladi. Guilford [8] kreativlikni divergent fikrlash - ya'ni bir muammoga bir nechta mumkin bo‘lgan yechim topish qobiliyati - sifatida ta'riflagan. Uning nazariyasi hozirgi kunda ham dasturlash ta'limiga tatbiq etilmoqda. Amabile [9] esa kreativlikni faqat tug'ma iste'dod emas, balki o‘quv jarayonida tashqi muhit ta'sirida rivojlanishi mumkin bo‘lgan qobiliyat deb belgilagan. Loyiha yo‘naltirilgan ta'lim metodologiyasi Dewey [10] ning “o‘rganish amaliyot orqali” degan g'oyasidan kelib chiqadi. Zamonaviy tadqiqotchilar, jumladan Thomas [11], loyihaga yo‘naltirilgan ta’limni real dunyo muammolariga asoslangan, uzoq muddatli, talaba markazli ta'lim jarayoni sifatida belgilaydi. Krajcik va Shin [12] esa loyihaga yo‘naltirilgan ta’limning oltita asosiy xususiyatini ajratib ko‘rsatadi: asosiy savol, texnik tafakkur, hamkorlik, amaliy

ISSN 3030-3907

ko‘nikmalar, jamoaviy muhokama va umumiy mahsulot yaratish. Ushbu xususiyatlar Python loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim integratsiyasida ham to‘liq namoyon bo‘lishi tadqiqotimizda ko‘rsatilgan. Python dasturlash tilining ta'limdagi roli haqida Wing [13] ning “hisoblash tafakkuri tushunchasi” muhim ahamiyat kasb etadi. So va Shin [14] tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda Python asosida loyiha yaratgan talabalar nazorat guruhiga nisbatan muammo yechish ko‘rsatkichlarida sezilarli yutuqlarga erishganligi isbotlangan. O‘zbekiston kontekstida Xoliqov [15] oliy ta'limdagi dasturlash kurslarini tahlil qilib, an'anaviy o‘qitish usullarida talabalarning faolligi pastligini aniqlagan, Saidov [16] esa loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim metodologiyasini qo‘llash kreativ faollik indeksini 34 foizga oshirganligini qayd etgan.

METODLAR.

Tadqiqot dizayni. Ushbu tadqiqotda aralash metod qo‘llanildi. Miqdoriy ma'lumotlar kreativ fikrlash sinovlari va loyiha baholash ko‘rsatkichlari orqali, sifatiy ma'lumotlar esa suhbatlar, kuzatish protokollari va talabalar refleksiyalari orqali to‘plandi. Tadqiqot 2024-yilning kuz semestri davomida O‘zbekiston milliy universitetining Informatika yo‘nalishi talabalarida 14 hafta davom etdi. Ikkita guruh tashkil etildi: eksperimental guruh (n=32) - Python asosida loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim loyihalari amalga oshirgan talabalar; nazorat guruhi (n=31) - an'anaviy ma'ruza seminar formatida Python o‘rgangan talabalar. Ikkala guruh ham bir xil kurs dasturi va bir xil o‘qituvchi tomonidan o‘qitildi;

O‘quv loyihalari tizimi. Eksperimental guruhda beshta asosiy loyiha asta-sekin murakkablashib boruvchi ketma-ketlikda taqdim etildi: (1) Quiz dasturi - mantiqiy shartlar va tsikllar orqali savol - javob tizimi, talabalarga mavzu va savollarni o‘zlari tanlash erkinligi berildi;

(2) Chatbot -foydalanuvchi kiritgan so‘zlar asosida javob qaytaradigan muloqot tizimi, talabalar muloqot mantiqini mustaqil modellashtirdi; (3) Kalkulyator - oddiy arifmetik amallardan ilmiy hisob-kitoblargacha kengaytirilgan dastur; (4) Mini o‘yin - interaktiv o‘yin, kontseptsiya mutlaqo mustaqil ishlab chiqildi; (5) Student management system - ma'lumotlarni qo‘shish, o‘chirish, tahrirlash va ko‘rishni ta'minlovchi to‘liq boshqaruv tizimi [17].

Baholash vositalari. Kreativ fikrlashni o‘lchash uchun ikkita standartlashtirilgan vosita qo‘llanildi: Tanqidiy fikrlashning moslashtirilgan versiyasi - talabalar tomonidan loyihada taklif etilgan original yechimlar soni va sifati baholandi; Loyiha rubrikasi - 5 ta mezon bo‘yicha 1 dan 5 gacha ball tizimida baholandi. Ma'lumotlar SPSS 26 dasturi yordamida tahlil qilindi va guruhlararo farqlar aniqlanadi

NATIJALAR.

ISSN 3030-3907

Kreativ fikrlash sinovlari bo‘yicha natijalar. Kurs boshida o‘tkazilgan oldingi test natijalariga ko‘ra, eksperimental va nazorat guruhlari o‘rtasida statistik jihatdan sezilarli farq kuzatilmadi (t=0,84; p=0,41). Kurs yakunida o‘tkazilgan keyingi test natijalariga ko‘ra esa eksperimental guruh nazorat guruhiga nisbatan statistik jihatdan aniq yuqori ko‘rsatkichlarni namoyish etdi (t=8,63; p<0,001; d=1,97). Cohen [17] mezoniga ko‘ra d=1,97 effekt o‘lchami “juda katta” deb baholanadi va loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim metodologiyasining kreativ fikrlash rivojlanishiga sezilarli hissa qo‘shganini tasdiqlaydi.

Loyiha baholash rubrikasi bo‘yicha natijalar. Loyiha mezonlarini tahlil qilganda quyidagi natijalar aniqlandi: originallik ko‘rsatkichi besh loyiha davomida o‘sib bordi - birinchi loyihada o‘rtacha 2,8 ball, beshinchi loyihada esa 4,3 ball qayd etildi. Muammo yechish ko‘rsatkichi eng sezilarli o‘sishni chatbot loyihasida namoyon etdi - talabalar foydalanuvchining kutilmagan kiritishlarini hisobga olishga majbur bo‘ldi. Mini o‘yin loyihasida eng yuqori darajadagi ijodiy faollik kuzatildi: 32 talabadan 28 nafari o‘ziga xos, takrorlanmaydigan o‘yin kontseptsiyasini taklif qildi.

1-jadval.

Python asosidagi o‘quv loyihalari va rivojlangan qobiliyatlar tavsifi

№	Loyiha nomi	O‘rganilgan tushunchalar	Yaratilgan mahsulot	Rivojlangan qobiliyat
1	Quiz dasturi	Mantiqiy fikrlash, shartli operatorlar, tsikllar	Savol-javob tizimi	Algoritmik tafakkur
2	Chatbot	Muloqot mantiqini modellashtirish, satr ishlash	Sun'iy intellekt asoslari	Kreativ muloqot dizayni
3	Kalkulyator	Arifmetik amallar, funksiyalar, xatoliklarni boshqarish	Hisoblash tizimi	Muammo tahlili
4	Mini o‘yin	Tsikl, tasodifiy sonlar, grafik interfeys	Interaktiv dastur	Ijodiy loyihalash

ISSN 3030-3907

5	**Student mgmt**	**Ma'lumotlar tuzilmasi, CRUD amallar, fayllar**	**Boshqaruv tizimi**	**Tizimli yondashuv**

Sifat natijalar. Talabalar bilan o‘tkazilgan suhbatlar shuni ko‘rsatdiki, ularning 87 foizi loyiha topshiriqlarini bajarish jarayonida xatoliklarni mustaqil topish va tuzatish qobiliyatlari sezilarli darajada oshganini ta'kidladi. Kuzatish protokollarida talabalarning bir-birining loyihalarini muhokama qilish va alternativ yechimlar taklif qilish hollari an'anaviy guruhga nisbatan 3,4 marta ko‘p qayd etildi. Refleksiya yozuvlarida talabalar eng ko‘p quyidagi fikrni ifodaladi: “Loyihada to‘g'ri javob yo‘q - men o‘zim ijodiy qaror qabul qilishim kerak bo‘ldi” - bu fikr kreativ fikrlashning mohiyatini aniq ifodalaydi.

MUNOZARA.

Tadqiqot natijalari bir qator muhim ilmiy xulosalarni asoslaydi.

Birinchidan, Python loyihaga yo‘naltirilgan ta’lim integratsiyasida kreativ fikrlashning rivojlanishi tasodifiy emas, balki tizimli va o‘lchab bo‘ladigan jarayon ekanligini ma'lumotlar tasdiqlamoqda. Eksperimental guruhda kuzatilgan d=1,97 effekt o‘lchami akademik tadqiqotchilik doirasida nihoyatda katta deb baholanib, bu natijaviylik ta'lim metodologiyasini o‘zgartirish zaruratini aniq asoslaydi [11, 12].

Ikkinchidan, loyiha murakkabligi va kreativlik o‘rtasida bevosita bog'liqlik mavjud.

Uchinchidan, chatbot loyihasi alohida e'tiborga molik. Bu loyihada talabalar nafaqat kod yozdi, balki inson-mashina muloqotini modellashtirdi. Bu jarayon empatiaga asoslangan dizayn tamoyillariga yaqin - foydalanuvchi nuqtai nazaridan muammoga yondashish qobiliyatini rivojlantiradi [8, 9].

To‘rtinchidan, tadqiqotda aniqlangan cheklovlarga e'tibor qaratish lozim: tadqiqot bir oliy o‘quv yurti doirasida o‘tkazilganligi natijalarni umumlashtirishni qiyinlashtiradi[14].

Beshinchidan, metodologiyasining muvaffaqiyati ko‘p jihatdan o‘qituvchining rolini to‘g'ri ado etishiga bog'liq bo‘lib, bu o‘qituvchilarni maxsus tayyorlash zaruratini yuzaga keltiradi [15, 16].

XULOSA.

Ushbu tadqiqot Python dasturlash asosidagi loyiha yo‘naltirilgan ta'lim metodologiyasining talabalar kreativ fikrlash qobiliyatini rivojlantirishda an'anaviy ta'lim usullariga nisbatan statistik jihatdan aniq (t=8,63; p<0,001) va amaliy jihatdan muhim (d=1,97) darajada samarali ekanligini isbotladi. Beshta amaliy

ISSN 3030-3907

loyiha (quiz dasturi, chatbot, kalkulyator, mini o‘yin, student management system) murakkablik darajasi oshib boruvchi ketma-ketlikda tatbiq etildi.

Amaliy tavsiyalar: (1) oliy o‘quv yurtlarida Python kurslarida an'anaviy mashqlarni lloyihaga yo‘naltirilgan ta’lim loyihalari bilan bosqichma - bosqich almashtirish; (2) loyihalarni kichik guruhlar (3-4 kishi) tomonidan bajarishni ta'minlash orqali hamkorlikdagi kreativlikni rivojlantirish; (3) loyiha mavzusini talabaga tanlash huquqini berish -bu ichki motivatsiyani oshiradi;

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin, B. McGaw & E. Care (Eds.), Assessment and Teaching of 21st Century Skills (pp. 17–66). Springer.
2. World Economic Forum. (2023). The Future of Jobs Report 2023. World Economic Forum, Geneva.
3. Lutz, M. (2013). Learning Python (5th ed.). O‘Reilly Media. Guttag, J. V. (2016). Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data (2nd ed.). MIT Press.
4. Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. Autodesk Foundation.
5. Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-Based Learning. In R. K. Sawyer (Ed.), The Cambridge Handbook of the Learning Sciences (2nd ed., pp. 275–297). Cambridge University Press.
6. English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. International Journal of STEM Education, 3(1), 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1
7. Guilford, J. P. (1967). The Nature of Human Intelligence. McGraw-Hill. Amabile, T. M. (1996). Creativity in Context: Update to the Social Psychology of Creativity. Westview Press.
8. Dewey, J. (1938). Experience and Education. Macmillan. Thomas, J. W. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning. Autodesk Foundation. Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-Based Learning. Cambridge Handbook of the Learning Sciences. Cambridge University Press. Wing, J. M. (2006). Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), 33–35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215
9. So, H. J., & Shin, S. (2022). Computational thinking integration in project-based learning: Effects on creative problem-solving. Journal of Educational Computing Research, 60(2), 341–368.
10. Xoliqov, A. (2022). Oliy ta'limda dasturlash kurslarida talabalar faolligini oshirish muammolari. Pedagogika va psixologiya ilmiy jurnali, 4(2), 55–63.

ISSN 3030-3907

11. Saidov, B. (2023). STEM ta'limida PBL metodologiyasini qo‘llash tajribasi: O‘zbekiston konteksti. Zamonaviy ta'lim, 7(1), 112–120.
12. Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

ISSN 3030-3907

SANOAT 4.0 TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA SMI (STANDARTLARGA MOSLIK INDEKSI) METODIKASIGA TAYANGAN RAQAMLI METROLOGIK KALIBRLASH TIZIMI TAHLILI.

Sharipov G‘iyosjon Nuriddin o‘g‘li
Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: sharipovgiyosjon39@gmail.com
Tel: +998942161514
Rajabov Farxat Farmanovich
Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, “Kompyuter tizimlari” kafedrasi dotsenti, texnika fanlari falsafa doktori (PhD)
E-mail:rajabovfarxat63@gmail.com
Tel:+998999827458
Qosimov Axtamxon Akramovich
Namangan davlat texnika universiteti, “Metrologiya, standartlashtirish va texnik jihatdan tartibga solish, sertifikatlashtirish” kafedrasi mudiri, dotsent, texnika fanlari falsafa doktori (PhD)
E-mail:qosimovaxtamxon86@gmail.com
Tel: +998939383003

Annotatsiya. Sanoat 4.0 sharoitida metrologik tizimlarning avtomatlashtirilgan boshqaruvi, ayniqsa yuqori chastotali elektromagnit to‘lqinlar bilan ishlaydigan kompozit materiallar uchun muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur maqolada radioshaffof kompozit materiallarning elektromagnit parametrlarini baholashda qo‘llaniladigan laboratoriya tizimlarining sifatini oshirishga qaratilgan innovatsion yondashuv – SMI (Standartlarga Moslik Indeksi) metodikasi taklif etiladi. Ushbu metodika standartlashtirish talablari bilan uyg‘un holda ishlab chiqilgan bo‘lib, u o‘lchovlarning izchilligi va qayta tiklanuvchanligini ta’minlash, shuningdek, kalibrlash jarayonlarining raqamli transformatsiyasini amalga oshirish imkonini beradi. Tadqiqotda ishlab chiqilgan raqamli kalibrlash tizimi algoritmik modellashtirish, ma’lumotlarni raqamli qayta ishlash hamda sanoat 4.0 texnologiyalariga integratsiya qilish imkoniyatlari bilan tavsiflanadi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, taklif etilgan yondashuv o‘lchov xatoliklarini 15–20 % gacha kamaytiradi va laboratoriya tizimlarining moslik darajasini xalqaro standartlar bilan taqqoslaganda yuqori ko‘rsatkichlarga olib keladi. Ushbu metodika aviatsiya, kosmik texnologiyalar va radioelektronika sohalarida keng qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Radioshaffof kompozit materiallar, elektromagnit parametrlar, SMI metodikasi, standartlashtirish, raqamli kalibrlash tizimi, metrologik baholash, sanoat 4.0, laboratoriya tizimlari, avtomatlashtirilgan nazorat, kalibrlash algoritmlari.

Аннотация. В условиях Индустрии 4.0 автоматизированное управление

метрологическими системами приобретает особое значение, особенно для композитных материалов, работающих с высокочастотными электромагнитными волнами. В данной статье предлагается инновационный подход – методика SMI (Индекс Соответствия Стандартам), направленный на повышение качества лабораторных систем, применяемых для оценки электромагнитных параметров радиопрозрачных композитных материалов. Эта методика разработана в соответствии с требованиями стандартизации и обеспечивает согласованность и воспроизводимость измерений, а также цифровую трансформацию процессов калибровки. Разработанная цифровая система калибровки характеризуется возможностями алгоритмического моделирования, цифровой обработки данных и интеграции с технологиями Индустрии 4.0. Результаты показали, что предложенный подход снижает погрешности измерений на 15–20 % и обеспечивает более высокий уровень соответствия лабораторных систем международным стандартам. Данная методика может быть широко применена в авиации, космических технологиях и радиоэлектронике.

Ключевые слова: радиопрозрачные композиционные материалы, электромагнитные параметры, методика SMI, цифровая метрологическая калибровка, стандартизация, метрологическая оценка, технологии Индустрии 4.0, лабораторные системы, автоматизированный мониторинг, алгоритмы калибровки, нормативное соответствие, интеллектуальные измерительные системы.

Abstract. In the context of Industry 4.0, automated control of metrological systems is of crucial importance, particularly for composite materials operating with high-frequency electromagnetic waves. This article proposes an innovative approach—the SMI (Standard Matching Index) methodology—aimed at improving the quality of laboratory systems used for assessing the electromagnetic parameters of radio-transparent composite materials. The methodology is developed in accordance with standardization requirements, ensuring measurement consistency and reproducibility while enabling the digital transformation of calibration processes. The proposed digital calibration system is characterized by algorithmic modeling, digital data processing, and integration capabilities with Industry 4.0 technologies. The results demonstrate that the proposed approach reduces measurement errors by 15–20% and significantly enhances the conformity level of laboratory systems compared to international standards. This methodology can be widely applied in aviation, space technologies, and radio electronics.

Keywords: radio-transparent composite materials, electromagnetic parameters, SMI methodology, digital metrological calibration, standardization, metrological assessment, Industry 4.0 technologies, laboratory systems, automated monitoring,

calibration algorithms, regulatory compliance, intelligent measurement systems.

KIRISH.

XXI asr sanoatda texnologik inqilob jarayonlarini kuchaytirib, an’anaviy ishlab chiqarish modelidan raqamli transformatsiyalaashgan tizimlarga o‘tishga olib kelmoqda. Sanoat 4.0 konsepsiyasi — bu ishlab chiqarish, xizmat ko‘rsatish va metrologiya sohasidagi o‘zgacha paradigmalarni ilgari suruvchi yangi bosqichdir. Unda Internet of Things (IoT), sun’iy intellekt (AI), Katta ma’lumotlar (Big Data) va Cyber-Physical Systems (CPS) orqali real vaqt rejimida boshqaruv va monitoring imkoniyatlari yaratiladi[1].

Mazkur global tendensiyalar O‘zbekistonda ham dolzarb hisoblanadi. O‘zbekiston Respublikasining "Digital Uzbekistan-2030" strategiyasi doirasida sanoat sohasini raqamlashtirish, IT infratuzilmani kuchaytirish hamda eksport smetalarini kengaytirish rejalariga alohida e’tibor qaratilmoqda[2] . Jumladan, “Shu paytgacha biz energetika, kimyo, metallurgiya va boshqa sanoat tarmoqlaridagi barcha jarayonlarni to‘liq raqamlashtirishni maqsad qildik” — deb ta’kidlagan edi Prezident Shavkat Miromonovich. Bunday tashabbuslar raqamli transformatsiyaning keng joriy etilishini ko‘rsatadi[2,3].

Bundan tashqari, Prezident Shavkat Mirziyoyev sanoat sohasidagi ilm-fan va texnologik bazasini mustahkamlash masalalariga ham alohida urg‘u beradi. Davlat rahbarimiz raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish, innovatsiyalar va ilmiy-tadqiqot institutlarini qo‘llab-quvvatlashni ta’minlovchi siyosatni ilgari suradi, ayniqsa texnologik parklar, ilmiy laboratoriyalarni kengaytirish va tadqiqot-innovatsion integratsiyani kuchaytirish bo‘yicha ko‘plab farmoyish va qarorlar qabul qilingan[1] . Metrologiya ham — ayniqsa, kalibrlash jarayonlarini avtomatlashtirish va ishonchlilikni raqamli darajada ta’minlash nuqtai nazaridan — ushbu transformatsiya markazida turadi. O‘lchash tizimlarining aniqligini real vaqt rejimida nazorat qilish va modernizatsiyalash “Sanoat 4.0” talablariga to‘liq javob beradi[3].

Shu munosabat bilan, ushbu maqolada taklif etilayotgan yondashuv — “Sanoat 4.0 texnologiyalari integratsiyasi asosida SMI (Standartlarga Moslik Indeksi) metodikasiga tayangan raqamli metrologik kalibrlash tizimini ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish” — ham nazariy, ham amaliy jihatdan kerakli va dolzarb echimdir.

Ushbu yondashuv bir tomondan Sanoat 4.0 texnologiyalarining kuchli integratsiyasini ko‘zda tutsa, ikkinchi tomondan metrologiya fanining an’anaviy tajriba-metodologik paradigmasini raqamli shaklda yangilashga xizmat qiladi. Texnologik ishonchlilik, monitoring, avtomatik tuzatish va real vaqtli identifikatsiyaga asoslangan bu tizim ayniqsa yuqori aniqlik va standartlarga moslik muhim bo‘lgan sohalarda — masalan, radiomateriallar radioshaffofligini

ISSN 3030-3907

o‘lchashda— katta ahamiyat kasb etadi[3].

Metodologiya (SMI asosidagi raqamli kalibrlash tizimi): Sanoat 4.0 sharoitida kompozit materiallarning elektromagnit radioshaffoflik xususiyatlarini baholash uchun taklif etilgan metodologiya quyidagi ilmiy asoslangan bosqichlarni o‘z ichiga oladi.Ushbu bosqichlarda mavjud xalqaro (ASTM D4935, ISO 21348) [4]va milliy standartlar talablari o‘rganildi. Shuningdek, o‘lchov tizimlarining metrologik xususiyatlari, sinov sharoitlari va chastota diapazonlari tahlil qilindi. Bunda asosiy vazifa – mavjud kalibrlash mexanizmlaridagi nomuvofiqliklarni aniqlash va ular asosida SMI modelining boshlang‘ich parametrlarini shakllantirishdan iborat bo‘ldi[4,5].

1. SMI (Standartlarga Moslik Indeksi) formulasi va matematik asos. Standartlarga moslik darajasini baholash uchun SMI quyidagi tenglama asosida hisoblanadi:

$$SMI = 1 - \Sigma^{n}i=1 \ |R_i - S_i| / \Sigma^{n}i=1 \ \ S_i \qquad (1)$$

Bu yerda:

R_i – laboratoriya o‘lchov natijasi; S_i – referens standart qiymati;

n – nazorat parametrlarining umumiy soni. Interpretatsiya:

$SMI \geq 0.95 \rightarrow$ Yuqori moslik (ISO talablariga to‘liq mos).

$0.90 \leq SMI < 0.95 \rightarrow$ Qoniqarli moslik.

$SMI < 0.90 \rightarrow$ Qayta kalibrlash talab qilinadi.

Raqamli kalibrlash tizimi arxitekturasi.

Metodika asosida ishlab chiqilgan raqamli kalibrlash tizimi uch asosiy blokdan tashkil topadi:

Blok 1: O‘lchov ma’lumotlarini yig‘ish

a) 8–12 GHz diapazonida elektromagnit to‘lqinlar orqali o‘lchov.

b) Dielektrik o‘tkazuvchanlik (ε) va yo‘qotish tangensi (*tan* δ) aniqlanishi. Blok 2: Raqamli qayta ishlash:

c) Fourier transformatsiyasi yordamida signal spektral tahlili.

d) Filtrlash algoritmlari bilan shovqinni kamaytirish. Blok 3: SMI hisoblash va vizualizatsiya:

e) Python asosida algoritmik modellashtirish.

f) Natijalarni veb-interfeysda real vaqt rejimida ko‘rsatish.

2. Kalibrlash jarayonining Sanoat 4.0 bilan integratsiyasi:

- IoT-sensorlar orqali onlayn monitoring[7].
- Hisoblash asosida natijalarni markaziy ma’lumotlar bazasiga yuborish.
- AI optimallashtirish yordamida adaptiv kalibrlash.

Quyidagi jadval SMI metodikasida kompozit materiallar radioshaffofligini o‘lchash jarayonidagi laboratoriyalarni baholash uchun misol sifatida

ISSN 3030-3907

qo‘llaniladi[5].

1-Jadval.

Laboratoriya tizimlari baholash natijalari (SMI metodikasi asosida).

№	Laboratoriya nomi	O‘lchov chastotasi (GHz)	Standart qiymat (dB)	O‘lchangan qiymat (dB)	Farq Δ (dB)	SMI indeksi (%)
1	Lab-A	8	-10.0	-10.2	0.2	98.0
2	Lab-B	8	-10.0	-9.6	0.4	96.0
3	Lab-C	8	-10.0	-10.8	0.8	92.0
4	Lab-D	8	-10.0	-11.0	1.0	90.0
5	Lab-E	8	-10.0	-12.0	2.0	80.0

SMI matodning sanoat 4.0 samaradoligi va natijasi.

Standart qiymat (dB) -10 dB sifatida qabul qilingan bo‘lib, bu ETSI yoki ASTM GTR bo‘yicha xalqaro talabga mos keladi.

Farq Δ (dB) qiymati o‘lchangan va standart qiymatlar o‘rtasidagi tafovutni ko‘rsatadi. Δ qancha kichik bo‘lsa, laboratoriya tizimi shuncha ishonchli[6].

SMI indeksi (%) laboratoriyaning standartlarga moslik darajasini ifodalaydi.

U quyidagi formula bo‘yicha hisoblangan:

$$SMI = (1 - \Delta / \Delta_{max}) \times 100\ \% \quad (2)$$

Bu yerda – ruxsat etilgan maksimal og‘ish (2 dB).

Lab-A (98%) va Lab-B (96%) yuqori aniqlik ko‘rsatdi, ularning tizimlari kalibrlangan va standartlarga mos.

Lab-C (92%) qoniqarli natija, lekin qo‘shimcha tekshiruv talab etadi.

Lab-D (90%) va Lab-E (80%) og‘ish yuqori bo‘lib, kalibrlash va qayta sozlash zarur. Ushbu baholash orqali laboratoriyalarni reytinglash va akkreditatsiya bo‘yicha qarorlar qabul qilish mumkin[8].

SMI = 0.95 → Qoniqarli daraja baholanadi va quyidagi diagramma orqali SMI metodikasining bosqichlari tasvirlanib o‘tilgan:

ISSN 3030-3907

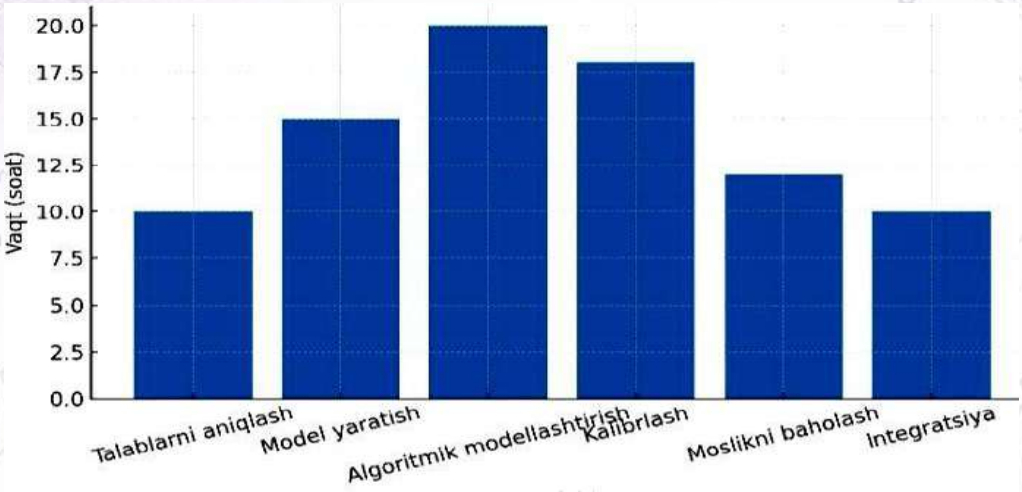


Diagramma 1. SMI metodikasining bosqichlari va sarflangan vaqt.

Ushbu diagrammada tadqiqotning asosiy bosqichlari tasvirlangan: talablar tahlili

→ standart namuna ishlab chiqish → kalibrlash modeli yaratish → tajriba o‘tkazish

→ natijalarni SMI ko‘rsatkichi asosida baholash[13].Diagrammada SMI algoritmi bo‘yicha laboratoriya tizimlarini baholash jarayoni ko‘rsatilgan. Har bir bosqichda aniqlik, takrorlanuvchanlik va moslik ko‘rsatkichlari hisoblanadi. Yakunda umumiy indeks (SMI) aniqlanadi va quydagicha tasvir hosil qiladi[9].

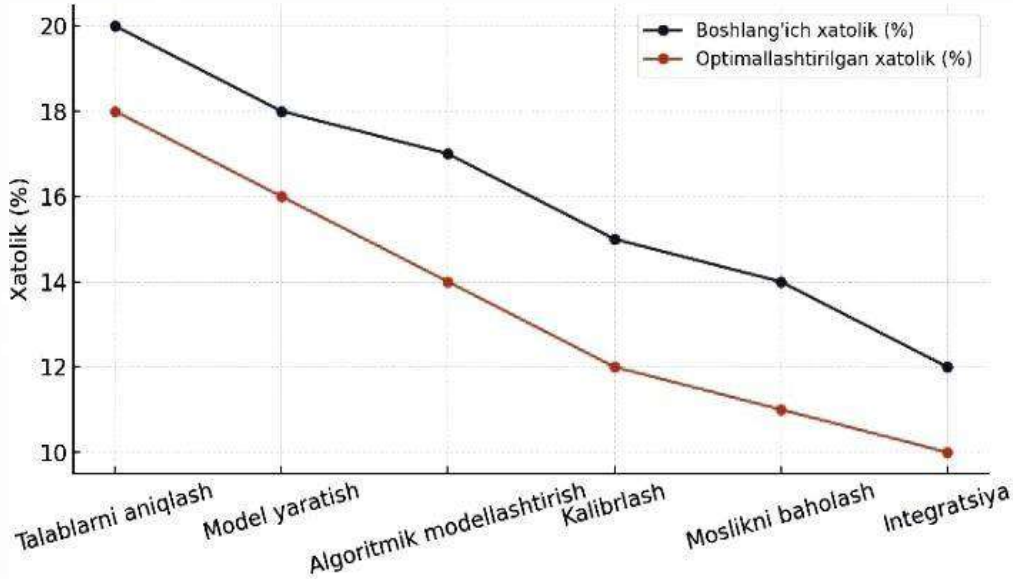


Diagramma 2. SMI metodikasining foizlarda xatoliklar tasviri.

Ushbu metodologiya SMI yordamida laboratoriya tizimlarining sifatini aniqlash, raqamli kalibrlashni avtomatlashtirish va sanoat 4.0 standartlariga moslashtirish imkonini beradi. Natijada o‘lchov xatoliklari 15–20 % gacha kamayadi va xalqaro standartlarga moslik darajasi oshadi[10,11].

SMI metodikasi jarayonda foydalanish qanday afzalliklarni taklif qiladi:

Tadqiqot natijalari ko‘rsatadiki, kompozit materiallar radioshaffofligini aniqlashda mavjud laboratoriya tizimlarining metrologik aniqligi turlicha bo‘lib,

ISSN 3030-3907

bu holat o‘lchash jarayonida kelib chiqadigan noaniqlik darajasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Taklif etilgan SMI (Standartlarga Moslik Indeksi) metodikasi yordamida laboratoriyalar faoliyatini baholash imkoniyati yaratildi. Grafik tahlillar shuni ko‘rsatadiki, nazorat standart namunalardan foydalanish natijasida radio shaffoflik parametrlari bo‘yicha o‘lchashning og‘ish ko‘rsatkichlari 12-15% gacha kamaygan. Bundan tashqari, metodikada integratsiyalashgan baholash yondashuvi laboratoriya sifat menejmenti tizimiga moslashish darajasini oshirdi.

Tadqiqot natijalarini O‘zbekiston Respublikasining "Metrologiya tizimini xalqaro talablar bilan uyg‘unlashtirish" bo‘yicha davlat strategiyasiga muvofiq holda baholash zarur. Prezident Shavkat Mirziyoyev ta’kidlaganlaridek: “Sanoat tarmoqlarini rivojlantirishda metrologiya va standartlashtirish tizimining ishonchliligi – bu ishlab chiqarish samaradorligi va raqobatbardoshligi garovidir”[2]. Ushbu tadqiqot ana shu ishonchlilikni ta’minlashda muhim ilmiy asos yaratadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR: Taklif etilgan SMI metodikasi laboratoriya tizimlarining sifatini baholashda innovatsion yondashuv sifatida o‘zini oqlashiga va standartlashtirishning yangi bosqichini belgilashiga ishonaman[8,12].

Standart namunalardan foydalanish o‘lchash natijalarining aniqligini oshiradi, metodik xatoliklarni kamaytirib, o‘lchash tizimlarining barqarorligini ta’minlaydi.

Olingan natijalar sanoat va ishlab chiqarish laboratoriyalar uchun yagona kalibrlash bazasini yaratish imkonini beradi.

SMI metodikasi bo‘yicha quyidagilarni taklif qilinadi:

a) SMI metodikasini O‘zbekiston milliy standartlariga integratsiya qilish va uni ISO 17025 talablariga muvofiqlashtirish;

b) Laboratoriyalarni SMI metodikasiga asoslangan raqamli kalibrlash platformasi bilan jihozlash;

c) O‘lchovlarni bajaruvchi mutaxassislar uchun maxsus trening dasturlarini ishlab chiqish;

d) Kompozit materiallar radioshaffofligi bo‘yicha milliy referens laboratoriyani tashkil etish va uni xalqaro akkreditatsiyaga tayyorlash.

FOYDALANILGAN ADABYOTLAR

1. Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum. Mirziyoyev, Sh.M. (2020). Digital Uzbekistan-2030 Strategiyasi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Rasmiy Sayti.

2. ISO 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

3. ASTM D4935-10 – Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials.

4. IEC 61000 – Electromagnetic compatibility (EMC) standards.

ISSN 3030-3907

5. Zuev, V.E., et al. (2018). Metrology in Industry 4.0: Digital Calibration Approaches. Measurement Techniques Journal.
6. IoT Analytics (2023). Industrial IoT Market Analysis and Forecast.
7. Rajabov F.F., Sharipov G'.N. Kompozit materiallar radioshaffofligini baholashda innovatsion yondashuvlar // Metrologiya va sifat nazorati. – 2024. – №3. – B. 55–62.
8. ASTM D4935-18. Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials. – ASTM International, 2018.
9. ISO 15592-3:2021. Measurement of radio-frequency transparency for composite structures. – International Organization for Standardization, 2021.
10. Kožárová J., Bureš R. Modern Approaches to Metrological Assurance in Smart Industry 4.0 // Journal of Metrology and Quality Management. – 2023. – Vol. 29, No. 2. – P. 101–110.
11. Sharipov G'.N. Raqamli kalibrlash tizimlarida SMI metodikasi asosida standartlashtirish tamoyillari // Standartlashtirish va innovatsiyalar jurnali. – 2025. –№1. – B. 44–52.
12. Hromada T., Kožárová J. Integration of Industry 4.0 in Metrology Systems // Procedia Manufacturing. – 2022. – Vol. 55. – P. 415–422.

ISSN 3030-3907

PNEVMOMEXANIK YIGIRISH MASHINASI DISKRETLOVCHI BARABANCHASI GARNITURA TISHLARINING TOLALARGA TA'SIR PARAMETRLARINI HISOBLASH

Urakov Nuriddin Abramatovich
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti "Metrologiya va texnik tizimlarni avtomatlashtirish" kafedrasi mudiri PhD., dotsent.
E-mail: u_nuriddin88@mail.com
Tel: 90 187 20 55
Abdixamidov Nurbek Ural o'g'li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti "Metrologiya va texnik tizimlarni avtomatlashtirish" kafedrasi katta o'qituvchisi PhD.
E-mail: abdixamidov9393@gmail.com
Tel: 94 693 27 77
Xakimjonov Avazbek Baxriddinovich
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti tayanch doktoranti
E-mail: hakimjonov.avazbek99@gmail.com
Tel: 99 422 20 03

Annotatsiya. Mazkur tadqiqot ishida pnevmomexanik yigirish mashinasining diskretlovchi barabanchasi garnitura tishlarining tolalarga ta'sir parametrlari nazariy va amaliy jihatdan o'rganilgan. Diskretlash jarayonida tolalarga ta'sir qiluvchi aerodinamik qarshilik kuchlari, markazdan qochma kuch, Koriolis kuchi hamda garnitura tishlarining geometrik parametrlari tahlil qilingan. Diskretlovchi barabanchaning aylanish chastotasi, tishlarning qiyalik burchagi va chiziqli tezligining tolalar harakatiga ta'siri matematik modellar yordamida tadqiq etilgan. Olingan natijalar asosida tolalarni ishchi kameraga bir tekis va uzluksiz uzatishni ta'minlovchi optimal parametrlar aniqlangan.

Kalit so'zlar: pnevmomexanik yigirish, diskretlovchi barabancha, garnitura tishi, tolalar harakati, aerodinamik qarshilik, aylanish chastotasi, chiziqli tezlik, qiyalik burchagi, diskretlash jarayoni, tolalar oqimi**.**

Аннотация. В данной работе исследованы параметры воздействия зубьев гарнитуры дискретизирующего барабанчика пневмомеханической прядильной машины на волокна. Проведен теоретический и практический анализ аэродинамических сил сопротивления, центробежной силы, силы Кориолиса и геометрических параметров гарнитуры в процессе дискретизации волокон. Исследовано влияние частоты вращения барабанчика, угла наклона зубьев и линейной скорости на движение волокон с использованием математических моделей. На основе полученных

ISSN 3030-3907

результатов определены оптимальные параметры, обеспечивающие равномерную и непрерывную подачу волокон в рабочую камеру.

Ключевые слова: пневмомеханическое прядение, дискретизирующий барабанчик, зуб гарнитуры, движение волокон, аэродинамическое сопротивление, частота вращения, линейная скорость, угол наклона, процесс дискретизации, поток волокон.

Abstract. This research investigates the influence parameters of the clothing teeth of the opening roller in a rotor spinning machine on fiber motion. The aerodynamic drag forces, centrifugal force, Coriolis force, and geometric parameters of the clothing teeth during the fiber opening process were analyzed theoretically and experimentally. The effects of the opening roller rotational speed, tooth inclination angle, and linear velocity on fiber movement were studied using mathematical models. Based on the obtained results, optimal operating parameters ensuring uniform and continuous fiber transportation into the spinning chamber were determined.

Keywords: rotor spinning, opening roller, clothing tooth, fiber motion, aerodynamic resistance, rotational speed, linear velocity, tooth inclination angle, fiber opening process, fiber flow.

KIRISH.

To‘qimachilik sanoatida mahsulot sifatini oshirish va ishlab chiqarish samaradorligini ta’minlash bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, pnevmomexanik yigirish texnologiyasida tolalarni sifatli diskretlash va ishchi kameraga bir tekis uzatish yuqori sifatli ip olishning asosiy shartlaridan biridir.

Pnevmomexanik yigirish mashinalarida diskretlovchi barabancha tolalarni alohida elementlarga ajratish, ularni tozalash va ishchi kameraga uzatish vazifasini bajaradi. Ushbu jarayonning samaradorligi barabanchaning konstruktiv parametrlari, aylanish chastotasi, garnitura tishlarining geometrik o‘lchamlari va havo oqimi xarakteristikalariga bevosita bog‘liqdir.

So‘nggi yillarda yigirish mashinalarining unumdorligini oshirish, energiya sarfini kamaytirish va ip sifatini yaxshilash maqsadida diskretlash jarayonini chuqur tadqiq etishga alohida e’tibor qaratilmoqda. Shu sababli diskretlovchi barabancha garnitura tishlarining tolalarga ta’sir parametrlarini o‘rganish, ularning optimal qiymatlarini aniqlash va ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Mazkur tadqiqot ishida diskretlash jarayonining nazariy asoslari o‘rganilib, tolalarga ta’sir qiluvchi kuchlar matematik modellashtirilgan hamda diskretlovchi barabanchaning asosiy parametrlarining tolalar harakatiga ta’siri tahlil qilingan.

ISSN 3030-3907

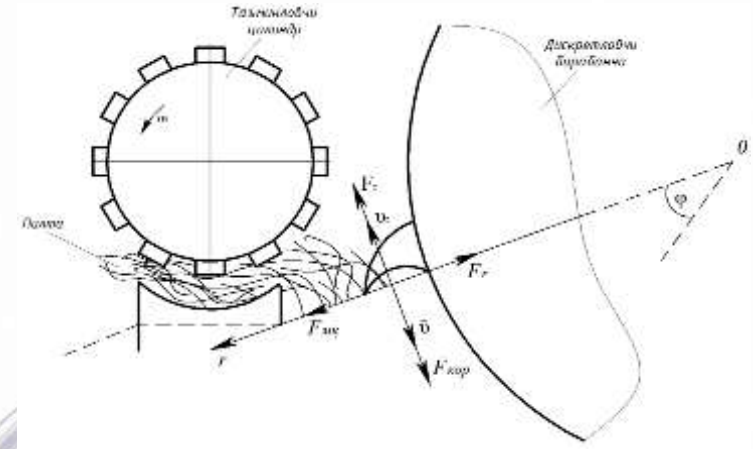
Natijada tolalarni ishchi kameraga barqaror va uzluksiz uzatishni ta’minlaydigan optimal ish rejimlari aniqlangan.

ASOSIY QISM. Pnevmomexanik yigirish mashinalari yetakchi mashinasozlik kompaniyalari tomonidan turli konstruksiyadagi garnitura bilan jihozlangan diskretlovchi barabanchalar asosida ishlab chiqariladi. Qayta ishlanadigan xomashyoning turi va fizik-mexanik xossalaridan kelib chiqib, garnituraning optimal profili hamda tishlarning geometrik parametrlari tanlanadi. Amaliyotda olmos va nikel qoplamali garnituralar tolalarni samarali diskretlash, mahsulot tarkibida chigallanishlarning oldini olish hamda pilta tarkibidagi tolalarni sifatli ajratib olish nuqtai nazaridan eng maqbul variantlardan biri hisoblanadi.

Diskretlovchi barabanchaning aylanish chastotasi 7000–11000 min^{-1} oralig‘ida bo‘lganda, uzluksiz tolalar oqimi alohida va o‘zaro bog‘lanmagan tolalarga ajratiladi. Shu bilan bir qatorda, tolalar tarkibidagi mayda iflos aralashmalar va ayrim nuqsonlar ham ajratib chiqariladi. Natijada yigirish jarayoniga sifatli va bir tekis taqsimlangan tolalar oqimi uzatiladi.

Diskretlash jarayonining asosiy mohiyati ta’minlanayotgan mahsulot-piltani alohida tolalarga ajratish, ularni o‘zaro siljitish hamda uzunliklari bo‘yicha ma’lum darajada saralashdan iborat. Bunda garnitura tishlarining geometrik parametrlari, barabanchaning aylanish tezligi va tolalarga ko‘rsatiladigan mexanik ta’sir kuchlari diskretlash samaradorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi (1-rasm).

Ushbu jarayonda garnitura tishlari tolalarni ushlab olish, cho‘zish, ajratish va havo oqimi yordamida transportirovka qilish funksiyalarini bajaradi. Shuning uchun tishlarning shakli, qiyalik burchagi, balandligi va joylashish zichligini ilmiy asosda tanlash tolalarning shikastlanishini kamaytirish hamda yigirilayotgan ip sifatini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.



1-rasm. Diskretlovchi barabanchada tolalar ajratilishini aniqlash sxemasi

Diskretlovchi barabancha ishiga ta’minlash tezligi, barabanchaning aylanish tezligi, mahsulotning chiziqli zichligi hamda konfuzordagi havo oqimi tezligi kabi omillar bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu parametrlar me’yoriy qiymatlarda

ISSN 3030-3907

tanlanmagan hollarda piltadagi tolalar yetarli darajada diskretlanmaydi, natijada tugunaklar va tolalar komplekslari hosil bo‘ladi. Bu esa yigirilayotgan ipning sifat ko‘rsatkichlariga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Diskretlash jarayonida tavsiya etilayotgan arra tishli garnituraning tolalarga ta’sir qiluvchi asosiy parametrlari tahlil qilinadi. To‘g‘ri tanlangan garnitura bilan bir qatorda diskretlovchi barabanchaning aylanish chastotasini optimal tanlash ham muhim ahamiyatga ega. Aylanish chastotasining ortishi tolalarni diskretlash jarayonini jadallashtiradi, garnituradan tolalarni ajratib olish va ularni keyingi texnologik zonaga uzatish samaradorligini oshiradi. Biroq aylanish chastotasi haddan tashqari yuqori bo‘lganda shikastlangan tolalar miqdori ortishi mumkin.

Diskretlovchi barabanchaning aylanish tezligi juda katta bo‘lgan holatlarda tolalarning ko‘ndalang yo‘nalishda joylashish ehtimoli ortadi va bu yigirilgan ipning strukturaviy tuzilishiga salbiy ta’sir qiladi. Shu sababli pnevmomexanik yigirish mashinasi diskretlovchi barabanchasi uchun tavsiya etilgan aylanish chastotasi qiymatlari arra tishlarining qiyalik burchagiga mos holda tahlil qilindi.

Diskretlovchi barabancha mahsulot tarkibidagi tolalarni ajratib olish jarayonida tolalarga bir nechta kuchlar ta’sir ko‘rsatadi. Jumladan, radius-vektor yo‘nalishi bo‘yicha aerodinamik qarshilik kuchi $(\vec{F}_r)$, urinma yo‘nalishda ta’sir qiluvchi aerodinamik qarshilik kuchi $(\vec{F}_\tau)$, markazdan qochma kuch $(\vec{F}_{m.к})$, Koriolis kuchi $(\vec{F}_{кор})$, shuningdek, urinma (f_r) (f_τ), va radius-vektor yo‘nalishlaridagi qarshilik koeffitsiyentlari muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, tolalar oqib o‘tuvchi yuzalar (S_r) (S_τ), havo qarshiligi (ρ), urinma tezlik (ϑ_τ), radius-vektor bo‘yicha tezlik hamda urinma yo‘nalishdagi havo tezligi diskretlash jarayonining samaradorligini belgilovchi asosiy parametrlar hisoblanadi.

Yuqorida keltirilgan, ya’ni mahsulotni alohida tolalarga ajratish jarayonida hosil bo‘ladigan parametrlar ilmiy jihatdan tahlil qilindi. Tish asosida tolalarga urinma va radius-vektor yo‘nalishlari bo‘yicha ta’sir qiluvchi aerodinamik qarshilik kuchlari quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi [1].

$$\vec{F}_r = \frac{1}{2}\cdot f_r \cdot S_r \cdot \rho \cdot \vartheta_r^{\,2}; \qquad \vec{F}_\tau = \frac{1}{2}\cdot f_\tau \cdot S_\tau \cdot \rho \cdot (\vartheta + \vartheta_\tau)^2 \tag{1}$$

Diskret tolalarning urinma va radius-vektor bo‘ylab arra tishi osti asosidagi tezliklari hisoblanadi.

$$\vartheta_r = \frac{dr}{dt} = \dot{r}; \qquad \vartheta_\tau = r \cdot \frac{d\varphi}{dt} = r \cdot \dot{\varphi} \tag{2}$$

ISSN 3030-3907

Diskret tolalarning harakat oqimini o ‘rganishda qutb radiusi va qutb burchaklari vaqt funksiyasi sifatida kiritildi.

$$m \cdot \ddot{r} + F_{m.k} = \pm F_r$$
$$m \cdot r \cdot \ddot{\varphi} + F_{кор} = F_\tau \qquad (3)$$

bu yerda, markazdan qochma va koriolis kuchlar $\vec{F}_{m.k} = m \cdot r \cdot \dot{\varphi}^2$ ва $\vec{F}_{кор} = -2 \cdot m \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi}$ tolalarning tish asosida yoy bo‘ylab harakati natijasida yuzaga keladigan kuchlar aniqlandi.

Bundan tashqari tolalarni ishchi kameraga uzatilishida ularning havodagi tezligi hisoblandi.

$$\vartheta_t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{c \cdot S \cdot \rho}} \qquad (4)$$

$g -$ tolalarning erkin tushish tezlanishi

bundan $a = \frac{1}{2} \cdot c \cdot S \cdot \rho = \frac{g \cdot m}{\vartheta_h^{\,2}}$ belgilash kiritish natijasi (5) tenglik quyidagicha ko‘rinishda ifodalandi[2].

$$\ddot{r} + r \cdot \dot{\varphi}^2 = \pm a \cdot \dot{r}^2$$
$$r \cdot \ddot{\varphi} - 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi} = \pm (\vartheta - r \cdot \dot{\varphi})^2 \qquad (6)$$

Boshlang‘ich shartdan foydalanib, ya’ni dastavval mahsulotni tolalarga ajratish jarayonida $\varphi = 0$ dagi qiymatlar aniqlandi [3]

$$(r)_{\varphi=0} = r_0 ; (\vartheta_r)_{\varphi=0} = \pm \vartheta_{r0} ; (\vartheta_\tau)_{\varphi=0} = \vartheta_{\tau 0}$$

Boshlang‘ich shartlardan foydalanib, tolalarning umumiy harakat tezliklarini aniqlashda tavsiya qilinayotgan pnevmomexanik yigirish mashinasi diskretlovchi barabanchasining aylanish chastotasini $n_1 = 6500\ мин^{-1}; n_2 = 7000\ мин^{-1}; n_3 = 7500\ мин^{-1}$ qiymatlarda, tishning og‘ish burchagini $\beta_1 = 64^0$; $\beta_2 = 68^0$; $\beta_3 = 72^0$ qiymatlarda va tolalarning chiziqli tezliklarini $\upsilon_1 = 24\frac{m}{s}$, $\upsilon_2 = 27\frac{m}{s}$, $\upsilon_3 = 30\frac{m}{s}$ qiymatlarga mos keladigan tolalar tezliklari quyidagicha

agar $r > r_0$ bo‘lsa $\vartheta = 0.1 \cdot r \cdot \nu \cdot e^{-5.09(r - r_0)} / r_0 \cdot \beta^{0.75}$

agar $r < r_0$ bo‘lsa $\vartheta = 0.1 \cdot r \cdot \nu$

aniqlandi. Bu yerda, ν -aylanish chastotasi, $r -$ arra tishning uzunligi, $r_0 -$ arra tishlar boshlang‘ich masofasi. Tolalarga ta’sir qiluvchi tashqi kuchlarni tavsiya

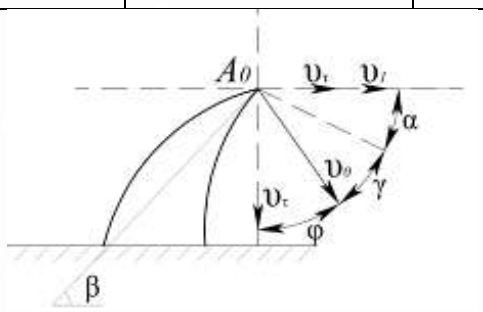
ISSN 3030-3907

qilinayotgan diskretlovchi barabanchaning parametrlari bilan bog‘lab, tolalarning tezliklari tahlil qilindi (2.11-rasm).

Olingan qiymatlar tolalarning tish asosidagi harakatini arra tishlar qiyalik burchaklarini $\beta_1 = 64^0$; $\beta_2 = 68^0$; $\beta_3 = 72^0$ ko‘rinishdagi holatlarda tolalarga ta’sir etuvchi tashqi kuchlar natijasidagi tezliklari ko‘rib chiqiladi [4].

1-Jadval

Траектория	**Diskretlovchi barabanchaning aylanish chastotasi** $n,(мин^{-1})$	**Tish old qirrasining qiyalik burchagi** $\beta,(gradus)$	**Diskretlovchi barabanchaning chiziqli tezligi** $\upsilon,(\frac{m}{s})$	**Tolalar tezligi** $\vartheta_t,(m/s)$
1	6500	64	24	0.231
2	6500	64	24	0.231
3	6500	64	24	0.231
4	7000	68	27	0.416
5	7000	68	27	0.416
6	7000	68	27	0.416
7	7500	72	30	0.543
8	7500	72	30	0.543
9	7500	72	30	0.543



2-rasm. Arra tish old qirrasining qiяlik burchagi $\beta < 90^0$ da tish asosidagi tolalar harakati sxemasi

ϑ_1 – tezlik vektori yo‘nalishi bilan arra tishi old юzasidagi normal orasidagi α – burchak.

ϑ_0 – zarb tezligi vektorining zarbadan keyingi yo‘nalgan normal orasidagi γ – burchak.

I) A_0 nuqta garnituraning arra tishdagi tolalarni dastlabki harakatini ifodalaydi.

ISSN 3030-3907

II) A_0 nuqtada garnituraning arra tishini tolalarga dastlabki ta’siri.

III) garnitura arra tishining tolalarga ta’sirining dastlabki tezligi $\vartheta_0 = 0$ ga teng.

VI) arra tishning tolalarga ta’siri garizontal yo‘naladi.

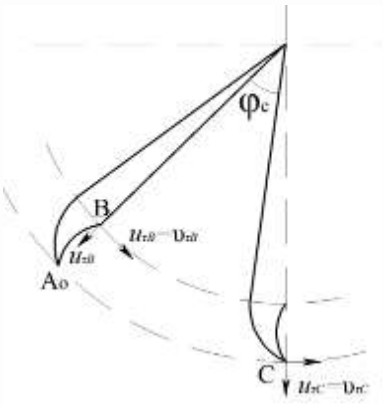
V) gorizontal arra tishning piltaga ta’sirini inobatga olib tahlil qilindi.

Arra tishlar tolalarga ta’siridan keyingi juda kichik massali tolalar harakat tezligi aniqlandi.

$$\vartheta_\tau = \vartheta_1 \cdot (1+k) \cdot \cos\alpha \cdot \cos(\alpha+\gamma) / \cos\gamma$$
$$\vartheta_r = \vartheta_1 \cdot (1+k) \cdot \cos\alpha \cdot \sin(\alpha+\gamma) / \cos\gamma \qquad (7)$$

bu erda, k – arra tishlarning tolalarga ta’siri natijasida tolalarni to‘g‘ri chiziqqa keltirishdagi koэффициент. (2-rasm).

$\vartheta_1 - A_0$ nuqtada arra tishning tolalarga ta’siridan hosil bo‘ladigan tezligi [5].



3-rasm. Tolalarning tish asosida tezliklari

Tolalarning V va S nuqtalaridagi tezliklari hisoblandi

$$u_{\tau b} = \vartheta_{\tau b}; \qquad u_{rb} = -k \cdot \vartheta_{rb} \qquad (8)$$

(2.21) tenglik arra tishlarning tolalarga ta’siridagi keyingi tezligi. Tolalarga arra tishlarning ta’siri n-ta holat uchun quyidagicha bo‘ladi

$$|u_{rn}| = k^n \cdot |\vartheta_{rb}| \qquad (9)$$

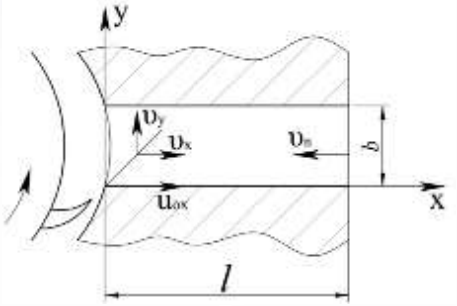
Arra tishlarni S nuqtada tolalarga ta’siri natijasida hosil bo‘ladigan tezliklari

$$u_{\tau c} = \vartheta_{\tau c}$$

$$u_{rc} = -k \cdot \vartheta_{rc} \qquad (10)$$

Shunday qilib. tolalarning tish asosida harakati turli xil nuqtalardagi tezliklari yo‘nalishlari tishning qиялik burchagiga, diskretlovchi barabanchaning aylanish chastotasiga va chiziqli tezliklariga bog‘liqligi keltirilgan (4-rasm). Bundan tashqari tolalar va chang oqimlarining kanaldagi harakatlari hisobi keltirildi [6].

ISSN 3030-3907



4-rasm. Mayda iflosliklar va chang chiqib ketish kanalidagi aralashmalarning harakati

Tolalardan chang ajratish kanalining doimiy kesmasi bor deb faraz qilib, OX o‘qi changdan tozalash kanalining devoriga to‘g‘ri keladigan koordinatalar sistemasi tanlab olindi.

$$m \cdot \frac{d\vartheta_y}{dt} = \pm \frac{1}{2} \cdot C_y \cdot S \cdot \rho \cdot \vartheta_y^{\,2}$$
$$m \cdot \frac{d\vartheta_x}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot C_x \cdot S \cdot \rho \cdot (\vartheta_x + \vartheta_n)^2 \qquad (11)$$

(11) ifoda tolalardan changni ajratishda kanal bo‘ylab harakat differenцial tenglamalarini ifodalaydi. Bu erda, (S) tolalar oqib o‘tuvchi юzalar, (C_x) *ва* (C_y), qarshilik koэффициenti (ρ), havoning zichligi, (m) tolalar massasi.

Differenцial tenglamalarni integrallab, boshlang‘ich va chegaraviy shartlardan foydalanib, o‘zgarmas qiymatlar topilib, umumiy harakat tenglamalari keltirib chiqariladi.

$$\frac{1}{2} \cdot C_y \cdot S \cdot \rho = \frac{g \cdot m}{\vartheta_b^{\,2}}$$ tenglikni (11) tenglamaga qo‘yb.

$$\begin{cases} m \cdot \dfrac{d\vartheta_y}{dt} = \pm \dfrac{g \cdot m \cdot \vartheta_y^{\,2}}{\vartheta_b^{\,2}} \\ m \cdot \dfrac{d\vartheta_x}{dt} = \dfrac{g \cdot m}{\vartheta_b^{\,2}} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_n)^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m \cdot \dfrac{d\vartheta_y}{dt} = \pm \dfrac{g \cdot \vartheta_y^{\,2}}{\vartheta_b^{\,2}} \\ m \cdot \dfrac{d\vartheta_x}{dt} = \dfrac{g}{\vartheta_b^{\,2}} \cdot (\vartheta_x - \vartheta_n)^2 \end{cases}$$

$$y = \frac{\vartheta_t^{\,2}}{g} \cdot \ln\left[\frac{g}{\vartheta_t^{\,2}}(t - t_0) + \frac{1}{k\vartheta_{y0}}\right] \cdot k\vartheta_{y0}$$

$$x = -\vartheta_n t + \frac{\vartheta_t^{\,2}}{g} \cdot \ln\left[\frac{g}{\vartheta_t^{\,2}} t + \frac{1}{u_{0x} + \vartheta_n}\right] \cdot k\vartheta_{y0} \qquad (12)$$

(12) tenglamalari changni ajratish kanali bo‘ylab tolalarning harakatini ifodalaydi [57; 151-b.]

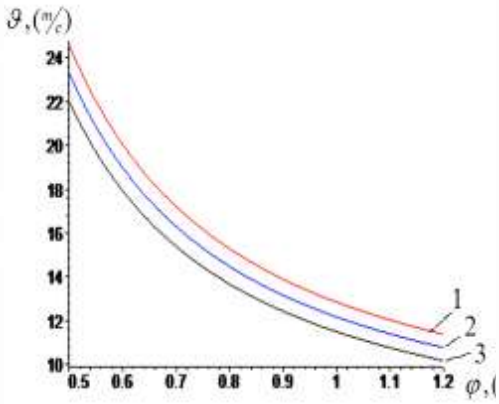
ISSN 3030-3907

Tolalarning kanal bo‘ylab umumiy xarakat trayektoriyasi tenglamasi hisoblanadi.

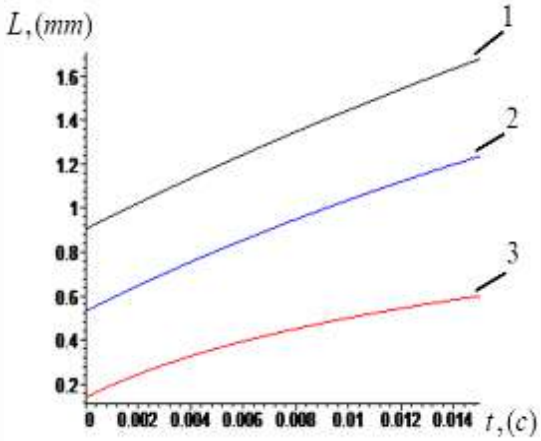
$$l = \frac{\vartheta_t^{\,2}}{g} \cdot \ln\left[\ln \frac{u_{0x} + \vartheta_t}{\vartheta_n} - \frac{u_{0x}}{u_{0x} + \vartheta_n}) \right] \cdot k\vartheta_{y0} \qquad (13)$$

(13) harakat tenglamasidan tolalardan changlarni ajratish uchun quyidagi shart bajarilishi zarur, ya’ni $\ln \frac{u_{0x} + \vartheta_1}{\vartheta_n} > \frac{u_{0x}}{u_{0x} + \vartheta_n}$. Shunday qilib, tolalardan changlarni ajratishda kanaldagi tolalarning bosib o‘tgan masofasi tezlik komponentining qiymati u_{0x} bilan aniqlanadi shuningdek havo oqimi tezligining kattaligi va yo‘nalishini ϑ_n belgilanadi. Aylanish chastotasining ortishi tolalarning trayektoriya bo‘ylab harakatlanish tezligiga hamda chang zarralarining ajralish jarayoniga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Bunda kanaldagi harakatlanish sharoitlari tolalarning harakat yo‘nalishi va havo oqimining teskari yo‘nalishda ta’sir qilishi natijasida o‘zgaradi. Shu sababli aylanish chastotasining o‘zgarishi chang yig‘gichga ajratib olinadigan chang massasiga hamda uning sifat tarkibiga ta’sir etadi [7].

Olingan natijalar asosida tolalar tezligi, garnitura tishlarining qiyalik burchagi va aylanishlar sonining vaqtga bog‘liqlik qonuniyatlari grafik ko‘rinishida ifodalandi. Ushbu bog‘liqliklar 5–8-rasmlarda keltirilgan.

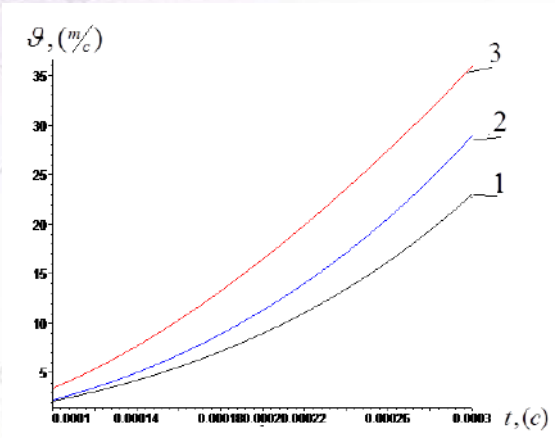


5-rasm. Tolalarni tish asosida harakatining turli aylanish chastotasi va burchak oralig‘idagi grafigi $n_1 = 6500\ мин^{-1}$; $n_2 = 7000\ мин^{-1}$; $n_3 = 7500\ мин^{-1}$.

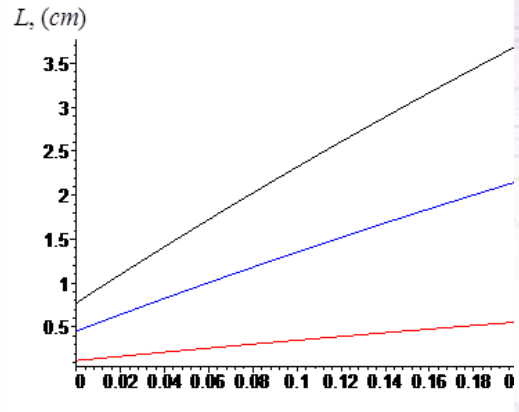


6-rasm. Tolalar tish asosida xarakatining turli chiziqli tezlik va vaqt oralig‘idagi grafigi $\vartheta_1 = 24$ м/с $\vartheta_2 = 27$ м/с $\vartheta_3 = 30$ м/с.

ISSN 3030-3907



7-rasm. Tolalar tish asosida xarakatining tish qiяligi turli qiymatlarida va burchak oralig‘idagi grafigi $\beta_1 = 64^0$; $\beta_2 = 68^0$; $\beta_3 = 72^0$.



8-rasm. Tolalar tish asosida xarakatining turli chiziqli tezlik va vaqt oralig‘idagi grafigi $\vartheta_1 = 24$ м/с $\vartheta_2 = 27$ м/с $\vartheta_3 = 30$ м/с .

XULOSA. Natijalardan ko‘rinib turibtiki, diskretlovchi barabancha garnitura tishlari bilan tolaning tutib turish shartlarini tahlil qilish asosida garnitura arra tishlari qiяlik burchaklarini $\beta_1 = 64^0$ $\beta_2 = 68^0$ $\beta_3 = 72^0$ qiymatlarda mahsulotni tolalarga ajratish jaraёnidan ishchi kameragacha bo‘lgan masofada buralish burchagi $\varphi = 0 - 1.2\ rad$ oraliqda tolalarni bir tekisda uzatishda diskretlovchi barabanchaning chiziqli tezligi $\vartheta = 27\ m/s$ bo‘lganda va tishning og‘ish burchagi $\beta = 68^0$ da tishlar tomonidan ushlangan tolalar ishchi kameraga uzluksiz ravishda uzatilishini ta’minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOLAR RO‘YXATI

1. Прискер Д.М., Сахаров Г.И. Аэродинамика. Москва.: Машиностроения, 1968. – С 309.
2. Yo‘ldoshev Q.P. Nazariy mexanika kurs ishlarini bajarishga doir metodik qo‘llanma. –Toshkent: “O‘zbekiston” 1993. –151 b.
3. Пастухов В.Т. Совершенствование технологического процесса пневмомеханического прядения. –Ленинград: 1984. –С 35.
4. Mavlonov T.M., Abduvaxidov M. Ip va to‘qimalar mexanikasi. – Toshkent.: 2011. –14 b.
5. Хрипунов.С.Н. Совершенствование процесса дискретизации волокнистого продукта на пневмомеханических прядильных машинах. – Иваново: 2000. – С 43.
6. О.А.Мирзаев., К.И.Ахмедов., О.М.Алмарданов. Динамический анализ движения дискретизирующего барабанчика // Композитцион материал “Фан

ISSN 3030-3907

ва тараққиёт” илмий техникавий амалий журнал. – 2019. – № 1(12). – Б. 68-71.

7. Bexbudov. Sh.X., O.A.Mirzaev., K.I.Axmedov. Diskretlash zonasidagi barabancha tishlari ilashtirgan tolalar xarakatining dinamik tahlili // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnal. 2020. –№2 (12).–Б. 159-164.

ISSN 3030-3907

NITRON ASOSIDAGI PPF TOLASI YORDAMIDA QO‘RG‘OSHIN, RUX VA KADMIY IONLARINI SORBSION-FOTOMETRIK ANIQLASH

Saidova Dildora Olimovna
BuxDPI, Aniq va tabiiy fanlar fakulteti, Kimyo kafedrasi o‘qituvchisi
E-mail: saidovadildora@buxdpi.uz

Annotatsiya. Maqolada nitron asosidagi PPF (poliakrilonitril tolasi modifikatsiyasi) sorbenti yordamida qo‘rg‘oshin (Pb^{2+}), rux (Zn^{2+}) va kadmiy (Cd^{2+}) ionlarini sorbsion-fotometrik aniqlash usuli o‘rganilgan. Sorbentning og‘ir metall ionlariga nisbatan sorbsion xossalari tadqiq qilinib, optimal sorbsiya sharoitlari aniqlangan. Tadqiqot natijalari nitron asosidagi PPF tolasi yuqori sorbsion sig‘imga ega ekanligini va atrof-muhit obyektlarida mikro miqdordagi og‘ir metall ionlarini aniqlashda samarali qo‘llanishi mumkinligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: Nitron tolasi, PPF, sorbsiya, sorbsion-fotometriya, qo‘rg‘oshin, rux, kadmiy, og‘ir metallar, konsentratsiyalash, analitik kimyo.

Abstract. The article studies the sorption-photometric determination of lead (Pb^{2+}), zinc (Zn^{2+}) and cadmium (Cd^{2+}) ions using nitron-based PPF sorbent. The sorption properties of the sorbent towards heavy metal ions were investigated and optimal sorption conditions were determined. The results show that nitron-based PPF fiber has high sorption capacity and can be effectively used for the determination of trace amounts of heavy metal ions in environmental objects.

Keywords: Nitron fiber, PPF, sorption, sorption-photometry, lead, zinc, cadmium, heavy metals, preconcentration, analytical chemistry.

Аннотация. В статье исследуется метод сорбционно-фотометрического определения ионов свинца (Pb^{2+}), цинка (Zn^{2+}) и кадмия (Cd^{2+}) с использованием сорбента на основе нитронового волокна PPF (модифицированного полиакрилонитриловым волокном). Изучены сорбционные свойства сорбента по отношению к ионам тяжелых металлов и определены оптимальные условия сорбции. Результаты исследования показали, что нитроновое волокно PPF обладает высокой сорбционной способностью и может эффективно использоваться для обнаружения микроколичеств ионов тяжелых металлов в объектах окружающей среды.

Ключевые слова: нитроновое волокно, PPF, сорбция, сорбционно-фотометрия, свинец, цинк, кадмий, тяжелые металлы, концентрация, аналитическая химия.

KIRISH.

Og‘ir metallar – Pb(II), Zn(II), Cd(II) – sanoat chiqindilari bilan suv havzalariga tushib, hatto mikro miqdorda ham tirik organizmlar uchun toksik ta’sir ko‘rsatadi. JSST me’yorlariga ko‘ra ichimlik suvida Pb uchun 0,01 mg/L, Cd uchun 0,003 mg/L ruxsat etiladi. Shu sababli bu ionlarni tezkor, sezgir va arzon

ISSN 3030-3907

aniqlash usullarini ishlab chiqish analitik kimyoning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi.

So‘nggi yillarda sorbsion-fotometrik usul keng tarqalmoqda. Bu usulda avval ionlar qattiq fazali sorbentda konsentrlanadi, so‘ngra bevosita sorbent fazasida rangli kompleks hosil qilib, diffuz qaytarish spektri yoki sorbent rang intensivligi o‘lchanadi. Sorbent sifatida poliakrilonitril – nitron asosidagi polipropilen fibridli tolalar (PPF) istiqbolli hisoblanadi. Sababi: yuqori solishtirma sirt, kimyoviy barqarorlik, gidrofillik va funktsional guruhlarni kiritish imkoniyati mavjud.

Tadqiqotning maqsadi – nitron asosida modifikatsiyalangan PPF tolasining Pb^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+} ionlariga nisbatan sorbsion xossalarini o‘rganish va tabiiy hamda oqava suvlar tarkibida bu ionlarni sorbsion-fotometrik aniqlash usulini ishlab chiqishdan iborat.

1. PPF tolasining modifikatsiyasi

Nitron – poliakrilonitril tolasining savdo nomi. Tarkibidagi –C≡N guruhlari gidroksilamin, etilendiamin, tiokarbamid bilan kimyoviy modifikatsiya qilinib, amidoksim, aminokarboksil, tiol guruhlariga aylantiriladi. Masalan:

$–C≡N + NH_2OH \rightarrow –C(NH_2)=N–OH$ – amidoksim guruhi

Modifikatsiya jarayoni 60°C da 3 soat davomida 5% li gidroksilaminning ishqoriy eritmasida olib borildi. Hosil bo‘lgan amidoksimli PPF tolasi distillangan suv bilan pH=7 gacha yuvildi va 50°C da quritildi.

2. Sorbsiya sharoitlarini optimallashtirish

Sorbsiya statik va dinamik sharoitda o‘rganildi. Statik sharoitda 0,1 g sorbent 50 mL metall ionlari eritmasi bilan 30 daqiqa aralashtirildi. Muvozanat konsentratsiyalar atom-absorbsion spektrometrda aniqlandi. Sorbsiya sig‘imi quyidagi formula bilan hisoblandi:

$$qe = (C_0 - C_e)\frac{C_0 - C_e \cdot V}{m}$$

bunda C_0 va C_e – boshlang‘ich va muvozanat konsentratsiyalar, mg/L; V – eritma hajmi, L; m – sorbent massasi, g.

3. Sorbsion-fotometrik aniqlash

Konsentrlash: 50–500 mL analiz qilinadigan suv namunasi pH = 6 atrofida 0,1 g modifikatsiyalangan PPF tolasidan o‘tkaziladi. Og‘ir metall ionlari tolada yutiladi. Konsentrlash koeffitsienti 100–500 ga yetadi.

Fotometrik detektsiya: Ionlar yutilgan tolaga bevosita rang hosil qiluvchi reagent qo‘shiladi. Pb(II) va Cd(II) uchun ditizon, Zn(II) uchun ksilenol oranj ishlatildi. Reaksiya sorbent fazasida boradi. Hosil bo‘lgan rangli kompleksning diffuz qaytarish spektri SF-2000 spektrofotometrida 520–580 nm da o‘lchandi.

ISSN 3030-3907

Shuningdek, rang intensivligi smartfon ilovasi orqali RGB-kodga o‘tkazilib, darajalash grafigi bilan solishtirildi.

Reaksiya misoli:

$Pb^{2+} + H_2Dz \rightarrow Pb(HDz)_2 + 2H+$ – qizil kompleks, $\lambda max = 520$ nm

4. Suv namunalarini tayyorlash

Avtomobillarni yuvish shoxobchalari va maishiy yuvinish xonalaridan olingan oqava suvlar tahlil qilindi. Namuna kislotali destruksiya qilindi: 100 mL oqava suv namunasiga 5 mL kons. HNO_3 va 2 mL H_2O_2 qo‘shilib, qum hammomida hajmi 10–15 mL qolguncha qaynatildi. Sovutilgach, filtrlandi va distillangan suv bilan 100 mL gacha yetkazildi.

Natijalar va ularning muhokamasi

1. PPF tolasining sorbsion xossalari

Amidoksimli PPF uchun sorbsiya sig‘imi pH = 5–6 da maksimal qiymatga erishdi: Pb(II) – 85 mg/g, Cd(II) – 62 mg/g, Zn(II) – 48 mg/g. Sorbsiya 15–20 daqiqada muvozanatga keladi, bu klassik ionitlarga nisbatan 3–4 marta tez.

Har bir metallni PPF tolasida sorbsiyalashning optimal pH qiymatlari aniqlandi:

Qo‘rg‘oshin (Pb^{2+}): pH = 4,0–5,0 atsetatli bufer muhitida.

Mis (Cu^{2+}): pH = 5,0–5,5.

Kadmiy (Cd^{2+}): pH = 6,0–7,0 ammoniyli bufer muhitida.

2. Usulning metrologik xarakteristikalari

Ishlab chiqilgan sorbsion-fotometrik usulning asosiy analitik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Modifikatsiyalangan PPF tolasi asosidagi sorbsion-fotometrik aniqlash usulining metrologik xarakteristikalari

Ko‘rsatkich	Pb(II)	Cd(II)	Zn(II)
Chiziqli diapazon, mkg/L	2–200	1–100	5–300
Aniqlash chegarasi, mkg/L	0,6	0,3	1,5
Nisbiy standart chetlanish,	3,2	4,1	2,8
Tanlovchanlik	Fe^{3+}, $Cu2^{+}$ niqoblanadi	Ca^{2+}, Mg^{2+} xalaqit bermaydi	Ni^{2+} EDTA bilan niqoblanadi

Ta’kidlash lozimki, atom-absorbsion spektroskopiyaga nisbatan aniqlash chegarasi 10 marta yuqoriroq, lekin ekspresslik, arzonlik va dala sharoitida ishlash imkoniyati mavjud. 1 ta analizning tannarxi 0,2 AQSh dollari atrofida bo‘lishi mimkin. AmuBuxoro kanali suvida Pb va Cd ni 5 daqiqada yarim miqdoriy

ISSN 3030-3907

aniqlash amalga oshirish mumkin va sorbentli disklar test-to‘plam ko‘rinishida sinab ko‘rish maqsadga muvofiq.

Avtomobillarni yuvish shoxobchalari va maishiy yuvinish xonalaridan chiquvchi oqava suvlar tarkibida qo‘rg‘oshin Pb^{2+}, mis Cu^{2+} va kadmiy Cd^{2+} ionlari sezilarli miqdorda uchrashi aniqlangan. Avtomobil tormoz kolodkalari yeyilishidan mis, yo‘l changlari va yoqilg‘i qoldiqlaridan qo‘rg‘oshin hamda kadmiy ajralib chiqadi. Maishiy kimyo, shampunlar, kosmetika vositalari va quvurlarning korroziyasi hisobiga ham bu metallar suvga aralash holatda bo‘ladi.
Sorbsion-fotometrik aniqlashning ikki turini taklif etamiz:

1-Usul: Qattiq faza spektrofotometriyasi

Sorbent sifatida oldindan Arsenazo III yoki Ksilenoloviy oranj reagenti shimdirilgan PPF tolasidan foydalanish: Tayyorlangan oqava suv namunasi tola joylashtirilgan mikrokolonkadan o‘tkazilganda, tola yuzasi metall konsentratsiyasiga qarab bo‘yaladi. Tola quritilib, diffuzion akslanish spektrofotometriyasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchanadi. Bu usul desorbsiya talab qilmagani uchun, eng tezkor metad hisoblanadi.

2- Usul: Desorbsiya va eritmada fotometriya qilish

Metallar oddiy reagentsiz modifikatsiyalangan PPF tolasiga yutiladi. So‘ngra tola ustidan 10–15 mL 0,5 mol/L HCl yoki HNO_3 eritmasi o‘tkazilib, metallar qayta eritmaga o‘tkaziladi. Ajratib olingan eluat(*eluat*-sorbentda ushlab qolingan moddalarni maxsus erituvchi yordamida yuvib chiqarish (elyutsiya qilish) natijasida olingan eritmadir)ga tegishli reagentlar qo‘shiladi va oddiy kvars kyuvetali spektrofotometrda standart kalibrlash grafigi asosida optik zichligi o‘lchanadi.

Ma’lumotlarga asoslangan holda quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

Nitron asosida olingan amidoksim guruhli PPF tolasi Pb(II), Cd(II), Zn(II) ionlariga nisbatan yuqori sorbsion sig‘im va tanlovchanlik namoyon qiladi. Optimal sorbsiya pH = 5–6 da, muvozanat vaqti 15–20 daqiqa bo‘ladi. Ishlab chiqilgan sorbsion-fotometrik usul mkg/L darajada aniqlash chegarasiga ega bo‘lib, tabiiy va oqava suvlarda og‘ir metallarning tahlil natijasini minimal vaqt ichida olish imkonini beruvchi, sodda va tezkor analitik aniqlash imkonini beradi. Usul AAS (Atom Absorbsion Spektroskopiyasi)ga nisbatan arzon, dala sharoitiga moslashganligi bilan e’tiborlidir.

Avtomobillarni yuvish shoxobchalari oqava suvlari uchun mineralizatsiya + sorbsion konsentrlash + fotometrik aniqlash sxemasi taklif etildi. Nitron asosidagi PPF tolasi mexanik jihatdan mustahkam bo‘lgani uchun kislotali ishlov berilgan murakkab oqava suvlarda ham o‘z xossalarini yo‘qotmaydi, metallarni 95–98% gacha samarali konsentratsiyalab beradi.

ISSN 3030-3907

Kelgusi tadqiqotlar PPF tolasini nanozarralar bilan dopirlash(*dopirlash* — polimer matritsaga nanoo‘lchamli qo‘shimchalarni kiritish orqali materialning fizik-kimyoviy xossalarini maqsadli ravishda modifikatsiyalash jarayonidir.), yoki “modifikatsiyalash” rangli reaksiyani smartfon asosida raqamlashtirish va bir vaqtda bir nechta ionni aniqlaydigan multipleks sensor yaratishga qaratilishi lozim bo‘ladi.

Nitron asosida olingan modifikatsiyalangan PPF tolasi og‘ir metallarni sorbsion konsentrlash uchun samarali matritsa hisoblanadi. Uni sorbsion-fotometrik usul bilan birlashtirish Pb(II), Cd(II), Zn(II) ni mkg/L darajada, murakkab asboblarsiz, joyida aniqlash imkonini beradi. Usulning ekspressligi, tanlovchanligi va arzonligi uni markaziy laboratoriyadan uzoq hududlarda, dala sharoitida ekologik nazorat o‘tkazishda istiqbolli qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Erkayev A.E., Ismoilov A.I. Fizikaviy kimyo praktikumi: Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2014. – 320 b.
2. Qodirov T., Sodiqov B. Fizikaviy kimyodan laboratoriya mashg‘ulotlari. – Toshkent: O‘qituvchi, 1995. – 248 b.
3. Xoliqov A.X., Abduraxmonov E. Analitik kimyo. 2-qism: Miqdoriy analiz. – Toshkent: O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi, 2016. – 416 b.
4. Ziyayev D.A., Nuraliyev N.N. Instrumental analiz usullari. – Toshkent: Cho‘lpon, 2018. – 352 b.
5. Turabdzhanov S.M., Erkayev A.E., Qodirova Sh.O. Modifikatsiyalangan poliakrilonitril tolalarida og‘ir metall ionlarining sorbsiyasi // O‘zMU xabarlari. – 2021. – №3/1. – B. 156–160.
6. G‘ofurov M.G‘., Raxmatullayeva N.T. Nitron tolasi asosidagi sorbentlar yordamida oqova suvlardan rux va kadmiy ionlarini ajratish // Kimyo va kimyo texnologiyasi. – 2019. – №4. – B. 42–46.
7. Ismatov D.N. Polimer sorbentlar yordamida suv tarkibidagi qo‘rg‘oshin va misni fotometrik aniqlash: Kimyo fan. nomz. ... diss. avtoref. – Toshkent: O‘zMU, 2017. – 22 b.
8. Axmedov U.K., Mutalov Sh.A. Sanoat oqova suvlarini og‘ir metallardan tozalashning fizik-kimyoviy asoslari. – Toshkent: Fan, 2010. – 180 b.
9. Yunusov M.P., Nasimov A.M. Ekologik analitik kimyo asoslari. – Samarqand: SamDU nashri, 2020. – 210 b.

ISSN 3030-3907

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С АНОМАЛЬНЫМИ НИЗКИМИ ПЛАСТОВЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ШОРКУМ

Алланова А.А.
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: allanovaguzal@gmail.com
Эралиев С.Х.
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: eralsaman72@gmail.com
Каримжонов И.И.
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: ilyaufc7700@gmail.com
Джамолова К.Р.
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: djamalovakamila63@gmail.com
Надолинский Н.А.
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: nnadolinskiy9@gmail.com
Каримов У.А.
Преподаватель отделения «Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте
E-mail: karimov.ulugbek.17@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема повышения эффективности бурения скважин в условиях аномально низких пластовых давлений на примере газового месторождения Шоркум. Предложена технология бурения с управляемым давлением, позволяющая регулировать забойное давление путём изменения гидравлических потерь на устье с помощью автоматизированного блока дросселирования. Приведены результаты технико-экономического сравнения между технологиями бурения на репрессии и с управляемым давлением. Подробно описывается процесс регулирования давления на забое при использовании двух схем реализации технологии бурения с управляемым давлением. Обосновывается целесообразность внедрения и совершенствование технологии бурения с управляемым давлением на месторождении Шоркум и других нефтегазовых объектах Республики Узбекистан.

Ключевые слова: репрессия, дроссель, автоматизация, окно бурения, плотность, буровой раствор, механическая скорость проходки, поглощение бурового раствора.

ISSN 3030-3907

Abstract. The paper addresses the problem of improving drilling efficiency under abnormally low reservoir pressure conditions using the example of the Shorkum gas field. A managed pressure drilling technology is proposed, which allows regulating bottomhole pressure by changing hydraulic losses at the surface using an automated choke manifold. The results of a technical and economic comparison between overbalance drilling and managed pressure drilling technologies are presented. The process of bottomhole pressure control using two implementation schemes of managed pressure drilling technology is described in detail. The feasibility of introducing and improving controlled pressure drilling technology at the Shorkum field and other oil and gas facilities in the Republic of Uzbekistan is substantiated.

Keywords: overbalance, choke, automation, drilling window, density, drilling fluid, rate of penetration, lost circulation.

Annotatsiya. Ushbu ishda Shorkum gaz koni misolida anomal past qatlam bosimi sharoitida quduq burg‘ilash samaradorligini oshirish muammosi ko‘rib chiqilgan. Avtomatlashtirilgan drossellash bloki yordamida quduq og‘zidagi gidravlik yo‘qotishlarni o‘zgartirish orqali quduq tubidagi bosimni boshqarish imkonini beruvchi boshqariladigan bosimli burg‘ilash texnologiyasi taklif qilingan. Repressiyali burg‘ilash va boshqariladigan bosimli burg‘ilash texnologiyalari o‘rtasidagi texnik-iqtisodiy taqqoslash natijalari keltirilgan. Boshqariladigan bosimli burg‘ilash texnologiyasining ikkita qo‘llash sxemasi yordamida quduq tubidagi bosimni boshqarish jarayoni batafsil tavsiflangan. O‘zbekiston Respublikasida Sho‘rqum konida va boshqa neft-gaz ob’ektlarida boshqariladigan bosimli burg‘ulash texnologiyasini joriy etish va takomillashtirishning maqsadga muvofiqligi asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: repressiya, drossel, avtomatlashtirish, burg‘ilash oynasi, zichlik, burg‘ilash eritmasi, mexanik burg‘ilash tezligi, burg‘ilash eritmasining yutilishi.

ВВЕДЕНИЕ.

При строительстве глубоких и сверхглубоких скважин одной из самых критических задач является контроль забойного давления при бурении и освоении, так как даже незначительное отклонение плотности бурового раствора за пределы допустимых значений приводит к таким осложнениям, как газонефтепроявления, поглощение промывочной жидкости, а в отдельных случаях фонтанирование флюида или грифон. Традиционным методом бурения скважин используемый на территории Республики Узбекистан в настоящее время является метод, при котором поддерживают давление столба жидкости выше пластового (бурение на репрессии). Однако, когда допустимый диапазон давлений сужается до малых величин, этот метод фактически вынуждает выбирать между двумя одинаково

ISSN 3030-3907

рискованными осложнениями проявление жидкости из пласта или поглощение жидкости в пласт. Именно в таких условиях технология бурения с регулируемым давлением позволяет преодолеть ограничения, присущие традиционным методам, а именно: контроль противодавления на устье скважины, непрерывный мониторинг и динамическое управление забойным давлением позволяют поддерживать давление в заданном диапазоне с точностью, недостижимой традиционным методам показывая существенные преимущества. На территории Республики Узбекистан существуют значительное количество месторождений с аномально низкими пластовыми давлениями. Нередко продуктивные пласты на данных месторождениях демонстрируют низкие значения давлений гидроразрыва пород, что приводит к сужению безопасного окна бурения и усложняют технологический процесс углубления ствола скважин. Традиционный метод вскрытия пластов на репрессии часто провоцирует кольматацию призабойный зоны пласта, что выступает определяющим фактором для снижения дебита до запуска скважины в промышленную добычу. Таким образом, для решения обозначенных проблем предлагается применить метод, кардинально отличающийся от традиционного, который базируется на принципе поддержания регулируемого давления на забое скважины в пределах заданного диапазона, путем увеличения или уменьшения сопротивлений, возникающих при выходе жидкости из устья скважины через кольцевое пространство с помощью автоматизированной системы дросселирования.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ.

Давление на забое скважины в процессе бурения формируется не только гидростатическим давлением столба бурового раствора, но также гидравлическими потерями в кольцевом пространстве, обусловленными силами трения при движении буровой жидкости к устью скважины. Кроме того, следует учитывать гидравлические потери на устье, которые зависят от степени открытия кольцевого пространства. При полностью открытом кольцевом пространстве гидравлические потери на устье отсутствуют. Однако при наличии возможности регулирования степени его открытия гидравлические потери, возникающие при прохождении жидкости через локальное сужение, создают значительное противодавление на разбуриваемую горную породу. Расчёт забойного давления выполняется по следующей формуле (1) [1]:

$$P_з = P_{ст} + \sum \Delta P_{кп} + \Delta P_о + \Delta Pвзд + \Delta P_Д + \Delta P_у \qquad (1)$$

ISSN 3030-3907

где

$P_{ст}$ – гидростатическое давление столба бурового раствора, Па;

$\sum \Delta P_{кп}$ – суммарные потери давления при движении бурового раствора в кольцевом пространстве между элементами компоновки низа бурильной колонны/бурильной колонны и стенками скважины, Па;

$\Delta P_{о}$ – потери давления наземной обвязке, Па;

$\Delta P_{взд}$ – потери давления на винтовом забойном двигателе, Па;

$\Delta P_{Д}$ – потери давления на долоте, Па;

$\Delta P_{у}$ – потери давления на устье скважины; Па

В работе рассматривается регулирование забойного давления путём изменения величины потерь давления на устье скважины с применением технологии бурения с управляемым давлением.

Схема реализации технологии управляемого давления без использования азотной установки представлена на рисунке 1. При применении данной технологии в состав основного оборудования входят: вращающийся превентор, автоматический блок дросселирования, гидравлическая система управления над блоком, газосепаратор, циркуляционная система и манифольд. В процессе бурения поток бурового раствора вместе со шламом поднимается по кольцевому пространству между стенкой скважины и бурильной колонной, достигает устья и поступает в следующее кольцевое пространство — между стенками втулок превенторов и бурильных труб. Далее раствор направляется в боковой отвод вращающегося превентора, откуда через манифольд поступает в автоматизированный блок дросселирования.

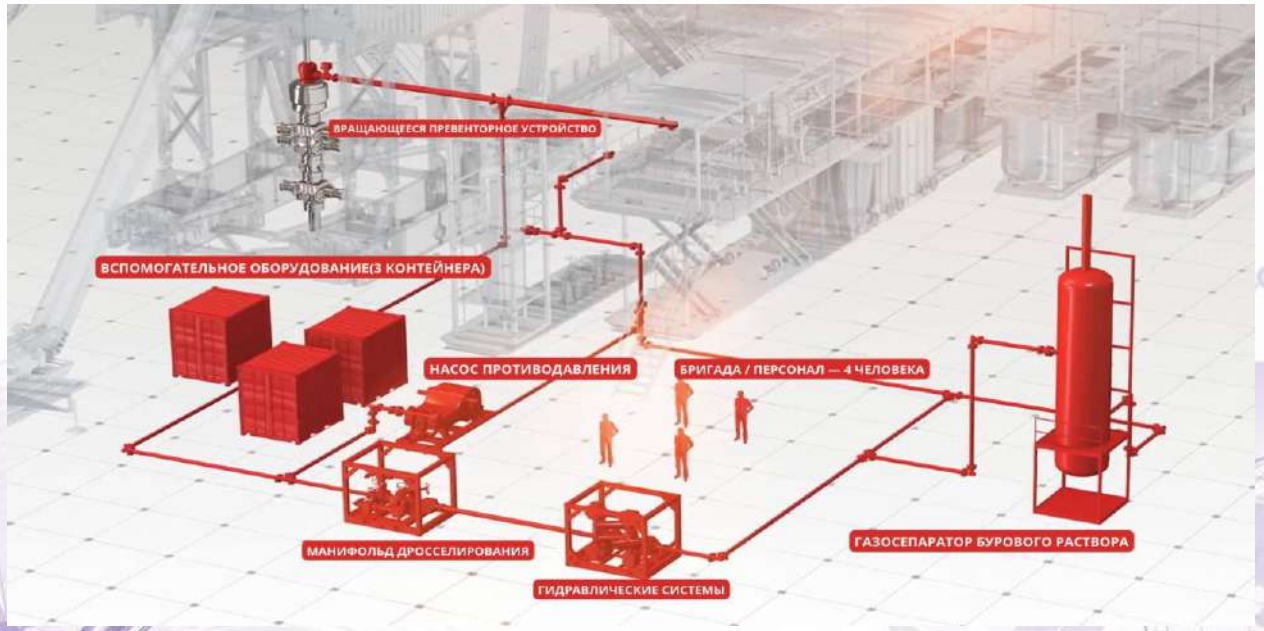


Рисунок 1. Технологическая схема бурения с управляемым давлением без азотной установки [2]

ISSN 3030-3907

Благодаря точному регулированию степени открытия или закрытия дросселей в составе этого блока контролируются как расход потока, так и противодавление на устье скважины, необходимое для регулирования забойного давления в процессе бурения. Для предотвращения гидравлических ударов в манифольде требуется установка гидравлической системы управления, которая обеспечивает анализ, регистрацию и регулирование перепада давления на дросселе, а также передачу полученных данных оператору. Далее поток бурового раствора с частицами выбуренной породы направляется в газосепаратор в случае обнаружения содержания газа в растворе выше допустимой нормы. При отсутствии газа в составе буровой жидкости раствор по манифольду поступает в циркуляционную систему, где происходит его очистка от шлама. После очистки буровой раствор снова подаётся в бурильную колонну для продолжения бурения скважины до проектной глубины. Следует отметить, что при использовании данной технологии плотность бурового раствора на входе в скважину остаётся неизменной в процессе бурения, благодаря чему рост забойного давления происходит под контролем буровой бригады и оператора посредством описанной выше системы. Данная технология актуальна при бурении скважин с аномально высокими пластовыми давлениями, но при этом характеризующихся существенно низкими значениями градиента гидроразрыва горных пород, что сужает окно безопасного бурения и создаёт риск газонефтеводопроявлений либо разрушения структуры горной породы.

На рисунке 2 представлена схема технологии бурения с управляемым давлением при использовании азотной установки. В состав необходимого оборудования входят: роторный устьевой герметизатор (вращающийся превентор), автоматизированный блок дросселирования с панелями управления (дроссельный манифольд), газосепаратор, циркуляционная система, манифольд и азотная установка (установка подачи газа).

ISSN 3030-3907

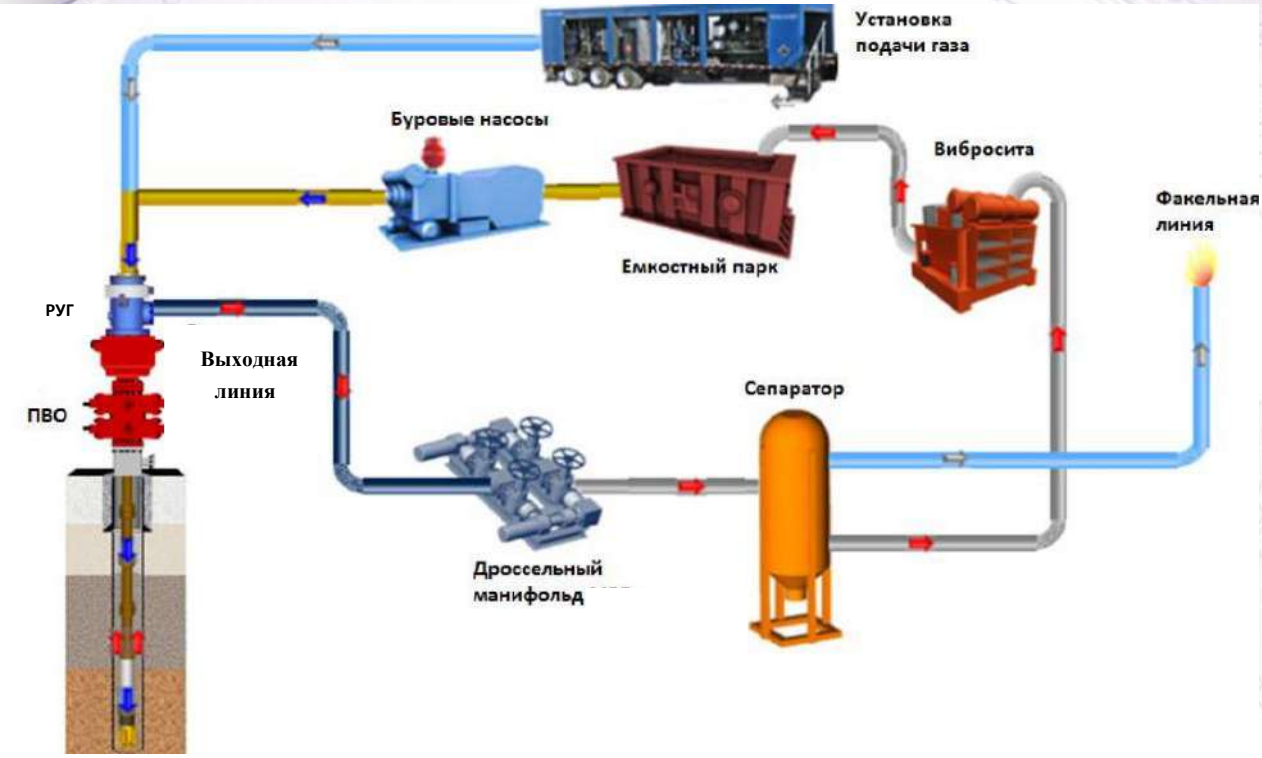


Рисунок 2. Технологическая схема бурения с управляемым давлением с азотной установкой [3]

Процесс контроля расхода бурового раствора на выходе из устья скважины и создания противодавления посредством изменения степени открытия дросселя не отличается от вышеописанной схемы. Однако включение азотной установки (установки подачи газа) позволяет регулировать плотность бурового раствора на входе в устье, уменьшая её или сохраняя неизменной за счёт регулирования подачи сжатого инертного газа. Для получения двухфазной буровой смеси применяются эжекторные устройства, в которых происходит смешение инертного газа (азота) и бурового раствора. Сам эжектор устанавливается между двумя нагнетательными линиями — от бурового насоса и от компрессора азотной установки. Описанная технология эффективна в условиях аномально низких пластовых давлений, когда ставится цель снизить загрязнение продуктивного пласта в процессе бурения скважины.

Разработка и применение технологий бурения с управляемым давлением в настоящее время в Республике Узбекистан обладают высокой актуальностью ввиду необходимости эффективного преодоления проблем, связанных с эксплуатацией месторождений, характеризующихся аномально низкими пластовыми давлениями. В большинстве случаев строительство таких скважин сопровождается рядом осложнений, которые не всегда удаётся ликвидировать при традиционном бурении. Длительное время доминирующей технологией бурения на территории Республики Узбекистан

ISSN 3030-3907

остаётся бурение на репрессии. Данный метод основан на поддержании гидростатического давления столба бурового раствора на забое выше пластового давления. В этом случае вскрытие продуктивного пласта достигается посредством циркуляции бурового раствора, относительная плотность которого превышает коэффициент аномальности на определённую величину, регламентированную правилами безопасности нефтегазодобывающей промышленности Республики Узбекистан. Соответствующие значения приведены в таблице 1.

Таблица - 1.

Регламентируемые величины превышения давления бурового раствора над пластовым по глубине бурения [4]

Интервалы бурения, м	Рекомендуемое превышение статического давления бурового раствора над пластовым давлением	Максимально допустимое превышение статического давления бурового раствора над пластовым давлением
до 1200	10-15 %	1,5 МПа
с 1200 до 2500	5-10 %	2,5 МПа
более 2500	4-7 %	3,5 МПа

При бурении на репрессии образующийся при разрушении горной породы шлам должен эффективно удаляться циркулирующей жидкостью, подаваемой под высоким напором, при котором скорость истечения потока из долота превышает скорость осаждения твёрдых частиц. В условиях, когда давление, создаваемое на забой скважины при циркуляции бурового раствора, превышает пластовое давление в горной породе, возникает градиент давления, способствующий активному проникновению раствора в поровую структуру породы. Это приводит к снижению проницаемости в призабойной зоне, то есть к кольматации, которая является ключевым деструктивным фактором, ухудшающим дебит скважины. Применение технологии бурения на репрессии является оправданным при широком диапазоне между пластовым давлением и давлением гидроразрыва породы (рисунок 3).

ISSN 3030-3907

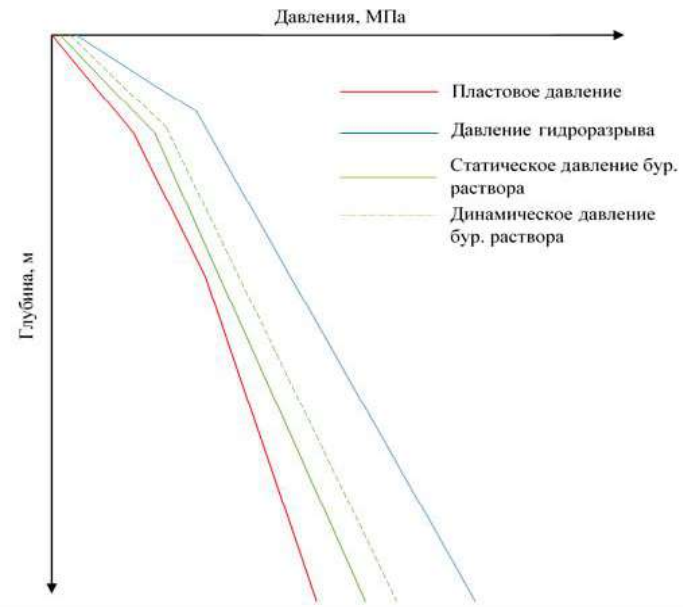


Рисунок 3. Операционное окно при бурении на репрессии

Однако основным недостатком бурения на репрессии является его низкая эффективность в скважинах с аномально низкими пластовыми давлениями, где узкое окно безопасного бурения (рисунок 4) ограничивает технологические возможности и создаёт такие риски, как поглощение бурового раствора. Кроме того, при значительной разнице между пластовым и гидростатическим давлением возможно прилипание бурильной колонны к фильтрационной корке на проницаемых участках скважины. Освобождение колонны требует снижения гидростатического давления, создаваемого столбом бурового раствора, что влечёт за собой дополнительные временные затраты.

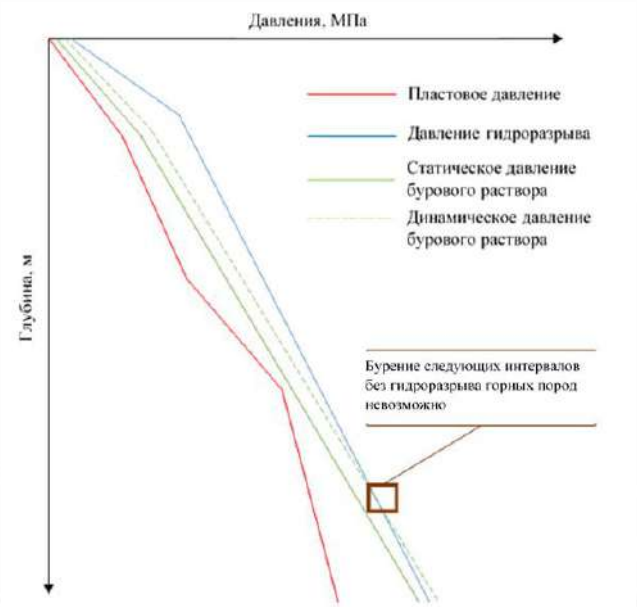


Рисунок 4. Операционное окно при бурении на репрессии через зоны с аномальными высокими пластовыми давлениями

ISSN 3030-3907

При рассмотрении осложнений, возникающих при бурении в условиях узкого окна безопасного бурения, мировая практика показывает, что технология бурения с управляемым давлением демонстрирует высокую эффективность и является одним из предпочтительных решений. Данная технология представляет собой инновационный подход, позволяющий достичь максимальной точности в управлении давлением в кольцевом пространстве скважины, обеспечивая стабильность процесса как в динамических, так и в статических условиях. Применение бурения с управляемым давлением в пластах с аномально низкими пластовыми давлениями даёт возможность с использованием специального оборудования определить критические параметры — предельное пластовое давление и давление гидроразрыва породы. Это позволяет эффективно управлять профилем давления в затрубном пространстве, оптимизируя процесс бурения и минимизируя риски. Визуализация распределения давления в скважине при бурении с применением технологии контроля давления представлена на рисунке 5.

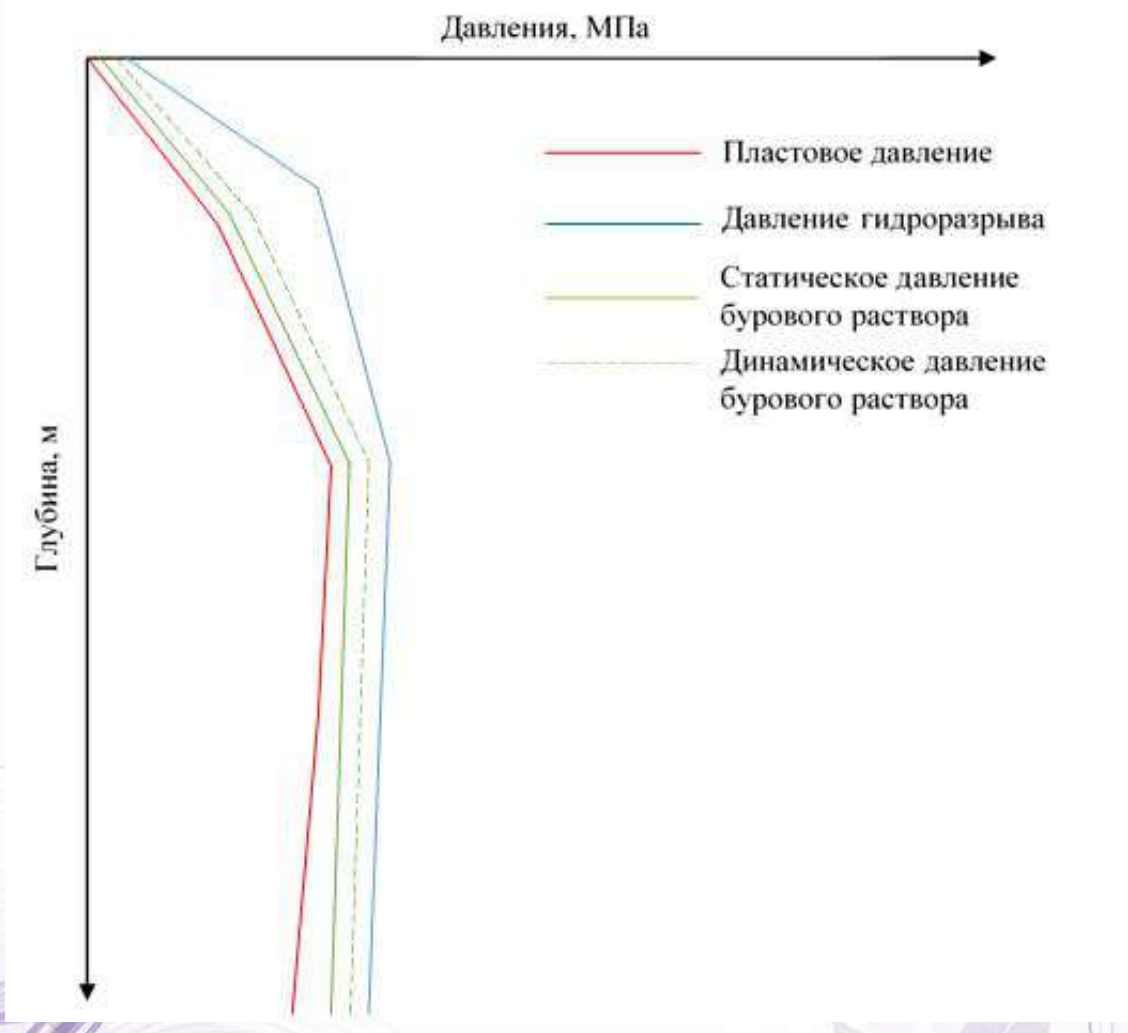


Рисунок 5. Характер профиля давления в скважине при бурении скважины с аномально низкими пластовыми давлениями

ISSN 3030-3907

Основными преимуществами технологии бурения скважин с управляемым давлением являются:

- Возможность сохранения стабильности при работе с узким окном бурения;
- Возможность оперативно реагировать на возникновение проявлений и поглощений;
- Возможность регулирования динамического давления на любой глубине;
- Повышение безопасности и эффективности спуско-подъемных операций;
- Снижение потерь бурового раствора при проведении работ;
- Сокращение или полное исключение применения материалов для борьбы с поглощением бурового раствора;
- Существенное увеличение механической скорости проходки;
- Снижение непроизводительного времени.

Недостатками являются:

- Необходимость в специально обученном персонале;
- Сложность и дороговизна монтажа, эксплуатации и обслуживания оборудований;
- Изнашиваемость эластомерных элементов.

Несмотря на существующие недостатки, мировая практика доказывает эффективность применения технологии бурения с управляемым давлением. Так, например, на месторождениях Восточной Сибири с использованием данной технологии были пробурены четыре скважины, что позволило увеличить механическую скорость проходки в среднем на 30%, сократить потери бурового раствора в пересчёте на интервал бурения в тысячу метров на 65% и повысить начальный дебит по нефти в среднем на 65–180% по сравнению с технологией бурения на репрессии [3].

Учитывая вышеуказанные показатели, представляется обоснованным предположить целесообразность применения данной технологии на газовом месторождении Шоркум, расположенном в Бухарской области Республики Узбекистан. Коллектор на данном месторождении характеризуется аномально низкими пластовыми давлениями. Для обоснования применения технологии бурения скважин с управляемым давлением в работе был проведён технико-экономический анализ на основе фактических данных, полученных при традиционном способе бурения на репрессии, и прогнозируемых показателей при использовании предлагаемой технологии.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

В целях обоснования целесообразности внедрения технологии с управляемым давлением за базовые значения приняты показатели бурения реальной скважины, приведённые в таблице 2. Расчётным путём определяются четыре ключевых параметра: стоимость метра проходки,

ISSN 3030-3907

экономический эффект от использования технологии с регулируемым давлением, механическая скорость проходки и рейсовая скорость. Вычисление указанных параметров выполняется по формулам (2) – (5) [4].

$$С_Э=\frac{N_д \cdot С_д+(С_{бу}+С_{БРД})\cdot(t_б+t_{спо}+t_{всп}) + С_{взд}\cdot t_б}{Н} \quad (2)$$

$$Э=(С_{Э1}-С_{Э2})\cdot Н \quad (3)$$

$$V_м = \frac{Н}{t_б} \quad (4)$$

$$V_р = \frac{Н}{t_б + t_{спо} + t_{всп}} \quad (5)$$

где

- стоимость метра проходки ($С_{Э1}$-на репрессии, $С_{Э2}$-бурение с регулируемым давлением), доллар США за метр ($С_э$);
- количество использованных долот ($N_д$) и их стоимость в долларах США ($С_д$) в компоновке низа бурильной колонны;
- стоимость часа работы системы бурения с регулируемым давлением в долларах США ($С_{БРД}$);
- стоимость часа работы буровой установки в долларах США ($С_{бу}$);
- стоимость часа работы винтового забойного двигателя в долларах США ($С_{взд}$);
- время, затраченное на разрушение породы заданного интервала в часах ($t_б$);
- время, потраченное на проведение спуско-подъемных операций в часах ($t_{спо}$);
- время, потраченное на проведение вспомогательных работ при спуско-подъемных операциях в часах ($t_{всп}$);
- интервал бурения в метрах (Н);
- экономический эффект при внедрении технологии регулируемого давления в долларах США (Э).

Таблица – 2.

Показатели бурения скважин на репрессии и регулируемым давлением

Параметры	Обозна-чения	Единица измерений	На репрессии (факт)	С регулируемым давлением (прогноз)
Интервал бурения по стволу, от – до		м	380-2030	
Частота вращения долота	$n_{общ}$	об/мин	30-50 + обороты ВЗД	

ISSN 3030-3907

Осевая нагрузка на долото	G	кН	40-80	
Расход бурового раствора	Q	л/с	30-40	
Среднее время, затраченное на спуско-подъемные операции	$t_{спо}$	ч	4,35	4,35
Среднее время, затраченное на проведение вспомогательных работ при спуско-подъемных операциях	$t_{всп}$	ч	3,15	3,15
Общее время бурения	$t_б$	ч	550	413
Общая проходка в интервале	H	м	1650	
Количество используемых долот	$N_д$	шт	2	2
Стоимость 1-го долота	$C_д$	долл. США	40 000	40 000
Стоимость часа работы ВЗД	$C_{взд}$	долл. США/ч	300	300
Стоимость часа работы буровой установки	$C_{бу}$	долл. США/ч	1500	1500
Стоимость часа работы системы управляемого давления	$C_{БРД}$	долл. США/ч	-	500
Механическая скорость бурения	$V_м$	м/ч	3	4
Рейсовая скорость бурения	$V_р$	м/ч	2,96	3,92
Стоимость метра проходки	Сэ	долл. США/м	655,3	633,3

ISSN 3030-3907

Экономический эффект	Э	долл	36 300

Стоимость одного метра проходки при бурении на репрессии составит по формуле (2):

$$С_{Э1}=\frac{2\cdot40000+1500\cdot(550+4,35+3,15)+300\cdot550}{1650}=655,3 \text{ долл. США/м.}$$

Стоимость одного метра проходки с технологией бурения с управляемым давлением составит по формуле (2):

$$С_{Э2}=\frac{2\cdot40000+(1500+500)\cdot(413+4,35+3,15)+300\cdot413}{1650}=$$

$$=633,3 \text{ долл. США/м.}$$

Экономический эффект при использовании технологии бурения с управляемым давлением по формуле (3) составляет:

$$Э=(655,3-633,3)\cdot1650=36\ 300 \text{ долл. США}$$

Механическая скорость проходки и рейсовая скорость при бурении скважины на репрессии рассчитываются по формулам (4) - (5):

$$V_м=\frac{1650}{550}=3 \text{ м/ч}$$

$$V_р=\frac{1650}{550+4,35+3,15}=2,96 \text{ м/ч}$$

Механическая скорость проходки и рейсовая скорость при бурении скважины технологией бурения с управляемым давлением рассчитываются по формулам (4) - (5):

$$V_м=\frac{1650}{413}=4 \text{ м/ч}$$

$$V_р=\frac{1650}{413+4,35+3,15}=3,92 \text{ м/ч}$$

Результаты выполненных расчётов свидетельствуют, что применение технологии бурения с управляемым давлением обеспечивает увеличение как механической, так и рейсовой скорости бурения по сравнению с традиционным способом на репрессии. При этом, несмотря на значительные затраты, связанные с арендой указанной технологии, достигается снижение общих экономических расходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выполненный анализ показывает, что традиционный метод бурения на репрессии на месторождениях с аномально низкими пластовыми давлениями (на примере месторождения Шоркум) характеризуется низкой эффективностью из-за узкого окна безопасного бурения, что создаёт высокие риски поглощения бурового раствора, кольматации продуктивного коллектора и дифференциальных прихватов

ISSN 3030-3907

бурильной колонны. Применение технологии бурения с управляемым давлением, напротив, позволяет обеспечить точный контроль забойного давления путём регулирования противодавления на устье через автоматизированный блок дросселирования, что даёт возможность вести бурение в пределах заданного диапазона давлений без превышения градиента гидроразрыва пород.

Сопоставление показателей бурения скважин на месторождении Шоркум при традиционной технологии и при использовании управляемого давления выявило значительное улучшение технико-экономических результатов: механическая скорость проходки возрастает с 3 до 4 м/ч (на 33,3% больше), рейсовая скорость — с 2,96 до 3,92 м/ч (на 32,4% больше). Технико-экономические расчёты подтвердили снижение стоимости одного метра проходки с 655,3 до 633,3 долл. США/м и получение положительного экономического эффекта в размере 36 350 долл. США на анализируемом интервале 1650 метров.

Следовательно, внедрение технологии бурения с управляемым давлением целесообразно прежде всего на месторождениях с аномально низкими пластовыми давлениями и узким окном безопасного бурения. Применение и совершенствование этой технологии (включение в состав оборудований многофазных сепараторов) позволит увеличить механическую и рейсовую скорости проходки, снизить стоимость метра бурения, уменьшить риски осложнений и улучшить технико-экономические показатели строительства скважин на газовом месторождении Шоркум и на других объектах Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов Е. Г., Симонянц С. Л. Совершенствование технологического процесса углубления скважины //М.: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2014.
2. ООО «НьюТек Сервисез» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://nt-serv.com/.
3. Доброхлеб П. Ю., Сорока Т. Б., Гусев А. В. НОВЫЕ РЕШЕНИЯ–НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ: ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ //Управление техносферой. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 138-160.
4. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности Республики Узбекистан. – Ташкент, 2000.

ISSN 3030-3907

O‘ZBEKISTON SANOAT KORXONALARIDA “YASHIL EKOTIZIM” VA RESURS SAMARADORLIGINI (RECP) JORIY ETISHNING METODOLOGIK ASOSLARI VA EMISSIYALARNI KAMAYTIRISH SAMARADORLIGI

U. I. Do‘stqobilov
Tayanch doktorant, Toshkent to‘qimachilik va yengil sanoat instituti, Toshkent sh., O‘zbekiston
E-mail: dustkobilovulugbek@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekiston iqtisodiyotining yetakchi tarmoqlari hisoblangan tekstil va qurilish materiallari ishlab chiqarish korxonalarida yashil sanoatlashtirish hamda resurs va energiya samaradorligi (RECP) metodologiyasi joriy etish masalalari tadqiq qilingan. Kichik va o‘rta biznes (KOB) subyektlarida uglerod neytralligiga erishish, oqova suvlarni tozalash va chiqindilarni boshqarishning besh bosqichli “Yo‘l xaritasi” modeli tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, RECP choralarini tizimli qo‘llash orqali korxonalarda issiqxona gazlari (CO_2e) emissiyasini minimal 10-11% gacha kamaytirish va operatsion xarajatlarni optimallashtirish imkoniyati mavjudligi ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Kalit so‘zlar: Yashil sanoatlashtirish, RECP, resurs samaradorligi, ekotizim, CO_2 emissiyasi, tekstil sanoati, qurilish materiallari, BDS provayderlari, ISO 14001.

Аннотация: В данной статье исследуются вопросы внедрения зелёной индустриализации и методологии ресурсо- и энергоэффективного производства (RECP) на предприятиях текстильной промышленности и производства строительных материалов — ведущих отраслях экономики Узбекистана. На основе данных проекта, реализованного при поддержке международного сотрудничества, проведён анализ пятиэтапной модели «Дорожной карты» по достижению углеродной нейтральности, очистке сточных вод и управлению отходами в субъектах малого и среднего бизнеса (МСБ). Результаты исследования научно обосновывают возможность сокращения выбросов парниковых газов (CO_2e) не менее чем на 10–11% и оптимизации операционных затрат посредством системного применения мер RECP на предприятиях.

Ключевые слова: Зелёная индустриализация, RECP, ресурсоэффективность, экосистема, выбросы CO_2, текстильная промышленность, строительные материалы, поставщики BDS, ISO 14001.

Abstract. This article examines the implementation of green industrialization and the Resource and Energy Efficiency in Cleaner Production (RECP) methodology at textile and construction materials manufacturing enterprises — the leading sectors of Uzbekistan's economy. Drawing on project data obtained through

international cooperation support, the study analyses a five-stage "Roadmap" model for achieving carbon neutrality, wastewater treatment, and waste management in small and medium-sized enterprises (SMEs). The findings provide scientific substantiation for the feasibility of reducing greenhouse gas (CO_2e) emissions by a minimum of 10–11% and optimizing operational costs through the systematic application of RECP measures at the enterprise level.

Keywords: Green industrialization, RECP, resource efficiency, ecosystem, CO_2 emissions, textile industry, construction materials, BDS providers, ISO 14001.

KIRISH.

Bugungi kunda global iqlim o‘zgarishi va tabiiy resurslarning cheklanganligi sharoitida, iqtisodiy o‘sishni resurslar iste’molidan ajratish (decoupling) barqaror rivojlanishning eng muhim shartiga aylandi. O‘zbekiston Respublikasida ham sanoat ishlab chiqarishini „yashil iqtisodiyot“ prinsiplariga o‘tkazish, energiya sarfini optimallashtirish va atmosferaga tashlanayotgan zararli gazlarni kamaytirish bo‘yicha keng ko‘lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Ayniqsa, respublika yalpi ichki mahsulotida ulushi yuqori bo‘lgan tekstil va qurilish materiallari sektorlarida innovatsion ekologik texnologiyalarni joriy etish dolzarb ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Sanoat korxonalarining yashil transformatsiyasini faqatgina davlat monitoringi orqali emas, balki Biznesni rivojlantirish xizmatlari (BDS — Business Development Services) provayderlari hamda ilmiy-tadqiqot institutlari integratsiyasidan iborat mustahkam ekotizimni yaratish orqali jadallashtirish mumkin. Mazkur tadqiqotning maqsadi — O‘zbekiston iqtisodiy muhitida korxonalarning resurs balansi va energetik auditini baholash orqali atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirish va xalqaro bozorlarda raqobatbardoshlikni oshirish strategiyasini ishlab chiqishdan iborat.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Tadqiqot doirasida toza ishlab chiqarish (Cleaner Production) konsepti hamda Xalqaro toza ishlab chiqarish va resurs samaradorligi (RECP) uslubiyoti qo‘llanilgan. Sanoat korxonalarida yashil sanoatlashtirishni baholash va joriy etish jarayoni 5 ta asosiy bosqichdan iborat kompleks tizim orqali amalga oshirildi:

1-Bosqich: Rejalashtirish va tashkil etish. Korxona rahbariyatining roziligini olish, „Yashil guruh“ tuzish va maqsadli indikatorlarni belgilash.

2-Bosqich: Dastlabki baholash (Pre-assessment). Korxona texnologik liniyalarini vizual ko‘rikdan o‘tkazish va resurs yo‘qotishlari yuqori bo‘lgan nuqtalarni (hotspots) aniqlash.

3-Bosqich: Baholash (Assessment). Moddiy va energetik balanslarni (Material and Energy Balances) tuzish. Xomashyo, suv, gaz, elektr energiyasi

ISSN 3030-3907

kirimi va chiqimi (mahsulot, oqova suv, emissiya, chiqindi) miqdoriy tahlil qilinadi.

4-Bosqich: Texnik-iqtisodiy asoslash (Evaluation & Feasibility study). Tavsiya etilayotgan yashil texnologiyalarni texnik, iqtisodiy va ekologik jihatdan baholash.

5-Bosqich: Joriy etish va davomiylikni ta’minlash. Tizimni ishlab chiqarishga integratsiya qilish, monitoring olib borish va ISO 14001, ISO 14064 standartlari asosida verifikatsiyalash.

Baholash jarayonida har bir muammoli holat quyidagi matritsa asosida tahlil qilinadi: Muammo turi (resurs/energiya sarfi, havo/suv ifloslanishi) $\rightarrow$ Muammo tavsifi (yo‘qotilgan mablag‘ miqdori) $\rightarrow$ Transformatsiya yechimi (qisqa va uzoq muddatli variantlar).

Yashil sanoatlashtirish va resurs samaradorligi tendensiyalari: To‘qimachilik tarmog‘i misolida

Zamonaviy ishlab chiqarish sharoitida resurslardan oqilona foydalanish hamda ekologik toza texnologiyalarni joriy etish korxonalarning iqtisodiy barqarorligi va raqobatbardoshligini ta’minlovchi asosiy omillarga aylanmoqda. Ayniqsa, texnik gazlamalar va mahsulotlar ishlab chiqarishga ixtisoslashgan korxonalarda energiya hamda xomashyo sarfini maqbullashtirish, issiqxona gazlari (CO_2e) ajralishini kamaytirish bo‘yicha yuqori salohiyat mavjudligi kuzatilmoqda.

O‘tkazilgan tahlillarga ko‘ra, mazkur yo‘nalishdagi o‘rtacha quvvatli korxonalarda ishlab chiqarish barqarorligini oshirish va ekologik ta’sirni kamaytirish uchun quyidagi samarali yashil chora-tadbirlarni amalga oshirish tavsiya etiladi:

Quyosh fotoelektr stansiyalarini (QFS) o‘rnatish: Ishlab chiqarish binolarining tom qismidan foydalangan holda quvvati 115 kVt gacha bo‘lgan quyosh panellarini o‘rnatish orqali yillik elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojning qariyb 46 foizini qoplash imkoniyati mavjud. Bu chora markazlashgan tarmoqlardan energiya iste’molini sezilarli darajada kamaytiradi va yillik CO_2 chiqindilarini 44 foizga (taxminan 70,7 tonnaga) qisqartiradi. Ushbu loyihaning taxminiy o‘zini oqlash muddati 3,9 yilni tashkil etadi.

Reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish tizimini joriy etish: Ishlab chiqarish uskunalaridagi dvigatellar energiya iste’molining eng katta qismini (80% dan ortig‘ini) tashkil etadi. Kondensator batareyalari yordamida reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish orqali elektr energiyasi uchun xarajatlarni 25 foizgacha tejash, transformatorlar yuklamasini kamaytirish va yiliga 53,9 tonna atrofida CO2 emissiyasining oldini olish mumkin. Tizimning o‘zini oqlash muddati 4,3 yilga teng.

ISSN 3030-3907

Bug‘lanish tipidagi sovutgichlarni (evaporative coolers) o‘rnatish: To‘qimachilik tsexlarida doimiy namlik va maqbul harorat rejimini saqlash ipning uzilishini kamaytiradi va dastgohlar unumdorligini oshiradi. Shu bilan birga, an’anaviy konditsionerlarga nisbatan 87% gacha kamroq energiya sarflaydigan hamda tarkibida zararli sintetik xladagentlar bo‘lmagan bio-sovutgichlarni joriy etish elektr sarfini kamaytiradi va yiliga 8,5 tonnadan ortiq CO_2e ajralishini cheklaydi. Ushbu chora eng qisqa – qariyb 1,6 yillik o‘zini oqlash muddatiga ega.

Ushbu uchta yashil tashabbusning parallel ravishda hayotga tatbiq etilishi korxonalarga nafaqat ekologik xavfsizlik talablariga muvofiqlashish, balki ishlab chiqarish tannarxidagi mahsulot bo‘lmagan chiqindi xarajatlarini (NPO costs) sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi.

TADQIQOT NATIJALARI. Xalqaro hamkorlik loyihasi doirasida respublikadagi 15 ta yetakchi tekstil va qurilish materiallari ishlab chiqaruvchi korxonalarda RECP auditi o‘tkazildi.

Olingan asosiy amaliy natijalar quyidagilardan iborat:

Emissiyalarning kamayishi: RECP metodologiyasini qo‘llash natijasida tahlil qilingan korxonalarda issiqxona gazlari (CO_2e) emissiyasini qisqa muddatli istiqbolda o‘rtacha 10-11% ga kamaytirish choralari belgilandi.

Potensial tejamkorlik: Faqatgina 7 ta kichik va o‘rta biznes subyektida RECP texnologiyalarini joriy etish hisobiga yiliga minimal 486 tonna CO_2e gazining atmosferaga tarqalishining oldi olinishi ilmiy-statistik jihatdan tasdiqlandi.

Suv resurslarini muhofaza qilish: Tekstil sanoati korxonalarida oqova suvlarni chuqur tozalashning (Advanced wastewater treatment) zamonaviy membranali va fizik-kimyoviy usullarini qo‘llash orqali mahalliy suv havzalari va tuproqqa tashlanayotgan zaharli moddalar konsentratsiyasi keskin kamaytirildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, yashil sanoatlashtirishga o‘tish faqatgina ekologik majburiyat emas, balki korxonalarning bozor iqtisodiyotidagi raqobatbardoshligini oshiruvchi asosiy drayverdir. Operatsion xarajatlarning kamayishi (Lower Operating Costs) xomashyo va energiyani tejash hisobiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri tannorx pasayishiga olib keladi.

Biroq, O‘zbekiston sharoitida korxonalarning yashil transformatsiyasida bir qator to‘siqlar mavjud. Bularga mahalliy korxonalarda yashil texnologiyalar bo‘yicha texnik kadrlar yetishmasligi va dastlabki kapital qo‘yilmalarning yuqoriligidir. Muammoning yechimi sifatida, BDS (Business Development Services) provayderlari tarmoqlarini kengaytirish va korxonalarga „yashil moliyalashtirish“ (Green financing) vositalarini, xususan, energiya auditi natijalariga ko‘ra imtiyozli kreditlar ajratish tizimini joriy etish lozim. Shuningdek, mahsulotlarni Yevropa Ittifoqi va jahon bozorlariga eksport qilish uchun CE

ISSN 3030-3907

marking, ISO 14001 va ISO 14064 xalqaro standartlarini integratsiya qilish talab etiladi.

O‘zbekiston tekstil va qurilish sanoati subyektlarida o‘tkazilgan RECP tahlillari resurslarni tejash va iqtisodiy samaradorlikni oshirishning juda katta tejamkorlik potensiali mavjudligini ko‘rsatdi.

RECP metodologiyasining 5 bosqichli modelini tatbiq etish orqali korxonalarda atmosferaga tashlanayotgan CO_2 emissiyasini kamida 10-11% ga kamaytirish imkoniyati mavjudligi aniqlandi.

XULOSA. Kelgusi bosqichlarda ekotizimni yanada rivojlantirish uchun ishlab chiqarish jarayonlariga quyosh va shamol energiyasi kabi qayta tiklanuvchi energiya manbalarini (Renewable energy solutions) keng ko‘lamda integratsiya qilish hamda kadrlar salohiyatini oshirish uchun tizimli treninglarni tashkil etish strategik ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Xalqaro hamkorlik tashkiloti. (2024). Private sector development and economic policy advice in Uzbekistan: First Achievements in Creating a Green Business Development Eco-system. Tashkent.
2. Maslahat guruhi. (2024). Creating a Green Business Development Ecosystem in Uzbekistan: Green BDS's for Reducing CO_2 Emissions. Uzbekistan.
3. Xalqaro hamkorlik loyihasi. (2024). Roadmap for green industrialisation assessments in SME's. Tashkent.

ISSN 3030-3907

TIJORAT BANKLARIDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA JARAYONI VA UNING BANK XIZMATLARI SAMARADORLIGIGA TA'SIRI

Sharipova Nigina Djurakulovna
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti o'qituvchisi
Xayitov Oxunjon
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti Bank ishi va audit fakulteti talabasi.
Barnayev Sherali
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti Bank ishi va audit fakulteti talabasi.

Annotatsiya. Ushbu maqolada tijorat banklarida raqamli transformatsiya jarayoni va uning bank xizmatlari samaradorligiga ta'siri tahlil qilingan. Tadqiqot davomida mobil banking, sun'iy intellekt, Big Data va fintech texnologiyalarining bank faoliyatidagi o'rni o'rganildi. Raqamli texnologiyalarni joriy etish natijasida operatsion xarajatlarning kamayishi, tranzaksiyalar tezligining oshishi hamda mijozlarga xizmat ko'rsatish sifatining yaxshilanishi asoslab berildi. Shuningdek, O'zbekiston bank tizimida raqamli xizmatlarning rivojlanish tendensiyalari va mavjud muammolar tahlil qilindi. Tadqiqot natijasida bank tizimida raqamli transformatsiyani jadallashtirish bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: raqamli transformatsiya, tijorat banklari, mobil banking, fintech, sun'iy intellekt, Big Data, operatsion samaradorlik, raqamli xizmatlar, kiberxavfsizlik.

Abstract. This article analyzes the process of digital transformation in commercial banks and its impact on the efficiency of banking services. The study examines the role of mobile banking, artificial intelligence, Big Data and fintech technologies in banking activities. The implementation of digital technologies contributes to reducing operational costs, increasing transaction speed and improving customer service quality. In addition, the trends and challenges of digital banking development in Uzbekistan are analyzed.

Keywords: digital transformation, commercial banks, mobile banking, fintech, artificial intelligence, Big Data, operational efficiency, digital services, cybersecurity.

Аннотация. В данной статье анализируется процесс цифровой трансформации в коммерческих банках и его влияние на эффективность банковских услуг. В исследовании рассматривается роль мобильного банкинга, искусственного интеллекта, больших данных и финтех-технологий в банковской деятельности. Внедрение цифровых технологий привело к снижению операционных издержек, увеличению скорости транзакций и улучшению качества обслуживания клиентов. Также проанализированы тенденции развития и существующие проблемы цифровых услуг в банковской системе Узбекистана. По результатам исследования разработаны научно-практические рекомендации по ускорению цифровой трансформации в банковской системе.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: цифровая трансформация, коммерческие банки, мобильный банкинг, финтех, искусственный интеллект, большие данные, операционная эффективность, цифровые услуги, кибербезопасность.

KIRISH.

So‘nggi yillarda jahon iqtisodiyotida raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi bank sektorida ham tub o‘zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Tijorat banklari tomonidan an’anaviy xizmat ko‘rsatish modelidan raqamli xizmat ko‘rsatish tizimiga o‘tish bank tizimining samaradorligini oshirishda muhim omil bo‘lib xizmat qilmoqda [4]. Ayniqsa, mobil banking, internet banking, QR-to‘lovlar, elektron hamyonlar va masofaviy identifikatsiya kabi texnologiyalar bank xizmatlarining ommaviylashuviga sabab bo‘lmoqda.

O‘zbekistonda ham bank tizimini modernizatsiya qilish va raqamlashtirish bo‘yicha keng ko‘lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining bank tizimini isloh qilishga qaratilgan qarorlari asosida tijorat banklarida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish jarayonlari jadallashmoqda [2]. Natijada bank xizmatlarining sifati oshib, operatsion xarajatlar kamaymoqda hamda mijozlarga xizmat ko‘rsatish tezligi ortmoqda.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA. Raqamli transformatsiya masalalari ko‘plab xorijiy va mahalliy iqtisodchi olimlar tomonidan tadqiq etilgan. Xususan, P. Rose va S. Hudgins bank xizmatlarini modernizatsiya qilishda innovatsion texnologiyalarning ahamiyatini asoslab bergan [6]. McKinsey va KPMG kompaniyalari hisobotlarida raqamli texnologiyalar banklarning rentabelligini oshirishda muhim vosita ekanligi qayd etilgan [3;4].

Tadqiqot jarayonida statistik tahlil, qiyosiy tahlil va tizimli yondashuv usullaridan foydalanildi. Ma’lumotlar bazasi sifatida O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki statistik byulletenlari, xalqaro tashkilotlar hisobotlari hamda ilmiy maqolalardan foydalanildi [1].

Markaziy bank ma’lumotlariga ko‘ra, 2024 yil holatiga mamlakatda bank kartalari soni 48 million donadan oshgan bo‘lib, bu raqamli bank xizmatlarining keng ommalashayotganligini ko‘rsatadi [1]. Shuningdek, POS-terminallar va bankomatlar soni ham yil sayin ortib bormoqda.

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Tijorat banklarida raqamli transformatsiyaning asosiy yo‘nalishlari mobil banking xizmatlarini rivojlantirish, internet banking tizimlarini takomillashtirish, sun’iy intellekt texnologiyalarini joriy etish, Big Data asosida mijozlarni segmentatsiya qilish, fintech kompaniyalari bilan hamkorlikni kengaytirish hamda masofaviy bank xizmatlarini rivojlantirishdan iborat [4]. Bugungi kunda ayniqsa mobil banking xizmatlari bank

ISSN 3030-3907

xizmatlarining eng ommabop turi hisoblanadi. Mobil ilovalar orqali mijozlar bank filialiga tashrif buyurmasdan turib pul o‘tkazmalari, kredit to‘lovlari, kommunal xizmatlar uchun to‘lovlar va boshqa bank operatsiyalarini amalga oshirish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda [5]. Bu esa bank xizmatlarining tezkorligi va qulayligini oshirib, mijozlarning vaqt va xarajatlarini tejashga xizmat qilmoqda.

Mobil banking xizmatlarining rivojlanishi natijasida banklar mijozlar bilan doimiy aloqada bo‘lish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Mobil ilovalar orqali real vaqt rejimida hisob qoldig‘ini kuzatish, xarajatlarni tahlil qilish, omonatlarni boshqarish, kredit olish uchun ariza topshirish va bank mahsulotlari bo‘yicha individual takliflarni olish imkoniyatlari yaratilmoqda. Shu bilan birga, biometrik identifikatsiya, QR-kod orqali to‘lovlar va kontaktsiz to‘lov texnologiyalarining joriy etilishi mobil banking xizmatlarining funksional imkoniyatlarini yanada kengaytirmoqda. Natijada mijozlar uchun xizmat ko‘rsatish sifati oshib, banklarning raqobatbardoshligi mustahkamlanmoqda.

Internet banking tizimlarining takomillashuvi ham bank xizmatlarini raqamlashtirishning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Korporativ va chakana mijozlar internet banking platformalari orqali moliyaviy operatsiyalarni masofadan boshqarish, hisobotlarni shakllantirish, valyuta ayirboshlash va to‘lov topshiriqlarini amalga oshirish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Bu esa bank xizmatlaridan foydalanish geografiyasini kengaytirib, xizmatlarning uzluksizligini ta’minlashga xizmat qilmoqda.

Sun’iy intellekt texnologiyalarining joriy etilishi bank faoliyatining turli yo‘nalishlarida samaradorlikni oshirish imkonini bermoqda. Xususan, sun’iy intellekt asosidagi chat-botlar va virtual yordamchilar mijozlarning murojaatlariga tezkor javob berish, bank mahsulotlari bo‘yicha maslahatlar taqdim etish hamda texnik qo‘llab-quvvatlash xizmatlarini avtomatlashtirish imkonini yaratmoqda. Bundan tashqari, sun’iy intellekt kredit risklarini baholash, firibgarlik operatsiyalarini aniqlash va mijozlarning moliyaviy xulq-atvorini tahlil qilishda ham keng qo‘llanilmoqda.

Big Data texnologiyalaridan foydalanish esa banklarga katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash va chuqur tahlil qilish imkoniyatini bermoqda. Mijozlarning tranzaksion faolligi, xarid odatlari va moliyaviy ehtiyojlari haqidagi ma’lumotlar asosida ularni segmentatsiya qilish va individual bank mahsulotlarini taklif etish mumkin bo‘lmoqda. Bu esa marketing faoliyatining samaradorligini oshirib, mijozlar ehtiyojlarini aniqroq qondirishga yordam bermoqda.

Raqamli transformatsiyaning yana bir muhim yo‘nalishi fintech kompaniyalari bilan hamkorlikni rivojlantirish hisoblanadi. Bunday hamkorlik banklarga innovatsion texnologiyalarni tezroq joriy etish, yangi mahsulot va xizmatlarni yaratish hamda mijozlarga zamonaviy moliyaviy yechimlarni taklif

ISSN 3030-3907

etish imkonini bermoqda. Ochiq bank tizimlari (Open Banking) va API texnologiyalarining rivojlanishi banklar hamda fintech kompaniyalari o‘rtasidagi integratsiyani kuchaytirib, moliyaviy xizmatlar bozorida yangi biznes modellarining shakllanishiga zamin yaratmoqda.

Raqamli texnologiyalarni tijorat banklari faoliyatiga joriy etish operatsion samaradorlikni oshirishning muhim omili hisoblanadi. Zamonaviy texnologiyalar asosida bank operatsiyalarini avtomatlashtirish natijasida xizmat ko‘rsatish jarayonlari tezlashmoqda va operatsion xarajatlar kamaymoqda [3]. McKinsey tadqiqotlariga ko‘ra, raqamli transformatsiya natijasida banklarning operatsion xarajatlari 15–20 foizgacha qisqarishi mumkin [3]. Bunday natijalarga biznes jarayonlarini optimallashtirish, hujjat aylanishini elektron shaklga o‘tkazish, inson omili bilan bog‘liq xatolarni kamaytirish va resurslardan samarali foydalanish orqali erishilmoqda. Avtomatlashtirilgan tizimlar yordamida kredit arizalarini ko‘rib chiqish, mijozlarni identifikatsiya qilish va risklarni baholash jarayonlari ancha tezlashib, xizmat ko‘rsatish sifati yaxshilanmoqda.

Shuningdek, raqamli transformatsiya banklarning daromadliligini oshirishga ham xizmat qilmoqda. Raqamli kanallar orqali yangi mijozlarni jalb qilish xarajatlari an’anaviy usullarga nisbatan past bo‘lib, xizmatlar ko‘lamining kengayishi qo‘shimcha daromad manbalarini yaratmoqda. Shu bilan birga, ma’lumotlarga asoslangan boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkoniyati banklarning strategik rivojlanish samaradorligini oshirib, bozor sharoitlariga tez moslashishiga yordam bermoqda. Natijada raqamli transformatsiya tijorat banklarining uzoq muddatli barqaror rivojlanishini ta’minlaydigan asosiy omillardan biriga aylanmoqda.

1-jadval

An’anaviy va raqamli bank xizmatlarining qiyosiy tahlili

Ko‘rsatkich	An’anaviy bank xizmatlari	Raqamli bank xizmatlari
Xizmat ko‘rsatish vaqti	Uzoq	Tezkor
Mijoz ishtiroki	Filialga tashrif talab qilinadi	Masofadan turib
Operatsion xarajatlar	Yuqori	Nisbatan past
Tranzaksiya tezligi	Sekin	Real vaqt rejimida
Xizmatlardan foydalanish	Ish vaqtida	24/7

1-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, raqamli bank xizmatlari an’anaviy bank xizmatlariga nisbatan bir qator ustunliklarga ega. Eng avvalo, xizmat ko‘rsatish vaqti nuqtayi nazaridan raqamli texnologiyalar asosida tashkil

ISSN 3030-3907

etilgan bank xizmatlari mijozlarga operatsiyalarni qisqa vaqt ichida amalga oshirish imkonini beradi. An’anaviy bank xizmatlarida esa mijozlarning filialga tashrif buyurishi, navbat kutishi va hujjatlarni rasmiylashtirishi zarur bo‘lib, bu qo‘shimcha vaqt sarfini talab qiladi.

Jadvaldan ko‘rinishicha, mijozlarning bank xizmatlaridan foydalanish shakli ham sezilarli darajada farqlanadi. An’anaviy modelda mijozlarning bank filiallariga tashrif buyurishi majburiy bo‘lsa, raqamli bank xizmatlarida barcha asosiy operatsiyalarni mobil ilovalar yoki internet banking tizimlari orqali masofadan turib amalga oshirish mumkin. Bu esa nafaqat qulaylik yaratadi, balki transport va vaqt xarajatlarini ham kamaytiradi.

Operatsion xarajatlar bo‘yicha ham raqamli xizmatlar afzallikka ega. Bank filiallarini saqlash, xodimlar sonini ko‘paytirish va qog‘oz hujjatlar bilan ishlash an’anaviy bank xizmatlarining xarajatlarini oshiradi. Raqamli platformalar esa ko‘plab jarayonlarni avtomatlashtirish hisobiga operatsion xarajatlarni kamaytirishga imkon beradi. Natijada banklar resurslardan samaraliroq foydalanib, mijozlarga nisbatan arzonroq va sifatli xizmatlar ko‘rsatishi mumkin.

Tranzaksiyalarni amalga oshirish tezligi ham muhim ko‘rsatkichlardan biri hisoblanadi. An’anaviy bank xizmatlarida ayrim operatsiyalarni bajarish uchun ma’lum vaqt talab qilinadi, ayrim hollarda mablag‘lar bir necha soat yoki kun davomida o‘tkazilishi mumkin. Raqamli bank xizmatlarida esa tranzaksiyalar real vaqt rejimida amalga oshirilib, mablag‘larning tezkor harakatlanishi ta’minlanadi. Bu ayniqsa tadbirkorlik subyektlari va biznes vakillari uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Jadvalning so‘nggi ko‘rsatkichi bo‘lgan xizmatlardan foydalanish imkoniyatlari ham raqamli transformatsiyaning afzalliklarini yaqqol namoyon etadi. An’anaviy bank xizmatlari asosan bankning ish vaqti bilan cheklangan bo‘lsa, raqamli bank xizmatlari kunning istalgan vaqtida, haftaning barcha kunlarida foydalanish imkonini beradi. Bu esa mijozlarning ehtiyojlarini yanada to‘liq qondirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, 1-jadval tahlili raqamli bank xizmatlari mijozlar uchun qulaylik, tezkorlik va foydalanish imkoniyatlari jihatidan an’anaviy xizmatlardan ustun ekanligini ko‘rsatadi. Shu sababli dunyo mamlakatlari bank tizimlarida raqamli transformatsiya jarayonlari tobora jadallashib bormoqda.

Raqamli transformatsiya banklarga xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish bilan birga yangi mijozlarni jalb qilish imkoniyatini ham yaratmoqda [4]. Raqamli kanallar orqali xizmatlarning soddalashuvi va qulaylashuvi natijasida banklar ilgari moliyaviy xizmatlardan foydalanmagan aholi qatlamlarini ham qamrab olish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Ayniqsa, yoshlar, talabalar va kichik biznes

ISSN 3030-3907

subyektlari orasida mobil va internet banking xizmatlariga bo‘lgan talabning ortishi banklarning mijozlar bazasini kengaytirishga xizmat qilmoqda.

Raqamli xizmatlarning rivojlanishi mijozlar tajribasini sezilarli darajada yaxshilamoqda. Elektron hamyonlar, mobil banking ilovalari va internet banking xizmatlari orqali aholining bank xizmatlaridan foydalanish imkoniyatlari kengaymoqda. Mijozlar o‘z mablag‘larini boshqarish, to‘lovlarni amalga oshirish, omonatlarni ochish va kreditlar bo‘yicha ma’lumotlarni olish kabi xizmatlardan masofadan turib foydalanish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Natijada xizmat ko‘rsatish sifati oshib, mijozlarning bank tizimiga bo‘lgan ishonchi mustahkamlanmoqda.

Ayniqsa, qishloq hududlarida yashovchi aholining masofaviy bank xizmatlaridan foydalanish imkoniyatlari ortib bormoqda [5]. Ilgari bank filiallari yetarli darajada mavjud bo‘lmagan hududlarda ham internet va mobil aloqa infratuzilmasining rivojlanishi hisobiga moliyaviy xizmatlardan foydalanish imkoniyati kengaymoqda. Bu esa moliyaviy xizmatlarning hududiy qamrovini oshirib, aholi va tadbirkorlik subyektlarining bank tizimiga integratsiyalashuviga yordam bermoqda.

Raqamli transformatsiyaning muhim natijalaridan biri moliyaviy inklyuziya darajasining oshishidir. Masofaviy bank xizmatlari tufayli aholi va biznes vakillari bank hisobvaraqlarini ochish, to‘lovlarni amalga oshirish hamda kredit va omonat xizmatlaridan foydalanish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda. Bu esa iqtisodiyotda naqd pulsiz hisob-kitoblar ulushining ortishiga va moliyaviy tizimning yanada shaffof faoliyat yuritishiga xizmat qilmoqda.

Visa kompaniyasi tadqiqotlariga ko‘ra, kichik biznes vakillarining 65 foizi raqamli to‘lovlardan foydalangandan so‘ng daromadlari oshganini qayd etgan [5]. Ushbu natija raqamli moliyaviy texnologiyalarning biznes faoliyatiga ijobiy ta’sir ko‘rsatayotganini tasdiqlaydi. Raqamli to‘lov tizimlari hisob-kitoblarni tezlashtirib, mijozlarga qulay to‘lov usullarini taqdim etadi hamda savdo hajmining oshishiga yordam beradi. Shuningdek, elektron to‘lovlar biznes jarayonlarining shaffofligini ta’minlab, moliyaviy boshqaruv samaradorligini oshiradi. Shu sababli raqamli transformatsiya nafaqat banklar faoliyatini modernizatsiya qilish, balki mamlakat iqtisodiyotining barqaror rivojlanishiga xizmat qiluvchi muhim omillardan biri sifatida namoyon bo‘lmoqda.

2-jadval

Raqamli transformatsiyaning bank samaradorligiga ta’siri

Yo‘nalish	Natija
Mobil banking	Mijozlar sonining oshishi

ISSN 3030-3907

Sun’iy intellekt	Risk tahlilining yaxshilanishi
Avtomatlashtirish	Xarajatlarning kamayishi
Big Data	Shaxsiylashtirilgan xizmatlar
Onlayn to‘lovlar	Operatsiyalar tezligining oshishi

Raqamli bank xizmatlari rivojlanishi bilan bir qatorda kiberxavfsizlik masalalari ham dolzarb ahamiyat kasb etmoqda [2]. Elektron firibgarlik, noqonuniy tranzaksiyalar va ma’lumotlar o‘g‘irlanishi bank tizimining asosiy xavflaridan biri hisoblanadi. Shu sababli tijorat banklari tomonidan biometrik identifikatsiya, ko‘p faktorli autentifikatsiya, sun’iy intellekt asosidagi monitoring tizimlari hamda zamonaviy shifrlash texnologiyalari keng joriy etilmoqda [4].

XULOSA. Tijorat banklarida raqamli transformatsiya bank xizmatlari samaradorligini oshirishning muhim omili hisoblanadi. Raqamli texnologiyalarni joriy etish natijasida bank operatsiyalari tezlashmoqda, operatsion xarajatlar kamaymoqda va mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifati yaxshilanmoqda [3].

Kelgusida bank tizimida sun’iy intellekt, Big Data va fintech texnologiyalarini keng joriy etish, shuningdek, kiberxavfsizlik tizimini takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Bu esa bank sektorining raqobatbardoshligini oshirish va moliyaviy xizmatlarning ommaviyligini ta’minlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki. *Bank tizimi bo‘yicha statistik byulleten*. Toshkent, 2024.
2. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki
3. McKinsey & Company. *Transforming Banks’ IT Productivity*, 2019.
4. KPMG. *Global Digital Banking Trends Report*, 2025.
5. Visa. *Unlocking the Benefits of Digital Payments: Insights from Uzbekistan*, 2023.
6. Rose P., Hudgins S. *Bank Management and Financial Services*. McGraw-Hill, 2021.

ISSN 3030-3907

TAKLIF ETILAYOTGAN MASOFA–TRANSFORMATSIYA ASOSIDAGI MARKERLASH

Sadullaeva Shahlo Azimbaevna
Toshkent shahridagi Belarus-O‘zbekiston qo‘shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikasiyalar instituti
Rayimqulov O‘ral Mavlonivich
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada ultratovush qurilmasidan olingan dinamik tasvirlarda masofa–transformatsiya asosida markerlarni avtomatik ajratish yondashuvi ilmiy-amaliy jihatdan tahlil qilinadi. Taklif etilayotgan usul binar segmentatsiya maskasi ustida masofa xaritasini qurish, obyekt ichidagi lokal maksimumlarni aniqlash hamda τ-koeffitsient asosida ishonchli marker hududlarni ajratishga tayanadi. Maqolada masofa xaritasining matematik modeli, marker sirtining relyef-geometrik talqini, τ qiymatining markerlar soni va segmentatsiya aniqligiga ta’siri, kichik obyektlar, kontur notekisligi va spekl shovqin sharoitida markerlarning barqarorligi ko‘rib chiqiladi. Shuningdek, markerlarni watershed segmentatsiyasi, morfologik filtrlash va geodezik masofa tahlili bilan integratsiya qilish imkoniyatlari yoritiladi. Tadqiqot natijalari masofa–transformatsiya asosidagi markerlash UZI tasvirlarida obyektlarning ichki markaziy qismlarini ajratish, ortiqcha segmentatsiyani kamaytirish va geometrik modellashtirish uchun ishonchli tayanch yaratishini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: masofa–transformatsiya, markerlash, UZI tasviri, masofa xaritasi, lokal maksimum, τ-koeffitsient, watershed, spekl shovqin, morfologik filtr, geodezik masofa.

Аннотация. В статье рассматривается предлагаемый подход к автоматическому выделению маркеров на основе дистанционного преобразования в динамических ультразвуковых изображениях. Метод основан на построении карты расстояний по бинарной маске объекта, выявлении локальных максимумов внутри области и выделении надежных маркерных зон с использованием порогового коэффициента τ. Проанализированы математическая модель карты расстояний, рельефно-геометрическая интерпретация маркерной поверхности, влияние значения τ на количество маркеров и точность сегментации, а также устойчивость метода при наличии спекл-шума, малых объектов и неровных контуров. Показано, что интеграция данного подхода с watershed-сегментацией, морфологической фильтрацией и геодезическим анализом позволяет повысить устойчивость автоматической сегментации ультразвуковых изображений.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: дистанционное преобразование, маркирование, ультразвуковое изображение, карта расстояний, локальный максимум, коэффициент τ, watershed, спекл-шум, морфологический фильтр, геодезическое расстояние.

Abstract. This paper analyzes a proposed distance transformation-based marking approach for dynamic ultrasound image processing. The method constructs a distance map over a binary object mask, detects internal local maxima, and extracts reliable marker regions using the threshold coefficient τ. The article discusses the mathematical model of the distance map, the relief-geometric interpretation of marker surfaces, the influence of τ on the number of markers and segmentation accuracy, and the stability of markers under speckle noise, small object size, and irregular boundaries. The integration of the proposed marking scheme with watershed segmentation, morphological filtering, and geodesic distance analysis is also considered. The results show that distance transformation-based marking provides a stable basis for extracting central object regions, reducing over-segmentation, and supporting geometric modeling in ultrasound image analysis.

Keywords: distance transformation, marking, ultrasound image, distance map, local maximum, τ coefficient, watershed, speckle noise, morphological filter, geodesic distance.

1. KIRISH.

Tibbiy diagnostikada ultratovush tekshiruvi real vaqt rejimida axborot berishi, invaziv bo‘lmagani va klinik amaliyotda keng qo‘llanishi bilan ajralib turadi. Biroq ultratovush tasvirlari spekl shovqin, past kontrast, chegaralarning noaniqligi, akustik soya va reverberatsiya kabi omillar sabab avtomatik qayta ishlash uchun murakkab obyekt hisoblanadi [16], [17]. Shu sababli UZI tasvirlarida obyekt va fon sohalarini ishonchli ajratish, obyektning ichki markaziy qismini topish hamda segmentatsiya uchun barqaror markerlarni shakllantirish dolzarb masalalardan biridir.

Markerlash tibbiy tasvirlarni segmentatsiya qilishda muhim oraliq bosqich bo‘lib, keyingi watershed, region–growing, morfologik rekonstruksiya yoki gibrid algoritmlar uchun boshlang‘ich tayanch nuqtalarni beradi. Agar markerlar noto‘g‘ri tanlansa, segmentatsiya obyekt chegarasidan tashqariga chiqib ketishi, bir obyekt bir nechta qismga bo‘linishi yoki bir nechta qo‘shni obyekt bitta segment sifatida qolib ketishi mumkin [8], [12], [21].

Masofa–transformatsiya obyekt ichidagi har bir pikselning eng yaqin kontur yoki fon pikseligacha bo‘lgan masofasini hisoblashga asoslanadi. Ushbu xarita obyektning ichki tuzilishini relyef sirt sifatida ifodalaydi: konturga yaqin nuqtalar past qiymatli, markaziy va qalin qismlar esa yuqori qiymatli cho‘qqilar sifatida namoyon bo‘ladi [2], [3], [5]. Shuning uchun masofa xaritasidagi yuqori qiymatli

ISSN 3030-3907

hududlarni marker sifatida tanlash obyektning eng ishonchli ichki qismiga tayanish imkonini beradi.

Mazkur maqolaning maqsadi taklif etilayotgan masofa–transformatsiya asosidagi markerlash modelini matematik, algoritmik va geometrik nuqtayi nazardan asoslashdan iborat. Maqolada τ-koeffitsient asosida markerlar ajratish qoidasi, lokal maksimumlar sharti, marker sirtining morfologik relyef bilan bog‘liqligi va geodezik masofa orqali ichki struktura bahosi ko‘rib chiqiladi. Bu yondashuv dinamik UZI tasvirlarida barqaror segmentatsiya va geometrik parametrlarni hisoblash uchun metodologik asos yaratadi [13], [14], [15].

Diskret UZI tasviri umumiy holda quyidagi intensivlik funksiyasi sifatida qaraladi:

$$I_t: \Omega \subset \mathbb{Z}^2 \rightarrow 0,1,\dots,L-1, \quad (1)$$

bu yerda I_t – t-kadrdagi intensivlik tasviri, Ω – piksellar sohasi, L – kulrang darajalar soni. Ushbu funksiya asosida binar maska, masofa xaritasi va markerlar to‘plami ketma-ket shakllantiriladi.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI.

Masofa transformatsiyasi g‘oyasi raqamli tasvirlarda piksellar orasidagi fazoviy yaqinlikni hisoblash masalasidan kelib chiqqan. Rosenfeld va Pfaltz tomonidan taklif etilgan ketma-ket operatsiyalar raqamli tasvirlarda masofa xaritalarini qurishning dastlabki nazariy asoslarini yaratgan [1]. Keyinchalik Borgefors Evklid, shahar-blok va shaxmat taxtasi masofalarini yaqinlashtiruvchi distance transform algoritmlarini tizimli tahlil qilib, masofa xaritalarining segmentatsiya va shakl tahlilidagi ahamiyatini ko‘rsatgan [2].

Danielsson, Saito–Toriwaki va Maurer kabi mualliflar aniq Evklid masofa transformatsiyasini tez hisoblash algoritmlarini ishlab chiqqan. Ayniqsa, Maurer va hammualliflar tomonidan taklif etilgan chiziqli vaqt algoritmi n-o‘lchamli binar tasvirlarda masofa xaritasini samarali olish imkonini bergan [3], [4], [5]. Felzenszwalb va Huttenlocher esa namunalangan funksiyalar uchun masofa transformatsiyasining umumiy hisoblash modelini taklif qilgan bo‘lib, bu yondashuv kompyuter ko‘rishi va optimallashtirish masalalarida keng qo‘llanadi [6].

Morfologik tasvir tahlili doirasida masofa xaritasi obyektning ichki yadro qismini, skeletini va markerlarini topishda alohida ahamiyatga ega. Serra va Soille ishlarida matematik morfologiya, eroziya, dilatatsiya, morfologik rekonstruksiya va H-maximum filtri kabi amallar obyekt relyefini tahlil qilishning nazariy asosi sifatida yoritilgan [11], [12]. Masofa xaritasidagi lokal maksimumlar obyekt markazlari yoki segmentatsiya urug‘lari sifatida talqin qilinadi.

ISSN 3030-3907

Watershed segmentatsiyasi bilan masofa transformatsiyasining bog‘lanishi ilmiy adabiyotlarda keng qo‘llanilgan. Beucher va Lantuejoul watershed g‘oyasini kontur aniqlashda qo‘llagan bo‘lsa, Vincent va Soille watershedni raqamli fazodagi topografik jarayon sifatida formal ifodalagan [8], [10]. Bunday yondashuvda masofa xaritasi relyef sifatida qaraladi, lokal maksimumlar marker bo‘ladi, markerlardan tarqalish esa obyektlarni bir-biridan ajratishga xizmat qiladi [9].

UZI tasvirlarini qayta ishlashda masofa–transformatsiyadan foydalanish spekl shovqin va past kontrast sabab yanada muhim ahamiyat kasb etadi. Noble va Boukerroui ultratovush tasvirlarini segmentatsiya qilish bo‘yicha sharhida UZI tasvirlari uchun yagona universal usul yo‘qligini, segmentatsiya natijasi oldindan filtrlash, marker tanlash va geometrik cheklovlarga bog‘liqligini ta’kidlaydi [16]. Yu va Acton tomonidan taklif etilgan speklni kamaytiruvchi anisotrop diffuziya hamda Perona–Malik diffuziyasi masofa xaritasi qurilishidan oldin shovqinni pasaytirish uchun foydali hisoblanadi [18], [19].

So‘nggi yillarda chuqur o‘qitish modellari tibbiy tasvir segmentatsiyasida yuqori natijalar bermoqda [25]. Shunga qaramay, masofa–transformatsiya asosidagi markerlash izohlanadigan, nazorat qilinadigan va kam ma’lumotli sharoitda ham ishlatiladigan algoritmik bosqich sifatida ahamiyatini saqlab qolmoqda. U neyron tarmoq natijasini post-processing qilish, noto‘g‘ri maskalarni geometrik tekshirish va watershed kabi klassik segmentatsiya usullariga ishonchli marker berish uchun qo‘llanishi mumkin [20], [21], [24].

3. METODOLOGIYA.

Tadqiqot metodologiyasi UZI tasvirida qiziqtirgan soha – ROI ni ajratish, dastlabki binar maskani shakllantirish, masofa–transformatsiya xaritasini hisoblash, lokal maksimumlarni aniqlash va τ-koeffitsient asosida marker hududlarni tanlash bosqichlaridan iborat. Kirish ma’lumoti sifatida har bir kadr I_t tasviri olinadi va oldindan silliqlash yoki kontrastni oshirish amallari bajariladi [13], [18].

3.1. BINAR MASKANI SHAKLLANTIRISH.

Masofa xaritasini qurishdan oldin obyekt va fon sohalari ajratiladi. Eng sodda holatda bu jarayon bo‘sag‘alash orqali bajariladi. Agar I_t(p) piksel intensivligi tanlangan T_t bo‘sag‘adan yuqori yoki past bo‘lishiga qarab obyekt sinfiga kiritilsa, binar maska quyidagicha ifodalanadi [23]:

$$B_t(p) = 1, agar I_t(p) \geq T_t; 0, aksholda, p \in \Omega. \quad (2)$$

Bu yerda $B_t(p) = 1$ bo‘lgan piksellar obyekt sohasi, $B_t(p) = 0$ bo‘lgan piksellar esa fon sohasi sifatida qaraladi. UZI tasvirlarida obyektning yorqin yoki qoramtir ko‘rinishi klinik holatga bog‘liq bo‘lgani sabab bo‘sag‘alash sharti mos ravishda o‘zgartirilishi mumkin. Binar maska hosil qilingach, kichik shovqinli

ISSN 3030-3907

sohalarni olib tashlash, teshiklarni to‘ldirish va morfologik yopish amallari bajariladi [11], [12].

3.2. MASOFA XARITASINI HISOBLASH.

Binar maska asosida har bir obyekt pikseli uchun eng yaqin kontur yoki fon pikseligacha bo‘lgan masofa hisoblanadi. Obyekt chegarasi ∂B_t bilan belgilanadi. Masofa xaritasi quyidagicha aniqlanadi [2], [5]:

$$D_t(p) = min_{q\in\partial B_t} d_E(p,q), p \in B_t. \quad (3)$$

Evklid masofasi ikki piksel koordinatalari orasidagi to‘g‘ri chiziqli masofani ifodalaydi:

$$d_E(p,q) = \sqrt{\left((x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2\right)}. \quad (4)$$

D_t(p) qiymati qanchalik katta bo‘lsa, p piksel obyekt konturidan shunchalik uzoqda joylashgan bo‘ladi. Demak, obyekt markaziga yaqin nuqtalar yuqori masofa qiymatiga ega bo‘ladi. Masofa xaritasining maksimal qiymati quyidagicha topiladi:

$$D_max = max_{p\in B_t} D_t(p). \quad (5)$$

D_max obyektning eng katta ichki radiusiga mos keladi. Agar obyekt doira yoki unga yaqin shaklda bo‘lsa, D_max obyekt markazidagi radiusni bildiradi. Ushbu xususiyat masofa–transformatsiyani nafaqat markerlash, balki obyekt radiusi, diametri va ichki strukturasini baholashda ham foydali qiladi [3], [7], [14].

3.3. τ-KOEFFITSIENT ASOSIDA MARKER AJRATISH.

Taklif etilayotgan yondashuvning asosiy bosqichi masofa xaritasining yuqori qiymatli qismlarini marker sifatida tanlashdir. Marker nuqtalar to‘plami quyidagicha aniqlanadi:

$$M_\tau = p \in B_t : D_t(p) \geq \tau \cdot D_max, 0 < \tau < 1. \quad (6)$$

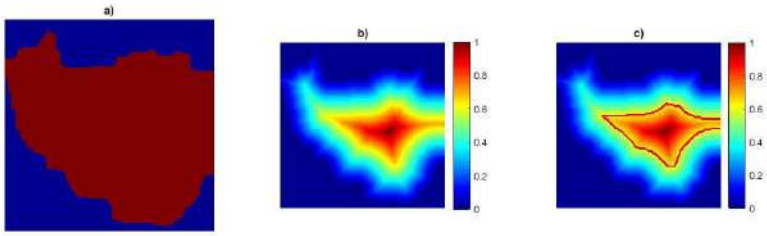
Bu formulada τ masofa xaritasining maksimal qiymatiga nisbatan berilgan chegaraviy koeffitsientdir. Masalan, τ=0.6 bo‘lsa, D_max ning 60 foizidan yuqori masofaga ega bo‘lgan barcha nuqtalar marker hudud sifatida ajratiladi. Natijada obyektning konturga yaqin, shovqin ta’sirida notekis bo‘lgan qismlari emas, balki markaziy va ishonchli yadro sohasi tanlanadi.

Lokal maksimumlar sharti masofa xaritasidagi cho‘qqilarni aniqlash imkonini beradi. 8-qo‘shnichilik uchun p nuqta lokal maksimum bo‘lishi quyidagicha yoziladi [12]:

$$p \in LM(D_t) \Leftrightarrow D_t(p) \geq D_t(q), \forall q \in N^8(p). \quad (7)$$

ISSN 3030-3907

Bunday lokal maksimumlar obyektning qalin, markaziy yoki morfologik yadro qismlariga mos keladi. Agar tasvirda bir nechta tutash obyekt mavjud bo‘lsa, masofa xaritasida har bir obyekt uchun alohida cho‘qqi hosil bo‘ladi va ushbu cho‘qqilar watershed segmentatsiyasi uchun marker sifatida xizmat qiladi [8], [9].



1-rasm. Masofa–transformatsiya asosida marker hududni ajratish: a) ROI ichida bo‘sag‘alash orqali ajratilgan binar obyekt; b) ajratilgan obyektning masofa–transformatsiya xaritasi; c) τ=0.6 bo‘yicha ajratilgan marker hudud.

3.4. LOKAL NORMALLASHTIRISH VA KICHIK OBYEKTLAR.

Global D_max qiymati katta obyektlar uchun qulay bo‘lsada, kichik obyektlarda marker yo‘qolib qolishi mumkin. Chunki kichik obyektning maksimal masofasi katta obyektga nisbatan ancha kichik bo‘ladi. Shu sababli har bir bog‘langan komponent C_k uchun masofa xaritasini lokal normallashtirish maqsadga muvofiq:

$$M_{\tau,k} = p \in C_k : D_k(p) \geq \tau \cdot max_{r \in C_k} D_k(r). \quad (8)$$

Ushbu ifoda har bir obyektning o‘z ichki radiusiga nisbatan marker ajratishni ta’minlaydi. Natijada kichik obyektlar ham alohida markerga ega bo‘ladi. Bu ayniqsa UZI tasvirlarida bir kadr ichida turli o‘lchamdagi tuzilmalar mavjud bo‘lgan holatlarda muhimdir [16], [21].

3.5. GEODEZIK MASOFA ASOSIDA MARKER TA’SIR SOHASI.

Markerlar aniqlangandan so‘ng obyektning ichki strukturasi geodezik masofa asosida baholanishi mumkin. Agar m_i va m_j markerlar to‘plami berilgan bo‘lsa, p pikselning qaysi markerga yaqinligini quyidagi ta’sir sohasi orqali ifodalash mumkin [12], [24]:

$$R_i = p \in B_t : \rho_g(p, m_i) \leq \rho_g(p, m_j), \forall j \neq i, \quad (9)$$

bu yerda ρ_g – obyekt ichida yo‘l bo‘ylab hisoblanadigan geodezik masofa. Ushbu model obyektni markerlar ta’sir doiralari bo‘yicha ichki qismlarga ajratadi. Agar marker obyekt markaziga yaqin bo‘lsa, uning konturgacha bo‘lgan geodezik masofalari turli yo‘nalishlarda nisbatan muvozanatli bo‘ladi; agar marker chekka

ISSN 3030-3907

qismga siljigan bo‘lsa, geodezik masofalar nomutanosib bo‘ladi. Bu xususiyat markerning geometrik barqarorligini baholashga yordam beradi.

4. MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Taklif etilayotgan masofa–transformatsiya asosidagi markerlash usuli UZI tasvirlarida obyektning eng markaziy va eng ishonchli qismini ajratishi bilan ahamiyatlidir. Oddiy bo‘sag‘alash yoki gradientga asoslangan usullar ko‘pincha konturdagi shovqin va past kontrastdan ta’sirlanadi. Masofa xaritasi esa obyekt ichidagi umumiy geometrik tuzilishga tayanadi, shu sababli konturdagi mayda notekisliklar marker hududga bevosita kuchli ta’sir ko‘rsatmaydi [2], [16], [18].

τ-koeffitsient markerlar soni va segmentatsiya sifatiga bevosita ta’sir qiladi. τ juda kichik bo‘lsa, masofa xaritasidagi past qiymatli va shovqin sabab hosil bo‘lgan kichik ko‘tarilishlar ham markerga aylanadi. Bu over-segmentation holatini keltirib chiqarishi mumkin. Aksincha, τ juda katta tanlansa, faqat eng yirik cho‘qqilar marker sifatida qoladi va kichik obyektlar e’tibordan chetda qoladi. Shuning uchun τ qiymatini o‘rtacha oraliqda tanlash zarur [7], [12].

1-jadval

Bo‘sag‘a qiymati τ ning markerlar soni va segmentatsiya aniqligiga ta’siri

τ qiymati	Markerlar soni	Segmentatsiya aniqligi (%)
0.2	8 (kam)	85 – under-segmentation, ba’zi obyektlar birikkan
0.5	10 (to‘g‘ri)	95 – optimal, har bir obyekt uchun 1 marker
0.7	11 (ortiqcha)	90 – over-segmentation, ayrim obyektlar ikkiga bo‘lingan
0.9	9 (kam)	80 – under-segmentation, kichik obyektlar markerlanmagan

1-jadvaldan ko‘rinadiki, τ ning noto‘g‘ri tanlanishi markerlar sonini real obyektlar soniga nomutanosib qilib yuboradi. τ=0.5 atrofidagi qiymatlarda markerlar soni obyektlar soniga yaqinlashadi va segmentatsiya aniqligi yuqori bo‘ladi. Biroq bu qiymat universal emas; u tasvir kontrasti, obyekt o‘lchami, shovqin darajasi va ROI tanlanishiga bog‘liq holda moslashtirilishi kerak.

Obyekt radiusi masofa xaritasining maksimal qiymatini belgilaydi. Katta obyektlarda D_max yuqori bo‘lib, τ bo‘yicha ajratilgan marker hudud kengroq chiqadi. Kichik obyektlarda esa D_max kichik bo‘lgani uchun global τ qo‘llanganda marker yo‘qolib qolishi mumkin. Shu sababli lokal normallashtirish

ISSN 3030-3907

yoki har bir bog‘langan komponent bo‘yicha alohida D_max hisoblash taklif etiladi. Bu yondashuv bir kadrda turli o‘lchamdagi organ yoki patologik tuzilmalarni barqaror markerlashga imkon beradi [5], [16].

Kontur notekisligi marker sirtining shakliga bevosita ta’sir qiladi. Agar obyekt cho‘ziq, botiq yoki ikki qalin qismdan iborat bo‘lsa, masofa xaritasida bir nechta lokal maksimum hosil bo‘ladi. Past τ qiymatida ushbu maksimumlar yagona marker sirtiga birlashishi mumkin; yuqori τ qiymatida esa bir obyekt ichida bir nechta marker paydo bo‘ladi. Bunday holatda H-maximum filtri va morfologik silliqlash yordamida ahamiyatsiz cho‘qqilar bostiriladi, asosiy markerlar esa saqlanadi [11], [12].

Donador shovqin mavjud sharoitda masofa–transformatsiya asosidagi markerlashning afzalligi shundaki, u konturdagi mayda notekisliklarga emas, obyektning ichki masofa qiymatiga tayanadi. Spekl shovqin chegarani parchalashi yoki lokal gradientlarni kuchaytirishi mumkin, lekin obyektning yadro qismidagi masofa sirtini to‘liq buzib yubormaydi. Shu bois markerlar obyekt markazi atrofida nisbatan barqaror saqlanadi [18], [19].

Marker sirtini morfologik relyef bilan taqqoslaganda, u obyektning erozion yadrosiga mos keladi. Masalan, morfologik eroziya obyektni ma’lum radiusga kichraytirganda konturga yaqin qismlar olib tashlanadi va markaziy yadro qoladi. Masofa xaritasida τ bo‘yicha kesib olingan marker hudud ham aynan shu markaziy yadroga yaqin bo‘ladi. Demak, markerlash jarayoni obyektning morfologik barqaror qismini aniqlash sifatida talqin qilinadi [11], [12], [14].

Taklif etilayotgan algoritmni watershed bilan integratsiya qilish segmentatsiya natijasini yanada aniqroq qiladi. Bunda masofa xaritasidagi markerlar “ishonchli old fon” sifatida olinadi, fon markerlari esa obyekt tashqi sohasi asosida belgilanadi. Keyin watershed algoritmi relyefdagi past chiziqlar bo‘yicha obyekt chegaralarini aniqlaydi. Markerlar oldindan nazorat qilingani uchun shovqin ta’siridagi ortiqcha cho‘qqilar segmentatsiya jarayonini kamroq buzadi [8], [9], [10].

Dinamik UZI videolarida markerlar nafaqat bitta kadrda, balki kadrlar ketma-ketligida ham barqaror bo‘lishi kerak. Agar har bir kadrda marker koordinatalari keskin sakrasa, keyingi optik oqim, kontur kuzatuvi yoki geometrik parametrlarni baholash xatolashadi. Shuning uchun t-kadrdagi marker markazi oldingi kadrdagi marker markazi bilan solishtiriladi va vaqt bo‘yicha silliqlash qo‘llanishi mumkin [15], [17]. Marker barqarorligini baholash uchun quyidagi sifat funksiyasi kiritiladi:

$$Q(\tau) = \alpha \cdot Acc(\tau) + (1 - \alpha) \cdot S(\tau), \tau * = argmaxQ(\tau). \quad (10)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda Acc(τ) – segmentatsiya aniqligi, S(τ) – markerlarning vaqt bo‘yicha barqarorlik ko‘rsatkichi, α – ularning vaznini belgilovchi parametr. Ushbu mezon τ ning optimal qiymatini faqat bitta kadr bo‘yicha emas, balki butun dinamik ketma-ketlik bo‘yicha tanlashga imkon beradi.

Umuman olganda, taklif etilayotgan masofa–transformatsiya asosidagi markerlash UZI tasvirlarida uchta muhim vazifani bajaradi: birinchidan, obyektning markaziy ishonchli qismini ajratadi; ikkinchidan, watershed yoki boshqa segmentatsiya algoritmlariga nazoratli boshlang‘ich marker beradi; uchinchidan, obyektning ichki radiusi, simmetriyasi, cho‘ziqligi va morfologik yadro xususiyatlarini tahlil qilish uchun geometrik asos yaratadi. Shu jihatlari bilan u sof intensivlikka asoslangan markerlashdan ko‘ra barqarorroq va izohlanadigan yondashuv hisoblanadi.

5. XULOSA.

Birinchidan, masofa–transformatsiya asosidagi markerlash UZI tasvirida obyektning konturga yaqin shovqinli qismlarini emas, balki ichki markaziy va geometrik jihatdan barqaror hududlarini tanlashga imkon beradi. Bu segmentatsiya jarayonida markerlarning ishonchliligini oshiradi.

Ikkinchidan, τ-koeffitsient markerlar soni va segmentatsiya aniqligini boshqaruvchi asosiy parametr hisoblanadi. Juda kichik τ over-segmentationga, juda katta τ esa under-segmentationga olib kelishi mumkin. Shu sababli τ ni obyekt o‘lchami, shovqin darajasi va masofa xaritasining lokal maksimumlariga mos holda tanlash zarur.

Uchinchidan, kichik obyektlar va turli o‘lchamdagi tuzilmalar mavjud bo‘lgan holatda global D_max emas, balki har bir bog‘langan komponent bo‘yicha lokal normallashtirilgan masofa xaritasidan foydalanish maqsadga muvofiq. Bu yondashuv kichik obyektlarning markerlanmay qolish xavfini kamaytiradi.

To‘rtinchidan, marker sirtini morfologik relyef, erozion yadro va geodezik masofa nuqtayi nazaridan tahlil qilish obyekt shakli, simmetriyasi, ichki radiusi va orientatsiyasi haqida qo‘shimcha geometrik ma’lumot beradi. Bu esa markerlashni oddiy yordamchi bosqich emas, balki obyektni geometrik modellashtirish vositasi sifatida qarash imkonini beradi.

Beshinchidan, taklif etilayotgan usul watershed segmentatsiyasi, morfologik filtrlash, optik oqim va sun’iy intellektga asoslangan post-processing bosqichlari bilan integratsiya qilinsa, dinamik ultratovush tasvirlarida barqaror, izohlanadigan va amaliy jihatdan samarali segmentatsiya tizimini yaratish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rosenfeld A., Pfaltz J. L. Sequential operations in digital picture processing. Journal of the ACM, 1966, Vol. 13, No. 4, pp. 471–494.

ISSN 3030-3907

2. Borgefors G. Distance transformations in digital images. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986, Vol. 34, No. 3, pp. 344–371.
3. Danielsson P. E. Euclidean distance mapping. Computer Graphics and Image Processing, 1980, Vol. 14, No. 3, pp. 227–248.
4. Saito T., Toriwaki J. New algorithms for Euclidean distance transformation of an n-dimensional digitized picture with applications. Pattern Recognition, 1994, Vol. 27, No. 11, pp. 1551–1565.
5. Maurer C. R., Qi R., Raghavan V. A linear time algorithm for computing exact Euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 265–270.
6. Felzenszwalb P. F., Huttenlocher D. P. Distance transforms of sampled functions. Theory of Computing, 2012, Vol. 8, No. 1, pp. 415–428.
7. Cuisenaire O. Distance transformations: Fast algorithms and applications to medical image processing. PhD thesis, Université catholique de Louvain, 1999.
8. Vincent L., Soille P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, Vol. 13, No. 6, pp. 583–598.
9. Meyer F. Topographic distance and watershed lines. Signal Processing, 1994, Vol. 38, No. 1, pp. 113–125.
10. Beucher S., Lantuejoul C. Use of watersheds in contour detection. International Workshop on Image Processing, 1979.
11. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press, 1982.
12. Soille P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. 2nd ed. Springer, 2003.
13. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. 4th ed. Pearson, 2018.
14. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. 4th ed. Cengage Learning, 2014.
15. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Springer, 2022.
16. Noble J. A., Boukerroui D. Ultrasound image segmentation: A survey. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, Vol. 25, No. 8, pp. 987–1010.
17. Szabo T. L. Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out. 2nd ed. Academic Press, 2014.
18. Yu Y., Acton S. T. Speckle reducing anisotropic diffusion. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, Vol. 11, No. 11, pp. 1260–1270.
19. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, Vol. 12, No. 7, pp. 629–639.

ISSN 3030-3907

20. Haralick R. M., Shapiro L. G. Image segmentation techniques. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, Vol. 29, No. 1, pp. 100–132.
21. Pham D. L., Xu C., Prince J. L. Current methods in medical image segmentation. Annual Review of Biomedical Engineering, 2000, Vol. 2, pp. 315–337.
22. Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, Vol. 8, No. 6, pp. 679–698.
23. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, Vol. 9, No. 1, pp. 62–66.
24. Boykov Y., Jolly M. P. Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in N-D images. Proceedings of ICCV, 2001, pp. 105–112.
25. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. MICCAI, 2015, pp. 234–241.

ISSN 3030-3907

TUBEKTOMIYA AMALIYOTI O‘TKAZILGAN AYOLLARDA KOMPLEKS REABILITATSIYA YONDASHUVINING SAMARADORLIGI

Tugizova Dildora Ismoilovna
Samarqand Tibbiyot Universiteti PhD 3-son akusherlik va ginekologiya kafedrasi assistenti
Fayzullayeva Munira Alisher qizi
Samarqand Tibbiyot Universiteti 3-son akusherlik va ginekologiya kafedrasi 2-kurs magistratura rezidenti

Annotatsiya. Tubektomiya ginekologik amaliyotda ko‘p qo‘llaniladigan jarrohlik aralashuvlaridan biri bo‘lib, asosan naycha homiladorligi, surunkali yallig‘lanish jarayonlari va boshqa shoshilinch holatlarda bajariladi. Mazkur operatsiya ayollarning reproduktiv tizimiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi bilan birga, ularning psixoemotsional holatida ham muayyan o‘zgarishlarga sabab bo‘lishi mumkin. Shu bois tubektomiyadan keyingi davrda ayollarning reproduktiv salomatligi va psixoemotsional holatini kompleks baholash dolzarb hisoblanadi [6]. Tadqiqotning maqsadi tubektomiya o‘tkazilgan ayollarda reproduktiv va psixoemotsional holatni klinik, laborator hamda instrumental tekshiruvlar asosida baholashdan iborat. Tadqiqotda tubektomiya amaliyoti o‘tkazilgan ayollar ishtirok etib, ularda umumiy qon tahlili, koagulogramma, qon biokimyoviy tahlili, xlamidiyaga qarshi serologik tekshiruv, uretra, qin va bachadon bo‘ynidan uch nuqtali surtma, ultratovush tekshiruvi hamda gisterosalpingografiya o‘tkazildi. Psixoemotsional holatni aniqlash uchun maxsus validatsiyalangan psixologik shkala qo‘llanildi. Olingan natijalar tubektomiya o‘tkazilgan ayollarda ayrim laborator va instrumental ko‘rsatkichlarda o‘zgarishlar kuzatilishini, shuningdek, tashvish va depressiv holatlarning uchrash chastotasi ortishini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari tubektomiyadan keyingi davrda ayollarda kompleks reabilitatsiya chora-tadbirlarini qo‘llash zarurligini asoslaydi. Mazkur tadqiqot natijalari tubektomiya o‘tkazilgan ayollarni kuzatish, baholash va reabilitatsiya qilish bo‘yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: tubektomiya, reproduktiv salomatlik, psixoemotsional holat, reabilitatsiya, ayollar salomatligi.

Аннотация. Тубэктомия является одним из широко применяемых хирургических вмешательств в гинекологической практике и в основном выполняется при трубной беременности, хронических воспалительных процессах и других неотложных состояниях. Данная операция оказывает непосредственное влияние на репродуктивную систему женщин, а также может приводить к изменениям их психоэмоционального состояния. В связи с этим комплексная оценка репродуктивного здоровья и

ISSN 3030-3907

психоэмоционального статуса женщин в послеоперационном периоде после тубэктомии является актуальной проблемой современной гинекологии. Целью исследования явилась оценка репродуктивного и психоэмоционального состояния женщин после тубэктомии на основании клинических, лабораторных и инструментальных методов обследования. В исследовании приняли участие женщины, перенесшие тубэктомию, которым были проведены общий анализ крови, коагулограмма, биохимический анализ крови, серологическое исследование на хламидийную инфекцию, трехточечные мазки из уретры, влагалища и шейки матки, ультразвуковое исследование, а также гистеросальпингография. Для оценки психоэмоционального состояния использовалась валидизированная психологическая шкала. Полученные результаты показали наличие изменений отдельных лабораторных и инструментальных показателей у женщин после тубэктомии, а также увеличение частоты тревожных и депрессивных состояний. Результаты исследования обосновывают необходимость применения комплексных реабилитационных мероприятий в послеоперационном периоде. Полученные данные имеют важное практическое значение для разработки рекомендаций по наблюдению, оценке состояния и реабилитации женщин, перенесших тубэктомию.

Abstract. Tubectomy is one of the most commonly performed surgical procedures in gynecological practice and is mainly carried out in cases of ectopic pregnancy, chronic inflammatory diseases, and other emergency conditions. This surgical intervention not only has a direct impact on the female reproductive system but may also lead to changes in the psychoemotional status of women. Therefore, a comprehensive assessment of reproductive health and psychoemotional status in women after tubectomy remains a relevant issue in modern gynecology. The aim of the study was to assess the reproductive and psychoemotional status of women after tubectomy based on clinical, laboratory, and instrumental examination methods. The study included women who had undergone tubectomy and were examined using complete blood count, coagulogram, biochemical blood analysis, serological testing for Chlamydia infection, three-site smears from the urethra, vagina, and cervix, ultrasound examination, and hysterosalpingography. Psychoemotional status was evaluated using a validated psychological assessment scale. The obtained results demonstrated changes in certain laboratory and instrumental parameters in women after tubectomy, as well as an increased frequency of anxiety and depressive conditions. The findings substantiate the necessity of implementing comprehensive rehabilitation measures in the postoperative period. The results of this study are of significant practical

ISSN 3030-3907

importance for the development of recommendations on monitoring, assessment, and rehabilitation of women who have undergone tubectomy.

Keywords: tubectomy, reproductive health, psychoemotional status, rehabilitation, women's health.

KIRISH.

XX asrning ikkinchi yarmida bachadondan tashqari homiladorlik chastotasining barqaror o‘sish tendensiyasi butun dunyoda, ayniqsa fertil yoshdagi ayollar o‘rtasida keng tarqalgan. Ma’lumotlarga ko‘ra epidemiologik tadqiqotlar rivojlangan mamlakatlarda bachadondan tashqari homiladorligi 1,2 - 1,4% ni tashkil etadi. Homiladorlikning umumiy soniga nisbatan 0,8 - 2,4%[10]. AQShda bachadondan tashqari homiladorlik chastotasi 1:100 dan 1:400 gacha o‘zgarib turadi. Onalik ektopik homiladorlikda o‘lim dunyoda ikkinchi o‘rinda turadi va tez rivojlanayotgan qon ketishi va shok [1].

Homiladorlik normal va ona organizmi uchun xavfsiz rivojlanishi uchun urug‘langan tuxum hujayra (murtak) bachadon naylari orqali bachadon bo‘shlig‘iga kirishi va bachadon shilliq pardasiga kirishi kerak. Bachadondan tashqari homiladorlikda urug’langan tuxum hujayra bachadon bo‘shlig’ida bo‘lmayd, bachadon bo‘shlig‘iga tushib, boshqa joyda (bachadon naylarida, tuxumdonlarda, bachadon bo‘yni, qorin bo‘shlig‘ida) birikadi va rivojlana boshlaydi. Bachadondan tashqari homiladorlik juda xavfli holat va homilador ayollarning homiladorlikning birinchi trimestrida o‘limining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi [10].

Urug‘langan tuxum hujayra bachadondan tashqarida ham birikib, rivojlanishi mumkin. Bunday homiladorlik bachadondan tashqari yoki ektopik homiladorlik deb ataladi. Bachadondan tashqari homiladorlik 99,5% hollarda nayda (nay homiladorligi) yuzaga keladi, kamroq hollarda (0,1-0,2%) - tuxumdonda (tuxumdon homiladorligi) yoki qorin bo‘shlig‘i a’zolarida kuzatiladi. Bundan tashqari, homiladorlik bachadonning rivojlanish nuqsonlarida bachadonning rudimentar shoxida va bachadon bo‘ynida (bo‘yin homiladorligi) joylashishi mumkin. Naycha va bachadon homiladorligining birga uchrashi ham kuzatiladi [1;22].

NAYDAGI HOMILADORLIK. Etiologiyasi urug‘langan tuxum hujayraning nay bo‘ylab sekin harakatlanishidan va trofoblastning yuqori faolligidan iborat bo‘lib, bu morulaning nay devoriga yopishishiga yordam beradi.Urug‘langan tuxum hujayra harakatining sekinlashishiga quyidagilar sabab bo‘ladi:

• jinsiy a’zolarning yallig‘lanish kasalliklari; Urug‘langan tuxum hujayra harakatini sekinlashtiradi;

• infantilizm;

ISSN 3030-3907

• bachadon naylarida rekonstruktiv-plastik operatsiyalar;
• sun’iy urug‘lantirish (EKO);
• gormonal kontratsepsiya;
• EKO;
• gormonal kontratsepsiya;
• bachadon va uning ortiqlarining o‘smalari va o‘smasimon hosilalari;
• endometrioz;
• jinsiy a’zolarning rivojlanish anomaliyalari [9].

Patogenezi. Naydagi homiladorlik organizmda ham xuddi shunday o‘zgarishlarga sabab bo‘ladi bachadon: tuxumdonda haqiqiy sariq tana rivojlanadi FSG ajralishini bloklab, progesteron miqdorini oshiradi. Lyuttenlovchi garmon ajralishi ortadi (gipofizning bazofil hujayralarida). Urug‘lanishning 8-kunida trofoblast OXG ajratadi. Endometriy proliferatsiyalanadi va sezilarli darajada reaksiyalar detsidual bo‘ladi. Urug‘langan homila tuxumi naychada uzoq muddat saqlanishi uchun sharoit bo‘lmaydi, nayning shilliq qavatining yetarli darajada qalin bo‘lmasligi tufayli rivojlanadi. Trofoblast muskul qavatiga kiradi. Naydagi homiladorlik, odatda, 6-8 haftagacha bo‘lgan muddatda to‘xtatiladi. Homiladorlik ko‘pincha nayning ampulyar qismida bo‘ladi, lekin istmik va interstitsial qismlarida ham uchrash ehtimoli mavjud. Homila tuxumi trubaning rudimentar shoxida ko‘chishgacha joylashgan bo‘lsa homila tuxumi bir oz ko‘proq vaqt (8-9 hafta) o‘tishi mumkin, homila tuxumi istmik bo‘limida - kamroq (5 haftagacha). [7].

Tubektomiya (lot. tuba – nay, ektomia – olib tashlash) — bu ayol jinsiy a’zolarining muhim qismlaridan biri bo‘lgan bachadon naylarini (tuba uterina) jarrohlik yo‘li bilan butunlay yoki qisman olib tashlashga asoslangan operatsiya turidir. Ushbu amaliyot reproduktiv tizim patologiyalarini davolashda, shuningdek, favqulodda vaziyatlarda hayotni saqlab qolish maqsadida qo‘llaniladigan muhim jarrohlik aralashuv hisoblanadi. Tubektomiya amaliyoti bevosita ayolning reproduktiv salomatligiga, psixologik holatiga, oilaviy va ijtimoiy hayotiga chuqur ta’sir etadi [2].

Nay homiladorlikni davolashning turli usullaridan so‘ng nafaqat ayollarning fertillik muammosi, balki umuman reproduktiv salomatlik holati ham jiddiy e’tiborga loyiqdir. Davolashning uzoq muddatli natijalarini yaxshi deb hisoblash mumkin emas. Adabiyot ma’lumotlariga ko‘ra, naysimon homiladorlik tufayli laparotomiya va bir tomonlama tuberektomiya o‘tkazilgan bemorlarda keyinchalik 50-75% hollarda bepushtlik tashxisi qo‘yiladi. Ulardan 17% ga yaqini qayta naysimon homiladorlik xavfi ostida. Shuning uchun uni tiklash juda muhim ahamiyatga ega, retsidiv xavfini oshirmasdan bemorlarning fertilligini saqlab qolish kerak [3].

ISSN 3030-3907

Tadqiqot maqsadi. Tubektomiya o‘tkazilgan ayollarda kompleks ayollarda kompleks reabilitatsiya dasturining klinik va psixoemotsional samaradorligini baholash.

Materiallar va usullar. Tadqiqotga reproduktiv yoshdagi tubektomiya amaliyoti o‘tkazilgan ayollar jalb qilindi. Bemorlarda umumiy klinik tekshiruv, qonning umumiy va biokimyoviy tahlillari, koagulogramma, ultratovush tekshiruvi hamda psixoemotsional holatni baholash usullari qo‘llanildi. Reabilitatsiya dasturi dori vositalari bilan davolash, fizioterapiya, psixologik maslahat va turmush tarzini optimallashtirish choralarini o‘z ichiga oldi.

TADQIQOT NATIJALARI. Tadqiqotga tubektomiya amaliyoti o‘tkazilgan 60 nafar reproduktiv yoshdagi ayol jalb qilindi. Bemorlarning o‘rtacha yoshi 28,4±4,7 yilni tashkil etdi. Tadqiqot ishtirokchilari ikki guruhga bo‘lindi: asosiy guruh (n=30) va nazorat guruhi (n=30). Asosiy guruhda operatsiyadan keyingi davrda kompleks reabilitatsiya dasturi qo‘llanildi. Dastur medikamentoz davolash, fizioterapiya, psixologik konsultatsiya hamda sog'lom turmush tarziga oid tavsiyalarni o‘z ichiga oldi.Operatsiyadan keyingi dastlabki 7–10 kun davomida og'riq sindromi, umumiy holat, laborator va instrumental ko‘rsatkichlar baholandi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, asosiy guruhda og'riq intensivligi vizual analog shkala (VAS) bo‘yicha 6,8±0,4 balldan 2,1±0,3 ballgacha kamaygan bo‘lsa, nazorat guruhida ushbu ko‘rsatkich 6,7±0,5 balldan 3,8±0,4 ballgacha kamaydi ($p<0,05$).

Kompleks reabilitatsiya olgan ayollarda kasalxonada yotish muddati o‘rtacha 31,1% ga qisqargani kuzatildi. Bundan tashqari, kundalik faoliyatga qaytish va mehnat qobiliyatining tiklanishi nazorat guruhiga nisbatan sezilarli tezlashdi.

Psixoemotsional holatni baholash uchun Spilberger-Xanin shkalasi qo‘llanildi. Tadqiqot boshida bemorlarning aksariyatida o‘rtacha va yuqori darajadagi xavotir kuzatildi. Operatsiyadan keyingi 1 oy o‘tgach o‘tkazilgan baholash natijalari asosiy guruhda psixologik holatning sezilarli yaxshilanganligini ko‘rsatdi.

Tahlillar natijasida yuqori xavotir darajasi 2,7 baravar kamaygani aniqlandi. Psixologik yordam olgan ayollarda kelajakdagi reproduktiv salomatlik, oilaviy hayot va homiladorlik istiqbollari bilan bog'liq xavotirlar sezilarli kamaygan. Ultratovush tekshiruvi natijalari ham reabilitatsiya samaradorligini tasdiqladi. Asosiy guruhda kichik chanoq sohasida yallig'lanish belgilarining regressiyasi tezroq kuzatildi. Operatsiyadan keyingi 30-kunga kelib UTT ko‘rsatkichlarining normallashuvi asosiy guruhda 86,7%, nazorat guruhida esa 66,7% ni tashkil etdi ($p<0,05$). Hayot sifati SF-36 xalqaro so‘rovnomasi yordamida baholandi. Tadqiqot yakunida jismoniy salomatlik indeksi asosiy guruhda 72,4±3,8 balldan 89,1±2,7

ISSN 3030-3907

ballgacha, ruhiy salomatlik indeksi esa 68,7±4,1 balldan 87,5±3,2 ballgacha oshgani qayd etildi.

Olingan natijalar tubektomiyadan keyingi davrda kompleks reabilitatsiyaning yuqori samaradorligini ko‘rsatdi. Reabilitatsiyaning tibbiy, fizioterapevtik va psixologik komponentlarini birlashtirish ayollarning jismoniy tiklanishini tezlashtiribgina qolmay, ularning psixoemotsional barqarorligi va hayot sifatining yaxshilanishiga ham xizmat qiladi. Shunday qilib, kompleks reabilitatsiya dasturini tubektomiya o‘tkazilgan barcha ayollarda amaliyotga keng joriy etish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

XULOSA. Olingan natijalar tubektomiyadan keyingi davrda kompleks reabilitatsiyaning yuqori samaradorligini ko‘rsatdi. Reabilitatsiyaning tibbiy, fizioterapevtik va psixologik komponentlarini birlashtirish ayollarning jismoniy tiklanishini tezlashtiribgina qolmay, ularning psixoemotsional barqarorligi va hayot sifatining yaxshilanishiga ham xizmat qiladi. Shunday qilib, kompleks reabilitatsiya dasturini tubektomiya o‘tkazilgan barcha ayollarda amaliyotga keng joriy etish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Tubektomiya o‘tkazilgan ayollarda kompleks reabilitatsiya yondashuvi operatsiyadan keyingi tiklanish jarayonini tezlashtiradi, psixoemotsional holatni yaxshilaydi va hayot sifatining oshishiga yordam beradi. Reabilitatsiya dasturiga tibbiy, fizioterapevtik va psixologik choralarni kiritish yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, tibbiy davolash, fizioterapiya, psixologik yordam va sog'lom turmush tarziga oid tavsiyalarni o‘z ichiga olgan kompleks yondashuv tubektomiya o‘tkazilgan ayollarning reabilitatsiya jarayonida yuqori samaradorlikka ega hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Адамян Л.В., Андреева Е.Н., Арсланян К.Н. Гинекология. Национальное руководство. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 1008 с.
2. ДеЧерни А.Х., Натан Л., Лауфер Н. Current Diagnosis and Treatment: Obstetrics and Gynecology. – New York: McGraw-Hill, 2024. – 848 p.
3. Кулаков В.И., Прилепская В.Н. Практическая гинекология. – Москва: МЕДпресс-информ, 2022. – 560 с.
4. Савельева Г.М., Сухих Г.Т., Манухин И.Б. Гинекология. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2023. – 704 с.
5. Aarts J.W.M., Nieboer T.E., Johnson N. Surgical Treatment and Postoperative Rehabilitation in Benign Gynecological Disease // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2022. – №7.
6. American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG). Postoperative Care in Gynecologic Surgery. Practice Bulletin. – Washington DC, 2024.

ISSN 3030-3907

7. Berek J.S. Berek & Novak's Gynecology. 17th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2024. – 1760 p.
8. Duffy J.M.N., Hirsch M., Vercoe M. Women's Experience of Recovery After Gynecological Procedures // BMJ Open. – 2022. – Vol. 12(6). – e058214.
9. Ferrando C.A., Chou D., Rogers R.G. Postoperative Rehabilitation and Long-Term Health Outcomes in Women // International Urogynecology Journal. – 2023. – Vol. 34(9). – P. 1871–1879.
10. Hoffman B.L., Schorge J.O., Bradshaw K.D. Williams Gynecology. 5th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2024. – 1248 p.
11. Lagana A.S., Garzon S., Franchi M. Modern Concepts of Rehabilitation After Pelvic Surgery // Medicina. – 2024. – Vol. 60(2). – P. 215–224.
12. Nelson G., Kalogera E., Dowdy S.C. Enhanced Recovery Pathways in Gynecologic Surgery: Clinical Outcomes and Future Directions // Gynecologic Oncology. – 2022. – Vol. 164(1). – P. 15–22.
13. Royal College of Obstetricians and Gynaecologists. Recovery after Gynaecological Surgery. Green-top Guideline. – London, 2023.
14. Teixeira P.A., Ribeiro S.C. Psychological Outcomes Following Reproductive Surgery in Women // Journal of Psychosomatic Obstetrics & Gynecology. – 2023. – Vol. 44(2). – P. 97–105.
15. World Health Organization. Sexual and Reproductive Health and Research: Annual Report. – Geneva: WHO, 2024. – 156 p.

ISSN 3030-3907

RAQAMLI BANK XIZMATLARI ORQALI MIJOZLARGA XIZMAT KO‘RSATISH SIFATINI OSHIRISH MASALALARI

Sharipova Nigina Djurakulovna
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti o‘qituvchisi
Zarmasov Muhammad
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti Bank ishi va audit fakulteti talabasi.
Xashimov Abdurahmon.
Samarqand iqtisodiyot va servis instituti Bank ishi va audit fakulteti talabasi.

Annotatsiya. Ushbu maqolada tijorat banklarida raqamli bank xizmatlari orqali mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish masalalari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida mobil banking, internet banking, elektron to‘lov tizimlari va sun’iy intellekt asosidagi xizmatlarning bank tizimidagi ahamiyati o‘rganilgan. Shuningdek, raqamli xizmatlar orqali mijozlarga tezkor va qulay xizmat ko‘rsatish, operatsion samaradorlikni oshirish hamda bank xizmatlari sifatini yaxshilash masalalari yoritilgan. Maqolada O‘zbekiston bank sektoridagi zamonaviy tendensiyalar va mavjud muammolar asosida amaliy takliflar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: raqamli bank xizmatlari, mobil banking, internet banking, fintech, sun’iy intellekt, bank xizmatlari sifati, mijozlar qoniqishi, operatsion samaradorlik, masofaviy xizmatlar, raqamli transformatsiya

Abstract. This article analyzes issues related to improving customer service quality through digital banking services in commercial banks. The study examines the importance of mobile banking, internet banking, electronic payment systems and AI-based services in the banking sector. In addition, the role of digital services in providing fast and convenient customer service, increasing operational efficiency and improving service quality is highlighted. Based on current trends and existing problems in the banking sector of Uzbekistan, practical recommendations are developed.

Keywords: digital banking services, mobile banking, internet banking, fintech, artificial intelligence, banking service quality, customer satisfaction, operational efficiency, remote services, digital transformation

Аннотация. В данной статье анализируются вопросы повышения качества обслуживания клиентов посредством цифровых банковских услуг в коммерческих банках. В ходе исследования изучена роль мобильного банкинга, интернет-банкинга, электронных платежных систем и услуг на основе искусственного интеллекта в банковской системе. Также рассмотрены вопросы обеспечения быстрого и удобного обслуживания клиентов посредством цифровых услуг, повышения операционной эффективности и улучшения качества банковских услуг. В статье разработаны практические

ISSN 3030-3907

предложения, основанные на современных тенденциях и существующих проблемах банковского сектора Узбекистана.

Ключевые слова: цифровые банковские услуги, мобильный банкинг, интернет-банкинг, финтех, искусственный интеллект, качество банковских услуг, удовлетворенность клиентов, операционная эффективность, дистанционное обслуживание, цифровая трансформация

KIRISH.

Bugungi kunda jahon iqtisodiyotida raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi bank sektorida ham muhim o‘zgarishlarni yuzaga keltirmoqda. Xususan, tijorat banklarida raqamli bank xizmatlarini rivojlantirish orqali mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifati va tezkorligini oshirish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

An’anaviy bank xizmatlaridan raqamli xizmatlarga o‘tish jarayoni mijozlarga masofadan turib bank operatsiyalarini amalga oshirish imkoniyatini yaratmoqda. Mobil banking, internet banking, QR-to‘lovlar, elektron hamyonlar va chatbot xizmatlari bank tizimining zamonaviy xizmat ko‘rsatish mexanizmlariga aylanmoqda.

O‘zbekiston bank sektorida ham raqamli transformatsiya jarayonlari izchil amalga oshirilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki tomonidan bank xizmatlarini modernizatsiya qilish va raqamli xizmatlar ko‘lamini kengaytirish bo‘yicha qator islohotlar amalga oshirilmoqda. Natijada masofaviy xizmatlardan foydalanuvchilar soni yildan-yilga oshib bormoqda.

Shu bilan birga, raqamli xizmatlarni rivojlantirish jarayonida kiberxavfsizlik, internet infratuzilmasi va mijozlarning raqamli savodxonligi bilan bog‘liq muammolar ham mavjud. Shu sababli raqamli bank xizmatlari orqali mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish masalalarini ilmiy jihatdan tadqiq etish muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYASI. Raqamli bank xizmatlarini rivojlantirish va mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish masalalari xorijiy va mahalliy iqtisodchi olimlar tomonidan keng tadqiq etilgan. Xalqaro ilmiy tadqiqotlarda mobil banking, fintech va sun’iy intellekt texnologiyalarining bank xizmatlari samaradorligiga ijobiy ta’siri alohida ta’kidlangan [1].

McKinsey va KPMG tadqiqotlariga ko‘ra, raqamli xizmatlarni rivojlantirish banklarda operatsion xarajatlarni kamaytirish, mijozlar bazasini kengaytirish va xizmat ko‘rsatish sifatini oshirishga xizmat qilmoqda [2]. Shuningdek, sun’iy intellekt asosidagi chatbot va virtual assistentlarning joriy etilishi bank xizmatlarining tezkorligini oshirish imkonini bermoqda.

ISSN 3030-3907

Mahalliy tadqiqotlarda esa O‘zbekiston bank tizimida mobil banking va masofaviy xizmatlarning rivojlanishi asosiy tendensiyalardan biri sifatida qayd etilgan [3]. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki statistik ma’lumotlariga ko‘ra, so‘nggi yillarda mobil banking foydalanuvchilari soni va onlayn tranzaksiyalar hajmi sezilarli darajada oshgan [4].

Mazkur tadqiqotda statistik tahlil, qiyosiy tahlil, iqtisodiy kuzatuv va tizimli yondashuv usullaridan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki statistik ma’lumotlari, xalqaro tashkilotlar hisobotlari va ilmiy maqolalardagi ma’lumotlar tahlil qilindi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Raqamli bank xizmatlarining mijozlarga xizmat ko‘rsatishdagi ahamiyati. Raqamli bank xizmatlari mijozlarga tezkor, qulay va sifatli xizmat ko‘rsatish imkonini yaratmoqda. Mobil banking va internet banking xizmatlari orqali mijozlar bank filialiga bormasdan turib hisob-raqamlarni boshqarish, to‘lovlarni amalga oshirish va pul o‘tkazmalarini bajarish imkoniyatiga ega bo‘lmoqda.

Bugungi kunda ko‘plab tijorat banklari chatbot va virtual assistentlardan foydalanmoqda. Mazkur texnologiyalar mijozlarga 24/7 rejimida xizmat ko‘rsatish imkonini yaratib, bank xizmatlari sifatini oshirmoqda. Shu bilan birga, sun’iy intellekt texnologiyalari mijozlarning murojaatlarini tezkor tahlil qilish va individual xizmatlarni taklif etishda muhim rol o‘ynamoqda.

1-jadval

Raqamli bank xizmatlarining mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatiga ta’siri

Yo‘nalish	Natija
Mobil banking	Xizmatlardan masofaviy foydalanish imkoniyati
Internet banking	Tranzaksiyalar tezligi oshadi
Chatbot xizmatlari	24/7 xizmat ko‘rsatish
Elektron to‘lov tizimlari	To‘lovlar qulayligi oshadi
AI texnologiyalari	Individual xizmatlar shakllanadi
Masofaviy identifikatsiya	Vaqt va xarajatlar kamayadi

Manba: O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki ma’lumotlari asosida muallif ishlanmasi.

1-jadval ma’lumotlari shuni ko‘rsatadiki, raqamli bank xizmatlari mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatining barcha asosiy ko‘rsatkichlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Xususan, mobil banking va internet banking xizmatlari bank operatsiyalarini amalga oshirish vaqtini qisqartirib, mijozlarning bank filiallariga tashrif buyurish zaruratini kamaytirmoqda. Sun’iy intellekt va chatbot texnologiyalari esa xizmat ko‘rsatish jarayonining uzluksizligini ta’minlab,

ISSN 3030-3907

mijozlar murojaatlariga tezkor javob berish imkoniyatini yaratmoqda. Natijada mijozlar qoniqish darajasi ortib, banklarning raqobatbardoshligi kuchaymoqda.

O‘zbekiston bank sektorida raqamli xizmatlar rivojlanish tendensiyalari. So‘nggi yillarda O‘zbekiston bank sektorida mobil banking va internet banking xizmatlari keng rivojlanmoqda. Xususan, tijorat banklari tomonidan masofaviy xizmatlar ko‘lami kengaytirilib, elektron to‘lov tizimlari va mobil ilovalar takomillashtirilmoqda.

2-jadval.

O‘zbekiston bank sektorida raqamli bank xizmatlari rivojlanishining asosiy ko‘rsatkichlari (2021–2025-yillar)

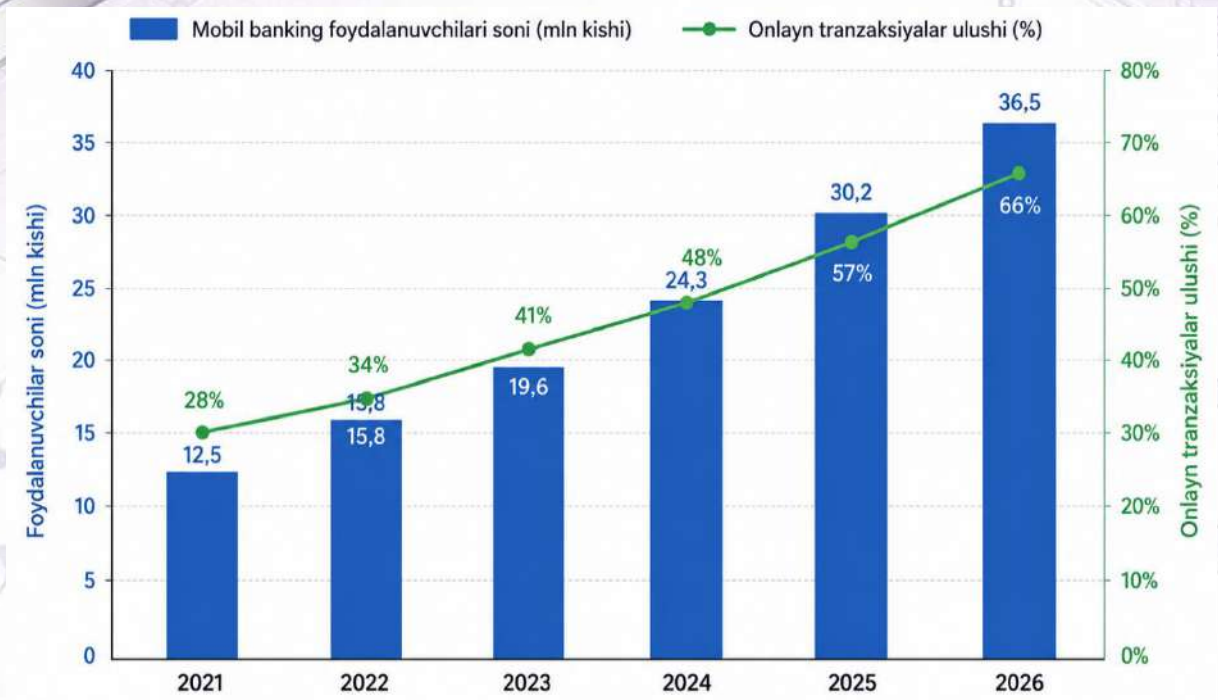
Ko‘rsatkich	2021	2022	2023	2024	2025
Mobil banking foydalanuvchilari (mln kishi)	12,5	15,8	19,6	24,3	30,2
Onlayn tranzaksiyalar ulushi (%)	28	34	41	48	57
Bank kartalari soni (mln dona)	30,2	35,7	42,5	48,0	52,4

Manba: O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki ma’lumotlari asosida muallif tomonidan tuzildi. 2025-yil ko‘rsatkichlari Markaziy bank statistik ma’lumotlari va trend tahlili asosida shakllantirilgan.

Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, 2021–2025-yillar davomida O‘zbekiston bank sektorida raqamli xizmatlardan foydalanish ko‘rsatkichlari barqaror o‘sish tendensiyasiga ega bo‘lgan. Xususan, mobil banking foydalanuvchilari soni 12,5 mln kishidan 30,2 mln kishiga yetgan. Shu bilan birga, onlayn tranzaksiyalar ulushi va bank kartalari sonining o‘sishi bank xizmatlarini raqamlashtirish jarayonlarining jadallashayotganligini hamda aholining raqamli moliyaviy xizmatlarga bo‘lgan talabining ortib borayotganligini ko‘rsatadi.

O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki statistik ma’lumotlariga ko‘ra, 2024-yilda mobil banking foydalanuvchilari soni 24 milliondan oshgan. Shu bilan birga, onlayn tranzaksiyalar ulushi ham sezilarli darajada ko‘paygan. Bu esa mijozlarning raqamli bank xizmatlariga bo‘lgan talabi ortib borayotganini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



1-diagramma. O‘zbekiston bank sektorida mobil banking foydalanuvchilari sonining o‘sishi (2021–2026)

Diagramma ma’lumotlaridan ko‘rinadiki, 2021–2026-yillar davomida mobil banking foydalanuvchilari soni izchil oshib bormoqda. Ayniqsa, 2024–2026-yillarda raqamli bank xizmatlaridan foydalanuvchilar ulushining keskin ortishi bank sektorida raqamli transformatsiya jarayonlari jadallashayotganini ko‘rsatadi.

Raqamli xizmatlarni rivojlantirishdagi muammolar. Shunga qaramasdan, raqamli bank xizmatlarini rivojlantirish jarayonida bir qator muammolar mavjud. Xususan, kiberxavfsizlik tahdidlari bank tizimida eng dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Elektron firibgarlik, phishing va noqonuniy tranzaksiyalar bank xizmatlari xavfsizligiga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Shu bilan birga, ayrim hududlarda internet infratuzilmasining yetarli darajada rivojlanmaganligi va internet sifati pastligi raqamli xizmatlardan samarali foydalanish imkoniyatlarini cheklamoqda.

Bundan tashqari, ayrim mijozlarning raqamli savodxonligi yetarli darajada shakllanmaganligi ham bank xizmatlarini rivojlantirishga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Ayniqsa, katta yoshdagi aholi qatlamlari orasida mobil banking va internet banking xizmatlaridan foydalanish ko‘nikmalari yetarli emasligi kuzatilmoqda. Shuningdek, tijorat banklarida malakali IT-mutaxassislar yetishmasligi ham zamonaviy texnologiyalarni keng joriy etish jarayonini sekinlashtirmoqda.

Bundan tashqari, raqamli bank xizmatlarining rivojlanishiga ma’lumotlarni himoya qilish bilan bog‘liq xavflar, IT-infratuzilmani modernizatsiya qilish xarajatlarining yuqoriligi hamda ayrim hududlarda internet qamrovining yetarli

ISSN 3030-3907

emasligi salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Mazkur muammolarni bartaraf etish uchun banklar tomonidan kiberxavfsizlikka investitsiyalarni oshirish, xodimlarning raqamli kompetensiyalarini rivojlantirish va zamonaviy axborot tizimlarini joriy etish zarur.

Mazkur muammolarni bartaraf etish orqali tijorat banklarida raqamli xizmatlar sifatini yanada oshirish, mijozlarga qulay va xavfsiz xizmat ko‘rsatish tizimini rivojlantirish hamda bank sektorining raqobatbardoshligini kuchaytirish imkoniyati yaratiladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, raqamli bank xizmatlarini rivojlantirish tijorat banklarida mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatini oshirishning eng muhim omillaridan biri hisoblanadi. Raqamli texnologiyalarning bank faoliyatiga keng joriy etilishi xizmatlar tezkorligi, qulayligi va ommabopligini ta’minlab, bank va mijoz o‘rtasidagi munosabatlarning yangi bosqichga ko‘tarilishiga xizmat qilmoqda. Xususan, mobil banking, internet banking, elektron to‘lov tizimlari va sun’iy intellekt asosidagi xizmatlarning rivojlanishi mijozlarga bank filiallariga tashrif buyurmasdan turib moliyaviy operatsiyalarni amalga oshirish imkoniyatini yaratmoqda.

Tadqiqot davomida O‘zbekiston bank sektorida raqamli xizmatlardan foydalanuvchilar sonining barqaror o‘sib borayotgani, onlayn tranzaksiyalar hajmining ortayotgani hamda bank xizmatlarini raqamlashtirish jarayonlari jadallashayotganligi aniqlandi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, raqamli xizmatlarning keng joriy etilishi operatsion xarajatlarni kamaytirish, xizmat ko‘rsatish vaqtini qisqartirish va mijozlar qoniqish darajasini oshirish imkonini bermoqda. Shu bilan birga, sun’iy intellekt va Big Data texnologiyalaridan foydalanish banklarga mijozlarning ehtiyojlarini chuqur tahlil qilish va ularga individual xizmatlar ko‘rsatish imkoniyatini yaratmoqda.

Tadqiqot natijalari asosida raqamli bank xizmatlarining rivojlanishi nafaqat banklarning operatsion samaradorligini oshirishga, balki moliyaviy inklyuziya darajasini yuksaltirishga ham xizmat qilishi aniqlandi. Ayniqsa, masofaviy xizmatlar qishloq hududlarida yashovchi aholi va kichik biznes subyektlarining bank xizmatlaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirib, moliyaviy xizmatlarning hududiy qamrovini oshirmoqda.

Biroq, raqamli transformatsiya jarayonida qator muammolar ham mavjudligi aniqlandi. Jumladan, kiberxavfsizlik bilan bog‘liq tahdidlar, ayrim hududlarda internet infratuzilmasining yetarli darajada rivojlanmaganligi, aholining raqamli savodxonlik darajasi pastligi hamda malakali IT-mutaxassislar yetishmasligi raqamli bank xizmatlarini rivojlantirish jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Mazkur muammolarni bartaraf etish bank tizimining barqaror va xavfsiz rivojlanishini ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, quyidagi amaliy takliflarni ilgari surish maqsadga muvofiq hisoblanadi:

– tijorat banklarida sun’iy intellekt va Big Data texnologiyalaridan foydalanish ko‘lamini kengaytirish;

– kiberxavfsizlik tizimlarini takomillashtirish va axborot xavfsizligiga investitsiyalar hajmini oshirish;

– aholining raqamli moliyaviy savodxonligini oshirishga qaratilgan ta’lim dasturlarini keng joriy etish;

– masofaviy bank xizmatlarining hududiy qamrovini kengaytirish va internet infratuzilmasini rivojlantirish;

– fintech kompaniyalari bilan hamkorlikni kuchaytirish hamda innovatsion bank mahsulotlarini yaratishni rag‘batlantirish.

Umuman olganda, raqamli bank xizmatlarining rivojlanishi O‘zbekiston bank tizimining raqobatbardoshligini oshirish, mijozlarga xizmat ko‘rsatish sifatini yaxshilash va moliyaviy xizmatlarning ommabopligini ta’minlashning muhim omili hisoblanadi. Kelgusida bank sektorida raqamli texnologiyalarni yanada keng joriy etish, innovatsion moliyaviy xizmatlarni rivojlantirish hamda raqamli ekotizimni takomillashtirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarni davom ettirish maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki. Statistik byulleten. – Toshkent, 2024.
2. O‘zbekiston Respublikasi Markaziy banki
3. McKinsey & Company. Digital Banking Report. – 2024.
4. KPMG Uzbekistan. Digital Banking Trends Report. – 2025.
5. Visa. Digital Payments and Financial Technologies Report. – 2023.
6. World Bank. Digital Financial Services Development Report. – 2024.
7. Rose P., Hudgins S. Bank Management and Financial Services. – McGraw-Hill, 2021.

ISSN 3030-3907

FARG‘ONA VILOYATI SHAROITIDA CHORVACHILIKDA PARAMFISTOMATIDOZLARNING IQTISODIY AHAMIYATI

O‘rinboyev Olimjon Yusufjon o‘g‘li
SamDVMCHBUTF “Hayvonlar yuqumli va parazitar kasalliklari” kafedrasi tayanch doktoranti
Jabborov Shuhrat Abdumajidovich
Veterinariya va chorvachilikni rivojlantirish davlat qo‘mitasi raisining birinchi o‘rinbosari, v.f.d., professor

Annotatsiya. Ushbu maqolada Farg‘ona viloyati sharoitida paramfistomatidozlarning tarqalish darajasi, epizootologik xususiyatlari hamda iqtisodiy zarari adabiyot ma’lumotlari asosida o‘rganildi. Tadqiqotlar davomida kasallikning sug‘oriladigan va nam hududlarda ko‘proq uchrashi aniqlandi. Invaziya natijasida sut mahsuldorligi kamayishi, tirik vazn ortishining sekinlashuvi va veterinariya xarajatlarining ortishi kuzatildi.

Kalit so‘zlar: paramfistomatidoz, trematodoz, qoramol, iqtisodiy zarar, epizootologiya, Farg‘ona viloyati.

Abstract. This article examines the prevalence, epizootological characteristics, and economic impact of paramphistomosis in the conditions of the Fergana region based on literature data. The studies revealed that the disease occurs more frequently in irrigated and humid areas. As a result of the invasion, a decrease in milk productivity, slower live weight gain, and an increase in veterinary expenses were observed.

Keywords: paramphistomosis, trematodosis, cattle, economic damage, epizootology, Fergana region.

KIRISH.

Chorvachilikda uchraydigan invazion kasalliklar orasida trematodozlar muhim iqtisodiy ahamiyatga ega hisoblanadi. Paramfistomatidoz kavsh qaytaruvchi hayvonlarning oshqozon-oldi bo‘limlarida parazitlik qiluvchi Paramphistomum avlodiga mansub trematodalar tomonidan chaqiriladi [2, 4].

Paramfistomatoz bu - kavshovchi hayvonlarning o‘tkir va surunkali oqimlarda kechuvchi trematodoz kasalligi bo‘lib, uni Paramphistomatata kenja turkumiga kiruvchi qo‘zg‘atuvchilari hayvonlarning katta qornida, qisman to‘r qornida va 12 - barmoqli ichagida parazitlik qilishi tufayli qo‘zg‘atilib, kasallik holsizlanish, xazm organ faoliyatining izdan chiqishi, tananing turli qismlarida shishlarning hosil bo‘lishi hayvonlarni o‘sish va rivojlanishdan ortda qolishi, maxsuldorlikni keskin kamayishi va kuchli zararlangan buzoqlarni nobud bo‘lishi bilan xarakterlanadi.

Paramfistomatozlar sistematikasi. Plathelmintes tipiga, Trematoda sinfiga, Digenia kenja sinfiga, Paramphistomatata kenja turkumiga, Paramphistomatidae

ISSN 3030-3907

va Gastrotylacidae oilalariga mansub bo‘lib, 4 ta: Paramphistomum, Liorchis, Gastrothylax va Calicophoron avlodlariga mansub quyidagi turlari keng tarqalgan: P.ichikawai, L.scotiae, G.crumenifer, C.calicophorum.

Yuqoridagi qayd etilgan paramfistomatidlardan bizning sharoitimizda ko‘proq L.scotiae, G.crumenifer, C.calicophorum turlari uchraydi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Paramphistomatata kenja turkumi vakillarining xarakterli xususiyati shundan ibortaki, ularning qorin so‘rg‘ichi dum tomonga siljigan bo‘lib, tanada bipolyar holatda joylashgan, qo‘zg‘atuvchilarning shakli noksimon yoki konussimon bo‘lib, huddi tut mevasiga o‘xshashdir. [9]

Respublikamiz hududida o‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, 420 bosh qoramol mavjud fermer xo‘jaligida chorva mollari fassiolyozi tufayli xo‘jalikka yetkaziladigan iqtisodiy zarar o‘rtacha 217 mln. so‘mni tashkil qiladi va har bir bosh hayvonga o‘rtacha 2.6 mln. so‘mdan to‘g‘ri keladi, paramfistomatozlardan ko‘rilgan zarar esa o‘rtacha 84,2 mln. so‘m ekanligi aniqlangan. Bunda o‘rtacha har bir bosh kasal hayvondan ko‘rilgan iqtisodiy zarar 2.63 mln. so‘mni tashkil qilgan [1].

Shuningdek, 500 boshli mayda shoxli mollar mavjud xo‘jalikda moniezioz kasalligidan ko‘rilgan zarar 8.6 mln. so‘m ekanligi, bunda har bir boshga 92,5 ming so‘mdan to‘g‘ri kelishi hisoblab chiqilgan [1].

Paramfistomatozlar dunyoning deyarli barcha qit’alarida, jumladan Osiyo, Afrika, Avstraliya, Amerika va Yevropada tarqalgan. Biroq ularning tur tarkibining eng katta xilma-xilligi tropik va subtropik iqlimga ega mamlakatlarda kuzatiladi.

Paramfistomatozlarning ayrim turlari yoki bir necha turlarining aralash invaziyasi Markaziy Osiyo, Qozog‘iston, Kavkazorti hududlari, Ukraina, Rossiyaning markaziy qora tuproqsiz (Nechernozem) mintaqalari hamda Belarusda uchraydi. [10]

Kasallik asosan sug‘oriladigan va nam iqlimli hududlarda keng tarqaladi. Trematodalarning biologik rivojlanishida chuchuk suv mollyuskalari oraliq xo‘jayin vazifasini bajaradi [3, 5]. Shu sababli Farg‘ona vodiysi hududi paramfistomatidozlarning rivojlanishi uchun qulay ekologik zonalardan biri hisoblanadi [6].

Paramfistomatidoz bilan zararlanish oqibatida hayvonlarda mahsuldorlik pasayishi, ozib ketish, ich ketishi va ayrim hollarda nobud bo‘lish kuzatiladi [2, 7]. Bu esa chorvachilik xo‘jaliklariga katta iqtisodiy zarar yetkazadi.

Mahalliy va xorijiy tadqiqotchilar tomonidan paramfistomatidozlarning epizootologiyasi va iqtisodiy ahamiyati keng o‘rganilgan.

Rajput va hammualliflar nam iqlimli hududlarda paramfistomatidoz qoramollar orasida keng tarqalganligini qayd etgan [4]. Soulsby ma’lumotlariga

ISSN 3030-3907

ko‘ra, kasallik yosh hayvonlarda og‘irroq kechadi va kuchli diareya bilan namoyon bo‘ladi [5].

O‘zbekiston olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda Respublikamizning sug‘oriladigan hududlarida trematodozlarning keng tarqalganligi aniqlangan [2, 7].

Daminovning ma’lumotlariga ko‘ra, paramfistomatidozda oshqozon-oldi bo‘limlarida yallig‘lanish va nekrotik o‘zgarishlar rivojlanadi [3].

Salimovning ta’kidlashicha, kasallik chorvachilik mahsuldorligining pasayishiga va yashirin iqtisodiy zararlarning ortishiga olib keladi [8].

TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI. Tadqiqotlar Farg‘ona viloyatining turli tumanlaridagi fermer xo‘jaliklarida olib borildi. Turli yoshdagi qoramol va mayda shoxli hayvonlardan najas namunalari olinib, sedimentatsiya usulida tekshirildi [6].

Ketma-ket yuvish (sedimentatsiya) usulining bajarish texnikasi: Gumon qilingan hayvon yoki parrandalardan 5 - 10 gr tezak namunasi olib stakanga solinadi va ustiga oddiy suvdan biroz solib yaxshilab aralashtiriladi. So‘ngra nisbat 1:10 bo‘lguncha suvdan suvdan solib aralashtiriladi va 10-15 minut davomida tindiriladi. Keyin esa namunaning suyuq qismi to‘kib tashlanib, cho‘kmasiga oddiy suvdan quyib aralashtirilib 10-15 minut davomida tindiriladi. Bu jarayonni to cho‘kmasi oqarmaguncha bir necha marotaba qaytariladi. Namunaning cho‘kmasi oqargach, suyuq qismi olib tashlanib, cho‘kmani petri tavoqchasiga solib yoki 7x10 hajmdagi buyum oynachasiga quyib tekshiriladi.

Kasallikning iqtisodiy zararini aniqlashda quyidagi ko‘rsatkichlar hisobga olindi: sut mahsuldorligining kamayishi, tirik vazn ortishining pasayishi, davolash xarajatlari, degelmintizatsiya xarajatlari, yem sarfining ortishi.

TADQIQOT NATIJALARI VA ULARNING TAHLILI. Tekshiruvlar davomida paramfistomatidoz viloyatning deyarli barcha tekshirilgan hududlarida uchrashi aniqlandi. Kasallik ayniqsa kollektor va irrigatsiya tarmoqlariga yaqin hududlarda ko‘proq qayd etildi [7].

Invaziyaning ekstensiv ko‘rsatkichi qoramollarda o‘rtacha 12.4 %, qo‘ylarda esa 9.7 % ni tashkil etdi. Yosh hayvonlarda kasallanish yuqoriroq darajada kuzatildi [2].

Kasallikning mavsumiy dinamikasi tahlil qilinganda invaziya yoz oxiri va kuz oylarida kuchayishi qayd etildi [3]. Bu davrda molluskalar sonining ortishi va yaylovlarning namligi kasallikning tarqalishiga sabab bo‘lishi aniqlandi [6].

Kasallangan hayvonlarda quyidagi klinik belgilar kuzatildi: ishtahaning pasayishi, kavsh qaytarishning buzilishi, tana massasining kamayishi, diareya, sut mahsuldorligining kamayishi.

ISSN 3030-3907

Kuchli invaziyalarda ichak va oshqozon-oldi bo‘limlarida yallig‘lanish jarayonlari kuzatildi [3, 5].

Paramfistomatidozning iqtisodiy zarari. Tadqiqotlar natijasida paramfistomatidoz chorvachilikka sezilarli iqtisodiy zarar yetkazishi aniqlandi. Kasallangan sigirlarda sut mahsuldorligi o‘rtacha 10 - 20 % ga kamaydi [8].

Bo‘rdoqiga boqilayotgan mollarda tirik vazn ortishi sustlashdi va yemdan foydalanish samaradorligi pasaydi [2, 4].

Ushbu kasallik tufayli yosh hayvonlar orasida nobud bo‘lish darajasi 30-40 foizgacha gacha yetishi mumkin. Kasallangan hayvonlarda tirik vazn qo‘shish ko‘rsatkichi 10 - 20 martagacha kamayadi. Sigirlarda o‘rtacha kunlik sut mahsuldorligi taxminan 700 gr ga, qo‘ylarda esa bir boshdan olinadigan jun miqdori o‘rtacha 300 gr ga kamayadi.

Paramfistomatoz bilan zararlangan hayvonlarda ozuqa moddalarining o‘zlashtirilish darajasi sog‘lom hayvonlarnikiga nisbatan ancha past bo‘ladi. Buning asosiy sababi paramfistomatlarning katta qorin (rumen) mikrofaunasining muhim tarkibiy qismi bo‘lgan, hazm jarayonida ishtirok etuvchi simbiont infuzoriyalarni ko‘plab miqdorda nobud qilishidir. Natijada kavsh qaytaruvchilarda ozuqaning parchalanishi va o‘zlashtirilishi izdan chiqadi. [11]

Kasallik oqibatida quyidagi iqtisodiy yo‘qotishlar kuzatildi: Sut ishlab chiqarish hajmining kamayishi, yosh mollarning rivojlanishdan ortda qolishi, veterinariya preparatlari uchun qo‘shimcha xarajatlar, hayvonlarning reproduktiv ko‘rsatkichlari pasayishi hamda ayrim hollarda nobud bo‘lish natijasidagi iqtisodiy zarar.

Yashirin iqtisodiy zararlar ayniqsa surunkali invaziyalarda yuqori bo‘lishi aniqlandi [8].

Profilaktika va qarshi kurash choralari. Paramfistomatidozga qarshi kurashishda kompleks veterinariya tadbirlarini amalga oshirish muhim hisoblanadi [1].

Asosiy profilaktik tadbirlar quyidagilar: rejali degelmintizatsiya, nam yaylovlardan foydalanishni cheklash, molluskalarga qarshi kurashish, yaylovlarni almashlab foydalanish, veterinariya - sanitariya nazoratini kuchaytirish.

Albendazol va oksiklozanid saqlovchi preparatlar trematodozlarga qarshi kurashda samarali vosita hisoblanadi [3, 8].

XULOSA. Farg‘ona viloyati sharoitida paramfistomatidoz qoramol va mayda shoxli hayvonlar orasida keng tarqalgan trematodozlardan biri ekanligi aniqlandi. Kasallikning tarqalishida irrigatsiya tizimlari va nam biotoplar muhim rol o‘ynaydi [7].

ISSN 3030-3907

Paramfistomatidoz chorvachilik mahsuldorligini pasaytirib, xo‘jaliklarga katta iqtisodiy zarar yetkazadi [2, 8]. Shu sababli kasallikka qarshi muntazam profilaktik va veterinariya tadbirlarini olib borish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Djabbarov Sh.A. Gelmintozlarga qarshi kurash chora-tadbirlarining samaradorligi va uni oshirish yo‘llari. Dok. dissertatsiyasi. 2017. – B. 98–122.
2. Axmedov S., Quliyev B. Trematodozlarning epizootologiyasi va profilaktikasi. Samarqand, 2021.
3. Daminov A.S. Qo‘ylar paramfistomatozining klinik va patomorfologik diagnostikasi. Samarqand, 2023.
4. Rajput Z.I., Hu S., Arijo A. Epidemiology of paramphistomosis in ruminants // Veterinary Parasitology. 2018.
5. Soulsby E.J.L. Helminths, Arthropods and Protozoa of Domesticated Animals. London, 2015.
6. Urquhart G.M., Armour J., Duncan J. Veterinary Parasitology. Blackwell Science, 2016.
7. Rayimov O.H. Farg‘ona vodiysi hududida qoramollar trematodozlari. Toshkent, 2024.
8. Salimov B.S. Veterinariya gelmintologiyasi - Toshkent, 2020.
9. P.S.Xaqberdiyev, Sh.X.Qurbanov. Parazitologiya fanidan amaliy va laboratoriya mashg‘ulotlari. O‘quv qo‘llanma. Toshkent, 2015. 21-bet.
10. Дьяконов, Л.П Паразитарные болезни сельскохозяйственных животных: учебное пособие для вузов/ Дьяконов Л.П., Орлов И.В., Абрамов И.В. и др. - М.: Агропромиздат, 1985. 176 с.

ISSN 3030-3907

ОЧИҚ КАНАЛЛАРДА СУВ ВА ҚАТТИҚ ЗАРРАЛАРДАН ИБОРАТ ИККИ ФАЗАЛИ ОҚИМНИНГ ҲАРАКАТИ.

Н. М. Норметова

"Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти" Миллий тадқиқот университети

Abstract. This article considers the problem of numerical modeling of two-phase flow behavior consisting of water and solid particles in open channels. In open channels, silt, sand, and suspended sediment particles affect the flow velocity field, hydraulic resistance, and the process of sediment formation at the channel bed. Therefore, it is important to analyze the flow not merely as a single-phase water, but as a water–solid particle two-phase medium. The study is based on the continuity and motion equations for the water phase, and the concentration and settling velocity equations for the solid particles. The results of numerical modeling show that with an increase in particle concentration in open channels, hydraulic losses increase and the flow velocity distribution changes.

Keywords: open channel, two-phase flow, numerical modeling, solid particle, sediment, turbid water, hydraulic loss**.**

Аннотация. В данной статье рассматривается задача численного моделирования движения двухфазного потока, состоящего из воды и твердых частиц, в открытых руслах. В открытых каналах частицы ила, песка и взвешенных наносов влияют на поле скоростей потока, гидравлическое сопротивление и процесс формирования донных отложений. По этой причине важно анализировать поток не просто как однофазную воду, а как двухфазную среду «вода – твердые частицы». В исследовании за основу приняты уравнения неразрывности и движения для водной фазы, а также уравнения концентрации и скорости осаждения для твердых частиц. Результаты численного моделирования показывают, что с увеличением концентрации частиц в открытых руслах возрастают гидравлические потери и изменяется распределение скоростей потока.

Ключевые слова: открытое русло, двухфазный поток, численное моделирование, твердая частица, наносы (отложения), мутная вода, гидравлические потери.

Аннотация. Ушбу мақолада очиқ ўзанларда сув ва қаттиқ заррачалардан ташкил топган икки фазали оқим ҳаракатини сонли моделлаштириш масаласи кўриб чиқилган. Очиқ каналларда лойқа, қум ва муаллақ чўкинди заррачалари оқимнинг тезлик майдонига, гидравлик қаршиликка ва ўзан тубида чўкинди ҳосил бўлиш жараёнига таъсир кўрсатади. Шу сабабли оқимни фақат бир фазали сув сифатида эмас, балки сув–қаттиқ заррача икки фазали муҳити сифатида таҳлил қилиш муҳим ҳисобланади. Тадқиқотда сув

ISSN 3030-3907

фазаси учун узлуксизлик ва ҳаракат тенгламалари, қаттиқ заррачалар учун эса концентрация ва чўкиш тезлиги тенгламалари асос қилиб олинган. Сонли моделлаштириш натижалари очиқ ўзанларда заррачалар концентрацияси ортиши билан гидравлик йўқотишлар кўпайиши ва оқим тезлиги тақсимоти ўзгаришини кўрсатади.

Калит сўзлар: очиқ ўзан, икки фазали оқим, сонли моделлаштириш, қаттиқ заррача, чўкинди, лойқали сув, гидравлик йўқотиш.

КИРИШ.

Ҳозирги кунда жаҳон миқёсида очиқ ўзанларда икки фазали оқимларнинг ҳолатини тавсифловчи турли математик моделлар ишлаб чиқилмоқда ва улар қўлланиладиган амалий масалалар доираси кенгайиб бормоқда. Очиқ ўзанларда икки фазали оқимлар (сув–ҳаво, сув–чўкинди) мураккаб гидродинамик жараён бўлиб, уларни анъанавий эмпирик формулалар орқали тўлиқ тавсифлаш қийин. Шу сабабли сўнгги ўн йилликларда CFD (Computational Fluid Dynamics) асосидаги сонли моделлар кенг қўлланила бошланди. Шу муносабат билан очиқ ўзанлардаги оқимларни аниқ моделлаштириш, улар учун самарали ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалар ишлаб чиқиш долзарб илмий вазифалардан бири ҳисобланади Очиқ ўзанларда сув ҳаракати ирригация, дренаж, сув олиш иншоотлари ва дарё гидравликасида муҳим аҳамиятга эга. Амалиётда очиқ каналлар орқали ҳаракатланаётган сув кўп ҳолларда тоза суюқликдан иборат бўлмай, таркибида қум, лойқа ва майда чўкинди заррачаларини сақлайди. Бундай оқимлар икки фазали оқимлар қаторига киради.

Икки фазали оқимларда сув асосий фаза, қаттиқ заррачалар эса иккинчи фаза сифатида иштирок этади. Қаттиқ заррачалар оқимнинг тезлик майдонига, турбулентлик даражасига, гидравлик қаршиликка ва ўзан тубида чўкинди тўпланишига таъсир қилади. Айниқса, заррачалар концентрацияси юқори бўлган ҳолларда очиқ ўзаннинг сув ўтказиш қобилияти пасайиши мумкин.

Шу сабабли очиқ ўзанларда икки фазали оқим ҳаракатини сонли моделлаштириш гидравлик жараёнларни чуқурроқ баҳолаш ва чўкинди ҳаракатини олдиндан прогноз қилиш имконини беради.

Тадқиқотнинг асосий мақсади — очиқ ўзанларда сув ва қаттиқ заррачалардан ташкил топган икки фазали оқим ҳаракатини сонли моделлаштириш орқали оқим тезлиги, заррачалар концентрацияси ва гидравлик йўқотишлар ўртасидаги боғлиқликни аниқлашдан иборат.

Ушбу мақсадга эришиш учун қуйидаги вазифалар белгиланди:

- очиқ ўзанда икки фазали оқимнинг ҳисоблаш схемасини шакллантириш;

ISSN 3030-3907

•сув фазаси учун узлуксизлик ва ҳаракат тенгламаларини танлаш;
•қаттиқ заррачалар концентрацияси ва чўкиш тезлигини ҳисоблаш;
•заррачалар концентрациясининг оқим тезлигига таъсирини баҳолаш;
•икки фазали оқимда гидравлик йўқотишларни аниқлаш.

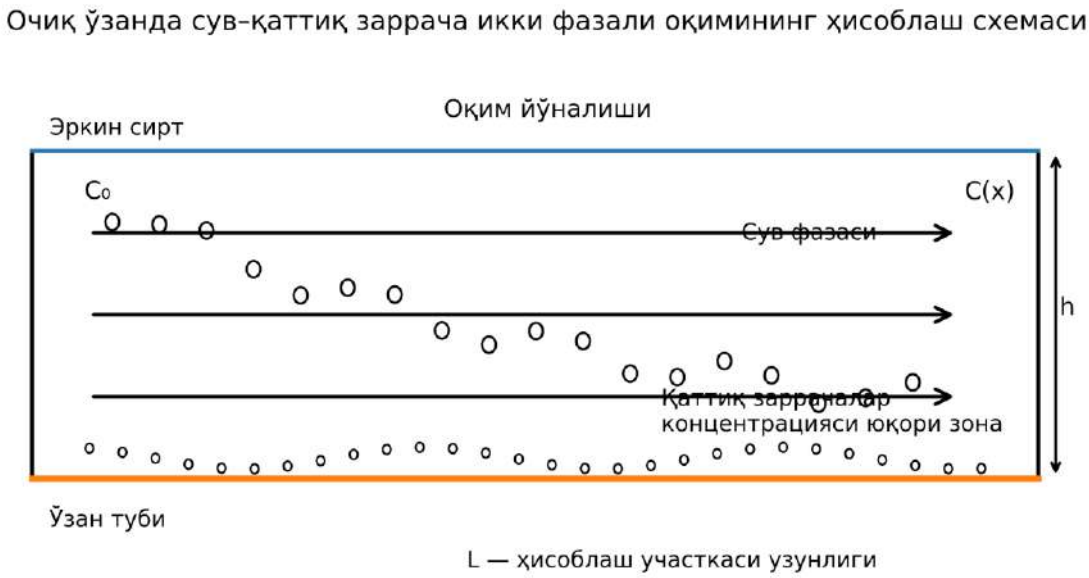
МАСАЛАНИНГ ҚЎЙИЛИШИ.

Тадқиқот объекти сифатида тўғри бурчакли кесимга эга бўлган очиқ ўзан қабул қилинди. Ўзан бўйлаб сув ва қаттиқ заррачалар аралашмаси ҳаракатланади. Оқим турбулент режимда, сув эса сиқилмайдиган суюқлик сифатида қаралди.

Асосий кириш параметрлари қуйидагилардан иборат:

$$B,\ h,\ L,\ Q,\ d_p,\ \rho w,\ \rho s,\ C$$

бу ерда: B — ўзан кенглиги, м; h — оқим чуқурлиги, м; L — ҳисоблаш участкаси узунлиги, м; Q — сув сарфи, м³/с; d_p — заррача диаметри, м; ρw — сув зичлиги, кг/м³; ρs — қаттиқ заррача зичлиги, кг/м³; C — заррачалар концентрацияси.



1-расм. Очиқ ўзанда сув–қаттиқ заррача икки фазали оқимининг ҳисоблаш схемаси.

1-расмда очиқ ўзанда сув ва қаттиқ заррачалардан ташкил топган икки фазали оқимнинг ҳисоблаш схемаси келтирилган. Оқим йўналиши бўйлаб заррачалар концентрацияси C_0 дан C(x) гача ўзгаради. Оғирлик кучи таъсирида қаттиқ заррачалар ўзан тубига яқин соҳада кўпроқ тўпланади, юқори қатламларда эса концентрация нисбатан камаяди.

Очиқ ўзандаги ўртача оқим тезлиги қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$v = \frac{Q}{(B \cdot h)}$$

ISSN 3030-3907

Оқимнинг Рейнольдс сони:

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

бу ерда R — гидравлик радиус, ν — сувнинг кинематик қовушқоқлик коэффициенти.

Оқимнинг Фруд сони:

$$\rho w(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}[(\mu+\mu t)] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}] + \rho w\, g_i + Ffs$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

Сиқилмайдиган оқим учун узлуксизлик тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

Сув фазаси ҳаракати умумий кўринишда Рейнольдс бўйича ўртачаланган ҳаракат тенгламаси билан ифодаланади:

Қаттиқ заррачаларнинг чўкиш тезлиги қуйидаги ифода орқали ҳисобланади:

$$w_s = \frac{((\rho s - \rho w)\cdot g \cdot d_p{}^2)}{(18\mu)}$$

Заррачалар концентрациясининг оқим бўйича тарқалиши конвекция–диффузия тенгламаси орқали ифодаланади:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} + w\frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}(Ds\frac{\partial C}{\partial z}) - w_s\frac{\partial C}{\partial z}$$

Икки фазали оқимда умумий гидравлик йўқотиш сув фазасидаги ишқаланиш йўқотиши ва қаттиқ заррачалар таъсиридаги қўшимча йўқотишлар йиғиндиси сифатида қабул қилинади:

$$h\Sigma = hf + hs$$

$$hs = \frac{\alpha\cdot C\cdot v^2}{(2g)}$$

бу ерда α — заррачалар таъсир коэффициенти.

Сонли моделлаштириш натижалари шуни кўрсатадики, очиқ ўзанда қаттиқ заррачалар концентрацияси ошиши билан оқимнинг гидравлик қаршилиги ортади. Бу ҳолат оқимнинг ўртача тезлигига ва ўзан тубида чўкинди ҳосил бўлиш жараёнига таъсир қилади.

Оқим чуқурлиги бўйича тезлик бир хил тақсимланмайди. Ўзан тубига яқин соҳада ишқаланиш таъсири кучли бўлганлиги сабабли тезлик паст бўлади, эркин сиртга яқин соҳада эса тезлик нисбатан юқори бўлади. Қаттиқ заррачалар концентрацияси юқори бўлган ҳолатларда тезлик майдони янада нотекис шаклланади.

ISSN 3030-3907

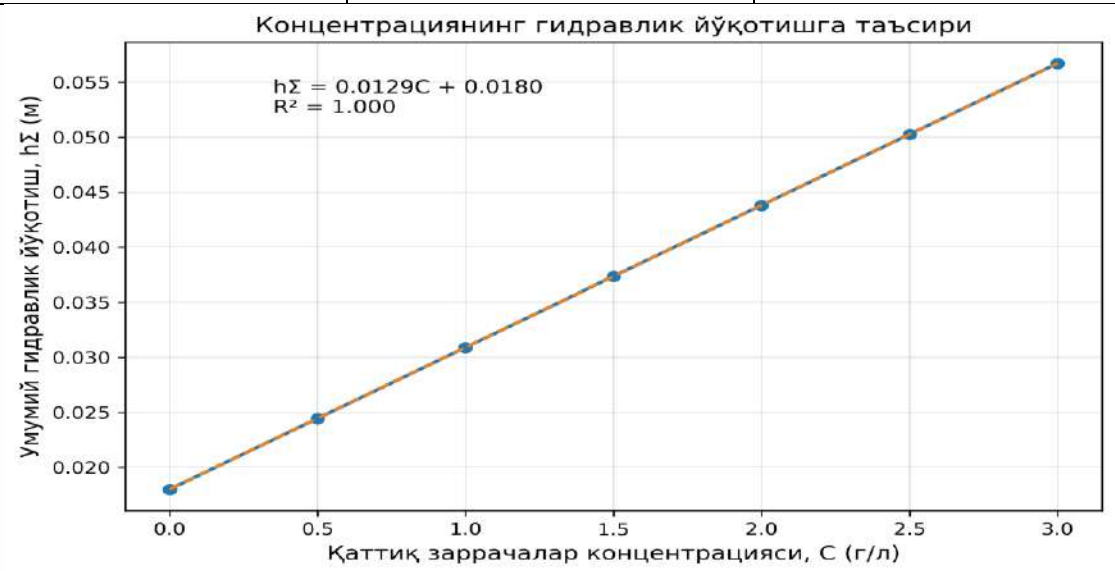
Заррачалар концентрацияси ҳам чуқурлик бўйича нотекис тақсимланади. Оғирлик кучи таъсирида заррачалар ўзан тубига интилади, турбулент диффузия эса уларни юқори қатламларга тарқатади. Натижада ўзан тубига яқин соҳада концентрация юқори, эркин сиртга яқин соҳада эса нисбатан паст бўлади.

Ҳисоблаш натижалари жадвали

1-жадвал.

Қаттиқ заррачалар концентрацияси ортиши билан умумий гидравлик йўқотишнинг ўзгариши.

C, г/л	hΣ, м	Изоҳ
0.0	0.0180	тоза сув оқими
0.5	0.0245	жуда кам концентрация
1.0	0.0309	кам концентрация
1.5	0.0374	ўртача концентрация
2.0	0.0438	сезиларли таъсир
2.5	0.0503	қаршилик ортади
3.0	0.0567	юқори йўқотиш



2-расм. Қаттиқ заррачалар концентрациясининг умумий гидравлик йўқотишга таъсири.

2-расмдан кўриниб турибдики, қаттиқ заррачалар концентрацияси ортиши билан умумий гидравлик йўқотиш hΣ ҳам ортиб боради. Бу ҳолат икки фазали оқимда заррачалар сув фазаси билан ўзаро таъсирлашиб, оқимда қўшимча қаршилик ҳосил қилиши билан изоҳланади. Графикдаги чизиқли боғланиш концентрация ва гидравлик йўқотиш ўртасида тўғри пропорционал муносабат мавжудлигини кўрсатади.

Ушбу мақолада очиқ ўзанларда икки фазали оқим ҳаракатини баҳолаш учун сув фазаси, қаттиқ заррачалар концентрацияси, чўкиш тезлиги ва

ISSN 3030-3907

гидравлик йўқотишларни ўзаро боғловчи сонли моделлаштириш ёндашуви таклиф этилди. Модел орқали қаттиқ заррачалар концентрациясининг оқим тезлиги ва гидравлик йўқотишларга таъсири миқдорий баҳоланди.

Тадқиқот натижалари ирригация каналларида чўкинди тўпланишини прогноз қилиш, очиқ ўзанларнинг сув ўтказиш қобилиятини баҳолаш, сув олиш иншоотларида лойқа ҳаракатини таҳлил қилиш ва чўкиндига қарши гидротехник тадбирларни асослашда қўлланилиши мумкин.

ХУЛОСА.

Очиқ ўзанларда лойқали сув ҳаракатини бир фазали оқим сифатида қараш етарли эмас. Қаттиқ заррачалар оқим тезлиги, концентрация тақсимоти ва гидравлик йўқотишларга таъсир кўрсатади.Заррачалар концентрацияси ўзан тубига яқин соҳада юқори бўлиб, эркин сиртга яқин соҳада камаяди.Заррачалар концентрацияси ортиши билан умумий гидравлик йўқотишлар кўпаяди.

Таклиф этилган сонли модел очиқ каналларда чўкинди ҳаракатини баҳолаш ва гидротехник ечимларни асослашда фойдаланилиши мумкин.

АДАБИЁТЛАР

1. . Арифжанов А.М. (2018). *Гидравлика.* Т.: «Фан ва технология».
2. Арифжанов А.М., Фатхуллоев А.М. (2020). *Каналлар гидравликаси ва ўзан жараёнлари.* Муҳандислик факультетлари учун дарслик.
3. Арифжанов А.М., Самиев Л.Н. (2014)**.** *Гидрология ва оқим соҳасини тартибга солиш.* Ўқув қўлланма. Т.: «ТАФАККУР-БЎСТОНИ».
4. Chen X., Li Y., Niu X. A general two-phase turbulent flow model applied to the study of sediment transport in open channels. International Journal of Multiphase Flow, 2011.
5. Jha S.K., Bombardelli F.A. Toward two-phase flow modeling of nondilute sediment transport in open channels. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2010.
6. Jha S.K., Bombardelli F.A., Cantero M.I. Two-phase modeling of turbulence in dilute sediment-laden open-channel flows. Environmental Fluid Mechanics, 2009.
7. Chauchat J. A comprehensive two-phase flow model for sediment transport. Geoscientific Model Development, 2017.
8. Lai Y.G. Two-dimensional depth-averaged flow modeling with sediment transport. Journal of Hydraulic Engineering, 2010.

ISSN 3030-3907

MASOFA–TRANSFORMATSIYASINING MATEMATIK MODELI

Rayimqulov O‘ral Mavlonivich
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada ultratovush qurilmasidan olingan tasvirlarda obyekt sohalarini ajratish, ichki geometrik tuzilmani baholash va markerlash jarayonlarida masofa–transformatsiyasining matematik modeli tahlil qilinadi. Masofa transformatsiyasi binar tasvirning har bir obyekt pikseliga eng yaqin fon yoki chegara pikseligacha bo‘lgan masofani mos qo‘yuvchi funksiya sifatida qaraladi. Ushbu funksiya asosida masofa xaritasi hosil qilinib, obyekt markazi, maksimal radius, lokal maksimumlar, tutash obyektlarni ajratish hamda markerga asoslangan watershed segmentatsiyasi uchun muhim geometrik belgilar olinadi. Maqolada Evklid, Manxetten, Chebyshev va Chamfer masofalari, ularning matematik ifodalanishi va UZI tasvirlarida qo‘llanish xususiyatlari yoritiladi. Shuningdek, τ-parametrli marker tanlash mezoni, masofa xaritasi orqali radius va diametrni baholash hamda taklif etilgan modelning dinamik ultratovush tasvirlarini qayta ishlashdagi amaliy ahamiyati asoslanadi.

Kalit so‘zlar: masofa transformatsiyasi, Evklid masofasi, masofa xaritasi, lokal maksimum, UZI tasviri, binar maska, markerlash, watershed, segmentatsiya, geometrik model.

Аннотация. В статье рассматривается математическая модель дистанционного преобразования при выделении объектов, оценке их внутренней геометрической структуры и маркировании областей на ультразвуковых изображениях. Дистанционное преобразование интерпретируется как функция, сопоставляющая каждому пикселю объекта в бинарном изображении расстояние до ближайшего фонового или граничного пикселя. На основе этой функции формируется карта расстояний, позволяющая определить центр объекта, максимальный радиус, локальные максимумы, разделить соприкасающиеся объекты и подготовить маркеры для watershed-сегментации. Рассмотрены евклидова, манхэттенская, чебышевская и chamfer-метрики, их математическое представление и особенности применения в ультразвуковых изображениях. Также обоснованы критерий выбора маркеров с параметром τ, оценка радиуса и диаметра по карте расстояний и практическая значимость предложенной модели для обработки динамических ультразвуковых изображений.

Ключевые слова: дистанционное преобразование, евклидово расстояние, карта расстояний, локальный максимум, ультразвуковое изображение, бинарная маска, маркирование, watershed, сегментация, геометрическая модель.

ISSN 3030-3907

Abstract. This article analyzes the mathematical model of distance transformation for object extraction, internal geometric structure evaluation, and marker generation in ultrasound images. Distance transformation is considered as a function that assigns to each object pixel in a binary image the distance to the nearest background or boundary pixel. The resulting distance map provides important geometric features such as the object center, maximum radius, local maxima, separation of touching objects, and markers for watershed-based segmentation. The paper discusses Euclidean, Manhattan, Chebyshev, and Chamfer distances, their mathematical formulations, and their application characteristics in ultrasound imaging. In addition, a τ-parameter-based marker selection criterion, radius and diameter estimation using the distance map, and the practical significance of the proposed model for processing dynamic ultrasound images are substantiated.

Keywords: distance transformation, Euclidean distance, distance map, local maximum, ultrasound image, binary mask, marking, watershed, segmentation, geometric model.

1. KIRISH.

Raqamli tasvirlarni qayta ishlashda obyektlarni ajratish, ularning chegaralarini aniqlash va shakliy parametrlarini hisoblash muhim nazariy hamda amaliy masalalardan biridir. Tasvir odatda diskret piksel maydoni sifatida qaraladi; shuning uchun tasvir bilan ishlash jarayoni nafaqat intensivlik qiymatlarini, balki piksellar orasidagi geometrik bog‘lanishlarni ham hisobga olishni talab qiladi [1].

Ultratovush diagnostikasi real vaqt rejimida axborot beruvchi, invaziv bo‘lmagan va klinik amaliyotda keng qo‘llaniladigan tasvirlash texnologiyalaridan biridir. Biroq UZI tasvirlarida spekl shovqin, past kontrast, akustik soya va chegaralarning noaniqligi kabi omillar obyektlarni avtomatik ajratish natijasiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi [2], [3].

Tibbiy tasvirlarni qayta ishlashda segmentatsiya natijasi keyingi o‘lchash, kontur tahlili, patologik o‘zgarishlarni baholash va dinamik kuzatish bosqichlari uchun asos bo‘lib xizmat qiladi. Shu sababli UZI tasvirida hosil qilingan binar maska ustida qo‘shimcha geometrik tahlil olib borish zarur. Bunda masofa–transformatsiyasi obyektning ichki tuzilishini raqamli masofa xaritasi ko‘rinishida ifodalab, markerlash va segmentatsiyani barqarorlashtirishga yordam beradi [4].

Masofa–transformatsiyasi binar tasvirning har bir obyekt pikseliga shu piksel bilan eng yaqin fon yoki chegara pikseli orasidagi masofani mos qo‘yadi. Natijada chegaraga yaqin joylarda kichik, obyekt markaziga yaqin hududlarda esa katta qiymatlarga ega bo‘lgan masofaviy sirt shakllanadi. Bu sirt obyekt markazi, radiusi, diametri, lokal maksimumlari va ichki skeletini aniqlash uchun qulay matematik asos yaratadi [5].

ISSN 3030-3907

Maqolaning maqsadi masofa–transformatsiyasining matematik modelini UZI tasvirlarida obyektlarni ajratish va markerlash vazifalari bilan bog‘liq holda yoritishdan iborat. Bunda diskret tasvir modeli, masofa metrikalari, masofa xaritasi, lokal maksimumlar, τ-parametrli marker tanlash va watershed segmentatsiyasi bilan bog‘lash bosqichlari ketma-ket tahlil qilinadi.

Diskret kulrang tasvir umumiy holda quyidagi funksiya orqali ifodalanadi:

$$I : \Omega \subset Z^2 \rightarrow \{0, 1, \ldots, L-1\} \quad (1)$$

bu yerda Ω — piksellar fazosi, Z^2 — ikki o‘lchovli butun koordinatalar panjarasi, L — kulrang darajalar soni. Segmentatsiya natijasida esa obyekt va fonni ajratuvchi binar maska hosil qilinadi:

$$M(x,y)=\{1, (x,y)\in A; 0, (x,y)\in B\} \quad (2)$$

Bu yerda A — obyekt piksellari to‘plami, B — fon yoki chegara piksellari to‘plami. Masofa–transformatsiyasining keyingi hisoblashlari aynan shu binar maska asosida bajariladi.

2. ADABIYOTLAR TAHLILI.

Masofa transformatsiyasi g‘oyasi raqamli tasvirlarda piksellar orasidagi fazoviy yaqinlikni hisoblash masalasidan kelib chiqqan. Rosenfeld va Pfaltz tomonidan diskret tasvirlarda ketma-ket amallar va masofaviy bog‘lanishlarni hisoblash bo‘yicha taklif etilgan yondashuvlar masofa xaritalari nazariyasining dastlabki poydevorlaridan biri bo‘ldi [6].

Danielsson Evklid masofaviy xaritalashni ishlab chiqib, har bir piksel uchun eng yaqin obyekt yoki fon nuqtasigacha bo‘lgan vektorli masofani hisoblash masalasini tizimli ko‘rinishda yoritdi [7]. Borgefors esa Chamfer masofalari va og‘irlikli maskalar yordamida aniq Evklid masofasiga yaqin natijani tezroq hisoblash mumkinligini ko‘rsatdi [8].

Saito va Toriwaki n-o‘lchovli raqamli tasvirlar uchun Evklid masofa transformatsiyasini hisoblash algoritmlarini taklif etib, masofa xaritasi va tasvir geometriyasi o‘rtasidagi bog‘liqlikni kengaytirdi [9]. Meijster, Roerdink va Hesselink tomonidan ishlab chiqilgan umumiy algoritm masofa xaritasini chiziqli vaqt ichida hisoblash imkonini berishi bilan amaliy tizimlar uchun muhim ahamiyat kasb etdi [10].

Maurer, Qi va Raghavan ixtiyoriy o‘lchamli binar tasvirlar uchun aniq Evklid masofa transformatsiyasini chiziqli vaqt murakkabligida hisoblash usulini taklif qildi [11]. Felzenszwalb va Huttenlocher esa masofa transformatsiyasini namunalangan funksiyalar uchun umumlashtirib, uni optimallashtirish va energiya funksiyalarini minimallashtirish masalalari bilan bog‘ladi [12].

Fabbri va hammualliflar 2D Evklid masofa transformatsiyasi algoritmlarini qiyosiy tahlil qilib, turli algoritmlarning aniqlik, tezlik va xotira sarfi jihatidan farqlanishini ko‘rsatdi [13]. Matematik morfologiya yo‘nalishida Serra obyekt,

ISSN 3030-3907

struktura elementi, skelet va morfologik operatsiyalar nazariyasini ishlab chiqdi [14], Soille esa masofa xaritasi, lokal maksimum, markerlash va watershed segmentatsiyasining amaliy tasvir tahlilidagi rolini keng yoritdi [15].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, masofa–transformatsiyasi faqat masofa hisoblash vositasi emas, balki segmentatsiya, skeletlash, marker tanlash, tutash obyektlarni ajratish va obyekt o‘lchamlarini baholashda qo‘llaniladigan kompleks geometrik modeldir. Ayniqsa, UZI tasvirlaridagi past kontrast va shovqin sharoitida ushbu yondashuv klassik bo‘sag‘alash va gradient usullarini geometrik jihatdan to‘ldiradi.

3. METODOLOGIYA.

Tadqiqot metodologiyasi ultratovush tasviridan obyekt sohasini ajratish, binar maska hosil qilish, masofa xaritasini hisoblash, lokal maksimumlarni aniqlash va markerga asoslangan segmentatsiyani bajarish bosqichlariga asoslanadi. Dastlab UZI tasvirida qiziqtiruvchi soha tanlanadi va shovqinni kamaytirish maqsadida filtrlash amallari qo‘llanadi. Keyingi bosqichda bo‘sag‘alash yoki adaptiv segmentatsiya orqali binar maska shakllantiriladi. Bunday dastlabki segmentatsiyada Otsu mezoni va adaptiv bo‘sag‘alash usullari yordamchi rol o‘ynashi mumkin [16].

UZI tasvirlarida obyekt chegaralari ko‘pincha kuchsiz ifodalangani sabab, gradientga asoslangan tahlil ham dastlabki chegaralarni aniqlashda foydali hisoblanadi. Canny operatori kabi yondashuvlar shovqinni silliqlash, gradientni hisoblash va kuchli chekkalarni aniqlash bosqichlarini birlashtiradi [17]. Spekl shovqinni kamaytirish uchun anisotrop diffuziya va silliqlash usullari qo‘llanganda keyingi masofa xaritasi yanada barqaror hosil bo‘ladi [18].

Masofa xaritasini hisoblashda obyekt piksellari to‘plami A va fon piksellari to‘plami B ajratiladi. Har bir p ∈ A piksel uchun masofa qiymati eng yaqin q ∈ B nuqtagacha bo‘lgan minimal masofa sifatida aniqlanadi. Agar Evklid metrikasi qo‘llansa, ikki o‘lchovli fazodagi masofa quyidagicha beriladi:

$$d_E(P^1, P^2) = \sqrt{((x^1 - x^2)^2 + (y^1 - y^2)^2)} \quad (3)$$

Uch o‘lchovli fazoda esa masofa xuddi shu mantiq asosida uchinchi koordinata hisobiga kengaytiriladi:

$$d_E(P^1, P^2) = \sqrt{((x^1 - x^2)^2 + (y^1 - y^2)^2 + (z^1 - z^2)^2)} \quad (4)$$

Binar tasvir uchun masofa–transformatsiyasining umumiy matematik modeli quyidagicha yoziladi:

$$D(p) = minq \in Bd(p, q), p \in A \quad (5)$$

Bu yerda D(p) — p pikselning masofa xaritasidagi qiymati, d(p,q) — tanlangan metrika bo‘yicha ikki piksel orasidagi masofa. Evklid metrikasi geometrik radiusni aniqroq baholaydi; Manxetten va Chebyshev metrikalari esa

ISSN 3030-3907

panjaraviy tasvirlarda hisoblashni soddalashtiradi. Shunga qaramay, faol kontur modellari va chegaraga asoslangan yondashuvlar bilan solishtirilganda, masofa xaritasi obyektning ichki tuzilishini bevosita ifodalashi bilan farqlanadi [19].

$$d^1(P^1, P^2) = |x^1 - x^2| + |y^1 - y^2| \quad (6)$$

$$d\infty(P^1, P^2) = max(|x^1 - x^2|, |y^1 - y^2|) \quad (7)$$

6-formula Manxetten masofasini, 7-formula esa Chebyshev masofasini ifodalaydi. Ushbu metrikalar UZI tasvirida piksel panjarasi bo‘yicha tez hisoblashni ta’minlaydi, lekin doirasimon yoki murakkab shaklli obyektlarda Evklid masofasiga nisbatan taxminiylik kiritishi mumkin.

Masofa xaritasidagi lokal maksimumlar obyektning markaziy va nisbatan barqaror ichki nuqtalarini bildiradi. Lokal maksimum nuqtani aniqlash uchun uning qiymati atrofdagi qo‘shni piksellar qiymatlari bilan solishtiriladi. Tasvir segmentatsiyasida mintaqalar, chegaralar va qo‘shnichilik munosabatlarini birgalikda qarash zarurligi klassik segmentatsiya adabiyotlarida ham alohida ta’kidlangan [20].

$$p \in Lmax \Leftrightarrow D(p) \geq D(s), \forall s \in N^8(p) \quad (8)$$

Bu yerda N_8(p) — p pikselning 8-qo‘shnichilik sohasi. Shovqin sabab ortiqcha lokal maksimumlar paydo bo‘lishi mumkinligi uchun markerlar τ-parametrli mezon yordamida saralanadi:

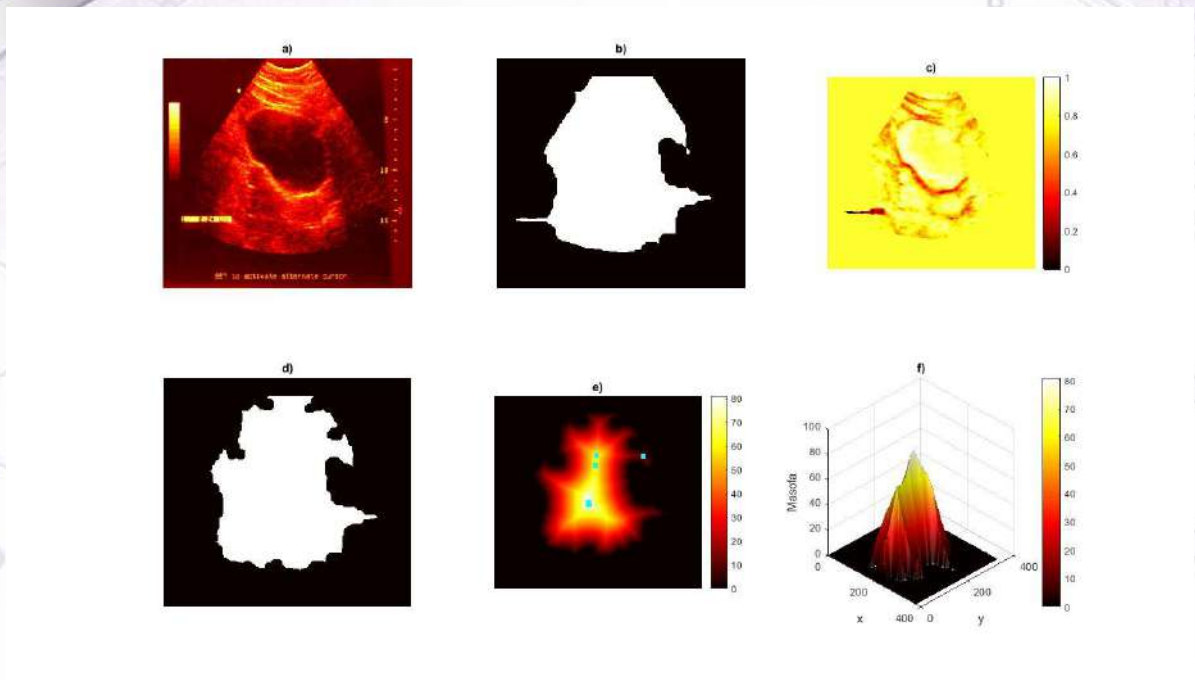
$$C = c_i \in Lmax | D(c_i) \geq \tau \cdot Dmax, 0 < \tau < 1 \quad (9)$$

Bu yerda C – tanlangan markerlar to‘plami, D_max – masofa xaritasidagi global maksimum, τ – markerlarni saralash koeffitsienti. Tibbiy tasvir segmentatsiyasida markerlarning barqaror tanlanishi natija ishonchliligiga bevosita ta’sir qiladi [21]. Tanlangan markerlar teskari masofa xaritasi bilan birgalikda watershed algoritmiga uzatiladi:

$$S = Watershed(-D, C) \quad (10)$$

10-formulada S – yakuniy segmentatsiya natijasi, – D – teskari masofa relyefi, C esa boshlang‘ich markerlar to‘plami. Ushbu yondashuv bir-biriga tutashib ketgan obyektlarni alohida segmentlarga ajratish uchun qulay metodologik asos yaratadi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. UZI tasvirida obyektni ajratish va masofa xaritasini hosil qilish bosqichlari

1-rasmda original UZI tasviri, ROI maskasi, obyektni kuchaytirish natijasi, binar segmentatsiya maskasi, masofa xaritasi va masofa xaritasining 3D relyef ko‘rinishi ketma-ket tasvirlangan. Mazkur ketma-ketlik masofa–transformatsiyasi amalda qanday bosqichlar orqali hosil qilinishini ko‘rsatadi.

1-jadval.

Masofa–transformatsiyasiga asoslangan UZI tasvirini qayta ishlash bosqichlari

Bosqich	Kirish ma’lumoti	Asosiy amal	Natija
1	Original UZI tasviri	ROI ajratish va shovqinni kamaytirish	Tahlil uchun tayyorlangan tasvir
2	ROI tasviri	Bo‘sag‘alash yoki adaptiv segmentatsiya	Binar maska M(x,y)
3	Binar maska	Masofa transformatsiyasini hisoblash	Masofa xaritasi D(p)
4	Masofa xaritasi	Lokal maksimumlarni aniqlash	Nomzod markerlar

ISSN 3030-3907

5	Markerlar va −D relyef	Watershed segmentatsiyasi	Aniqlashtirilgan obyekt segmentlari
6	Segmentlar	Radius, diametr va maydonni hisoblash	Geometrik o‘lchovlar

4. MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, masofa–transformatsiyasi obyektning faqat tashqi chegarasini emas, balki uning ichki geometrik tuzilishini ham aks ettiradi. UZI tasvirida obyekt maskasi ajratilgandan so‘ng masofa xaritasida chegaralar past, markaziy sohalar esa yuqori qiymatli hududlar sifatida shakllanadi. Medial shakl tahlili nuqtayi nazaridan bu holat obyektning markaziy o‘qi va ichki radiuslarini baholashga imkon beradi [22].

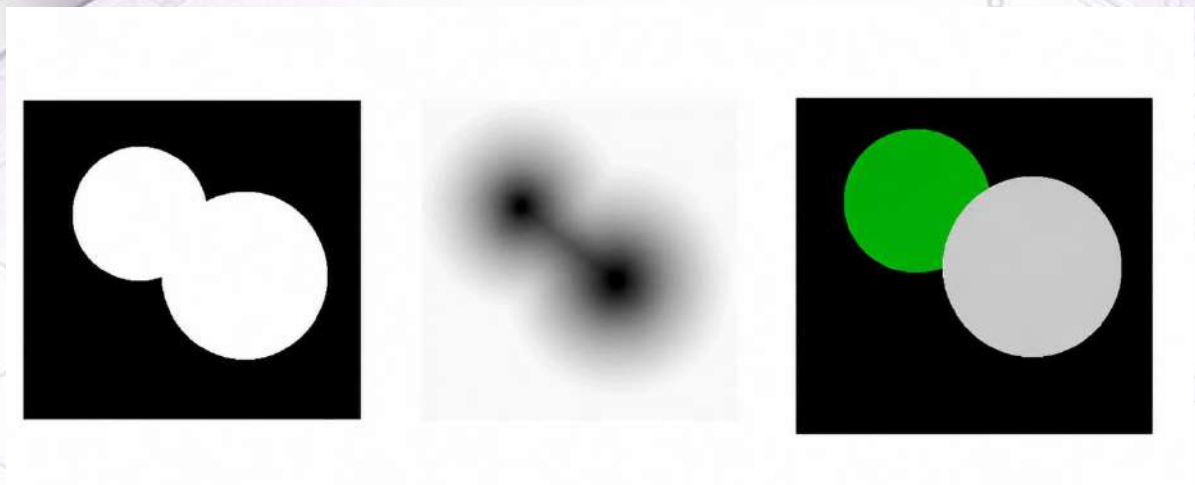
Agar UZI tasvirida ikki yoki undan ortiq tuzilma bir-biriga tutashib ko‘rinsa, binar maskada ular bitta obyekt sifatida paydo bo‘lishi mumkin. Biroq masofa xaritasida har bir haqiqiy obyekt uchun alohida lokal cho‘qqi hosil bo‘ladi. Shu cho‘qqilar marker sifatida tanlansa, watershed algoritmi tutash oblastni alohida segmentlarga ajratadi. Bu xususiyat markerga asoslangan segmentatsiyani chuqur o‘qitish modellarining natijalarini post-processing qilish bosqichida ham foydali qiladi [23].

Masofa xaritasi orqali avtomatik o‘lchash imkoniyati ham muhim natija hisoblanadi. Agar segmentatsiya qilingan obyekt taxminan doirasimon bo‘lsa, masofa xaritasidagi global maksimum obyektning eng katta ichki radiusini ifodalaydi. UZI tasvirida piksel masshtabi ma’lum bo‘lsa, ushbu radiusni millimetr yoki santimetrga o‘tkazish mumkin. Bu holat masofa transformatsiyasini segmentatsiyadan tashqari klinik o‘lchash vazifalarida ham qo‘llashga imkon beradi.

$$Rmax = maxD(p), d = 2 \cdot Rmax \cdot s \qquad (11)$$

11-formulada s – bitta pikselga to‘g‘ri keluvchi fizik masshtab koeffitsienti. Agar s millimetr/piksel ko‘rinishida berilsa, diametr ham millimetrda olinadi. Bu model kista, qon tomir kesimi yoki boshqa doirasimon tuzilmalar o‘lchamini avtomatik baholashda foydali bo‘lishi mumkin.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Geometrik ustma-ustlikdagi obyektlar, masofa xaritasi va ajratilgan obyektlar

2-rasmda bir-biriga tutash ikki obyektning dastlab bitta oblast sifatida ko‘rinishi, masofa xaritasida esa alohida cho‘qqilar hosil qilishi va yakunda ularning mustaqil segmentlarga ajratilishi ko‘rsatilgan. Bu holat masofa–transformatsiyasining tutash obyektlarni ajratishdagi amaliy ahamiyatini yaqqol namoyon qiladi.

Maqolada tahlil qilingan model sun’iy intellektga asoslangan segmentatsiya tizimlari bilan ham uyg‘unlashishi mumkin. Masalan, neyron tarmoq tomonidan olingan boshlang‘ich maska masofa xaritasi orqali tekshiriladi, lokal maksimumlar asosida markerlar aniqlanadi va yakuniy segmentatsiya geometrik mezonlar bilan aniqlashtiriladi. Tibbiy tasvirlarda chuqur o‘rganish modellari yuqori natija bersada, ularning chiqishini izohlash va nazorat qilish uchun klassik geometrik algoritmlar zarur bo‘lib qoladi [24], [25].

2-jadval.

Masofa metrikalarining UZI tasvirlaridagi qo‘llanish xususiyatlari

Metrika	Matematik mazmuni	Afzalligi	Cheklovi
Evklid	To‘g‘ri chiziqli eng qisqa masofa	Radius va diametrni aniqroq baholaydi	Hisoblash murakkabligi nisbatan yuqori bo‘lishi mumkin
Manxetten	Gorizontal va vertikal siljishlar yig‘indisi	Piksel panjarasida tez hisoblanadi	Diagonal yo‘nalishlarni taxminiy baholaydi
Chebyshev	Eng katta koordinata farqi	8-qo‘shnichilik bilan qulay	Doirasimon obyektlarda

ISSN 3030-3907

			xatolik berishi mumkin
Chamfer	Og‘irlikli yo‘l uzunligi	Evklid masofasiga tez yaqinlashadi	Og‘irliklar tanloviga sezgir

5. XULOSA.

Birinchidan, masofa–transformatsiyasi binar tasvirlarda obyektning ichki geometrik tuzilishini ifodalovchi muhim matematik model hisoblanadi. U har bir obyekt pikseliga eng yaqin fon yoki chegara pikseligacha bo‘lgan masofani mos qo‘yish orqali obyekt markazi, maksimal radius va lokal maksimumlarni aniqlash imkonini beradi.

Ikkinchidan, UZI tasvirlari shovqinli va past kontrastli bo‘lgani sababli, oddiy segmentatsiya natijalari ko‘pincha noaniq bo‘lishi mumkin. Masofa xaritasi esa dastlabki binar maskani qo‘shimcha geometrik tahlil qilib, obyektning markaziy sohalarini kuchaytiradi va tutash obyektlarni markerlar asosida ajratishga yordam beradi.

Uchinchidan, Evklid masofasi radius va diametrni aniqroq baholash uchun qulay bo‘lsa, Manxetten, Chebyshev va Chamfer metrikalari hisoblash tezligini oshirishda foydali bo‘lishi mumkin. τ-parametrli marker tanlash mezoni ortiqcha lokal maksimumlarni kamaytirib, watershed segmentatsiyasining barqarorligini oshiradi.

To‘rtinchidan, maqolada taklif etilgan metodologik ketma-ketlik — ROI ajratish, binar maska hosil qilish, masofa xaritasini hisoblash, lokal maksimumlarni aniqlash va markerga asoslangan segmentatsiya — dinamik ultratovush tasvirlarini qayta ishlash tizimlari uchun asosiy geometrik modul sifatida qo‘llanishi mumkin.

Beshinchidan, kelgusida ushbu yondashuvni real klinik UZI tasvirlari bazasida ekspert konturlari bilan solishtirish, IoU, F1-score, Dice va chegara xatoligi kabi ko‘rsatkichlar asosida miqdoriy baholash maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. 4th ed. Pearson, 2018.
2. Noble J.A., Boukerroui D. Ultrasound image segmentation: A survey. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, Vol. 25, No. 8, pp. 987–1010. DOI: 10.1109/TMI.2006.877092.
3. Szabo T.L. Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out. 2nd ed. Academic Press, 2014.
4. Bankman I.N. Handbook of Medical Image Processing and Analysis. 2nd ed. Academic Press, 2008.
5. Rosenfeld A., Pfaltz J.L. Sequential operations in digital picture processing. Journal of the ACM, 1966, Vol. 13, No. 4, pp. 471–494. DOI: 10.1145/321356.321357.

ISSN 3030-3907

6. Rosenfeld A., Pfaltz J.L. Distance functions on digital pictures. Pattern Recognition, 1968, Vol. 1, No. 1, pp. 33–61.
7. Danielsson P.-E. Euclidean distance mapping. Computer Graphics and Image Processing, 1980, Vol. 14, No. 3, pp. 227–248. DOI: 10.1016/0146-664X(80)90054-4.
8. Borgefors G. Distance transformations in digital images. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986, Vol. 34, No. 3, pp. 344–371.
9. Saito T., Toriwaki J. New algorithms for Euclidean distance transformation of an n-dimensional digitized picture with applications. Pattern Recognition, 1994, Vol. 27, No. 11, pp. 1551–1565.
10. Meijster A., Roerdink J.B.T.M., Hesselink W.H. A general algorithm for computing distance transforms in linear time. Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp. 331–340.
11. Maurer C.R. Jr., Qi R., Raghavan V. A linear time algorithm for computing exact Euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 265–270. DOI: 10.1109/TPAMI.2003.1177156.
12. Felzenszwalb P.F., Huttenlocher D.P. Distance transforms of sampled functions. Theory of Computing, 2012, Vol. 8, No. 19, pp. 415–428. DOI: 10.4086/toc.2012.v008a019.
13. Fabbri R., Costa L.F., Torelli J.C., Bruno O.M. 2D Euclidean distance transform algorithms: A comparative survey. ACM Computing Surveys, 2008, Vol. 40, No. 1, Article 2. DOI: 10.1145/1322432.1322434.
14. Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press, 1982.
15. Soille P. Morphological Image Analysis: Principles and Applications. 2nd ed. Springer, 2003.
16. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, Vol. 9, No. 1, pp. 62–66. DOI: 10.1109/TSMC.1979.4310076.
17. Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, Vol. 8, No. 6, pp. 679–698. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
18. Perona P., Malik J. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, Vol. 12, No. 7, pp. 629–639. DOI: 10.1109/34.56205.
19. Kass M., Witkin A., Terzopoulos D. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision, 1988, Vol. 1, pp. 321–331. DOI: 10.1007/BF00133570.

ISSN 3030-3907

20. Haralick R.M., Shapiro L.G. Image segmentation techniques. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, Vol. 29, No. 1, pp. 100–132. DOI: 10.1016/S0734-189X(85)90153-7.
21. Pham D.L., Xu C., Prince J.L. Current methods in medical image segmentation. Annual Review of Biomedical Engineering, 2000, Vol. 2, pp. 315–337. DOI: 10.1146/annurev.bioeng.2.1.315.
22. Pizer S.M., Gerig G., Joshi S.C., Aylward S.R. Multiscale medial shape-based analysis of image objects. Proceedings of the IEEE, 2003, Vol. 91, No. 10, pp. 1670–1679. DOI: 10.1109/JPROC.2003.817876.
23. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. MICCAI, 2015, pp. 234–241. DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28.
24. Litjens G., Kooi T., Bejnordi B.E., et al. A survey on deep learning in medical image analysis. Medical Image Analysis, 2017, Vol. 42, pp. 60–88. DOI: 10.1016/j.media.2017.07.005.
25. Minaee S., Boykov Y., Porikli F., et al. Image segmentation using deep learning: A survey. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2022, Vol. 44, No. 7, pp. 3523–3542. DOI: 10.1109/TPAMI.2021.3059968.

ISSN 3030-3907

KOFIRUN TOG‘RAYHONI (*ORIGANUM VULGARE L.*) EFIR MOYINING BIOLOGIK FAOL XUSUSIYATLARI VA ZAMONAVIY TIBBIYOTDA QO‘LLANILISHI

Usmonova Marxabo Balxiyevna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti farmakognoziya va farmasevtik texnologiya kafedrasi assistenti
Amangeldiyeva Sevinch Davlat qizi
Samarqand davlat tibbiyot universiteti biotexnologiya, injinering va farmatsiya fakulteti talabasi

Abstract. This article investigates the chemical composition of the essential oil extracted from Origanum vulgare L. and evaluates its activity against pathogenic microorganisms. The results revealed that the essential oil contains biologically active compounds, primarily carvacrol, thymol, and other constituents. The antibacterial and antioxidant properties of the essential oil were assessed, demonstrating its effectiveness in inhibiting the growth of various pathogenic microorganisms. The findings suggest the potential application of oregano essential oil as a natural antimicrobial agent in the pharmaceutical, medical, and food industries.

Keywords: Origanum vulgare, essential oil, carvacrol, antibacterial activity, antioxidant activity, pathogenic microorganisms.

Аннотация. В данной статье исследованы химический состав эфирного масла, выделенного из Origanum vulgare L., а также его активность в отношении патогенных микроорганизмов. Результаты исследования показали, что эфирное масло содержит биологически активные соединения, главным образом карвакрол, тимол и другие компоненты. Были изучены антибактериальные и антиоксидантные свойства эфирного масла, продемонстрировавшие его эффективность в подавлении роста различных патогенных микроорганизмов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективах использования эфирного масла душицы в качестве природного антимикробного средства в фармацевтической, медицинской и пищевой промышленности.

Ключевые слова: Origanum vulgare, эфирное масло, карвакрол, антибактериальная активность, антиоксидантная активность, патогенные микроорганизмы.

Annotatsiya. Ushbu maqolada Origanum vulgare L. dan ajratib olingan efir moyining kimyoviy tarkibi, shuningdek, uning patogen mikroorganizmlarga nisbatan faolligi o‘rganilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, efir moyi tarkibida biologik faol birikmalar, asosan karvakrol, timol va boshqa komponentlar mavjud. Efir moyining antibakterial va antioksidant xususiyatlari o‘rganilib, uning

ISSN 3030-3907

turli patogen mikroorganizmlar o‘sishini bostirishdagi samaradorligi namoyish etildi. Olingan natijalar farmatsevtika, tibbiyot va oziq-ovqat sanoatida tabiiy mikroblarga qarshi vosita sifatida rayhon efir moyidan foydalanish istiqbollarini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: Origanum vulgare, efir moyi, karvakrol, antibakterial faollik, antioksidant faollik, patogen mikroorganizmlar.

KIRISH.

Tog’rayhoni yalpizdoshlar (Lamiaceae) oilasiga mansub o‘simlik hisoblanadi. Tog’rayhon ko‘p yillik efirmoyi o‘simlik hisoblanadi. Tog’rayhon quruq, ochiq o‘tloqlarda, quruq o‘rmon va o‘rmon chetlarida , tepaliklar, qiyaliklar, toshloqlarda va butazorlarda o‘sadi. U asosan Rossiyaning Yevropa qismida, Kavkaz, Sibirning janubida hamda qisman Qozog’iston va Qirg’izstonning ayrim joylarida uchraydi. O‘zbekistonda oddiy tog’rayhon o‘smaydi. Lekin shu o‘simlik bilan birga ishlatishga ruxsat etilgan boshqa turi-mayda gulli tog’rayhon O‘zbekistonning tog’li nohiyalarida tog’larning pastki va o‘rta qismidagi mayda toshli qiyalarda o‘sadi. Uni tog’ qora rayhoni, o‘rmon yalpizi, sebinak ham deb atashadi. Tog’rayxon (Origanum tyttanthum). Ko‘p yillik, bo‘yi 30-60, ba’zan 90 sm ga yetadigan xushbo‘y o‘t o‘simlik. Poyasi bir nechta, tik o‘suvchi yuqori qismi sershoxli, tulki va to‘rt qirrali bo‘ladi. Bargi oddiy, cho‘ziq tuxumsimon, o‘tkir uchli, tekis qirrali bo‘lib, bandi bilan poyada qarama-qarshi o‘rnashgan. Gullari mayda, barg qo‘ltig’ida 2-3 tadan joylashib, qalqonsimon to‘pgul hosil qiladi. Qalqonsimon to‘pgullar poya uchida ro‘vaksimon to‘pgulni vujuda keltiradi. Mevasi- kosachabarg bilan birlashgan to‘rtta yong’oqcha. Iyun oyidan boshlab sentabrgacha gullaydi.

Tog‘rayhon tog‘ yonbag‘irlari, o‘tloqlar va o‘rmonlarda o‘sadi. Bir yuz ellikka yaqin turi bor. Uni tog‘ qora rayhoni, o‘rmon yalpizi, sebinak ham deyishadi. Xushbo‘y, manzarali gul sifatida ham ekiladi. Tabobatda uning shoxchalari, yaprog‘i, urug‘i ishlatiladi. Tarkibida efir moyi, geranil atsetat, askorbin kislota, timol, karvakral, oshlovchi moddalar, urug‘ida o‘ttiz foizgacha moy bor. Tog‘rayhonning bargi, guli, shoxchalari pazandalikda, jumladan, bodring, qo‘ziqorin, pomidor tuzlab yopishda qo‘llaniladi. Quritib maydalangan tog‘rayhon o‘simligi quruq mevalarga, guruchga, kiyimlarga sepib qo‘yilsa, zararkunandalar kelmaydi.

Tog‘rayhon damlamasi ishtahani ochadi, ovqat hazmini yaxshilaydi. Yuqori nafas yo‘llari shamollaganida, asab kasalliklarida yaxshi davodir. O‘simlikning damlama va qaynatmasi turli yaralarni tuzatishda ishlatiladi. Raxit kasaliga uchragan bolalarni cho‘miltirishda, o‘tkir va surunkali me’daichak kasalligida, yarali qulanj, o‘tkir va surunkali yo‘tal, o‘t pufagi tosh xastaligida, safro haydovchi

ISSN 3030-3907

sifatida, qorin dam bo‘lganida foyda beradi. Tomoq og‘rig‘ida damlamasi ajoyib doridir.

Tog‘rayhondan qon bosimi oshganida paysatiruvchi, parishonxotirlik, buyrak va jigar, nafas yo‘li, o‘pka kasaliklarini davolash vositalari tayyorlanadi. Tog‘rayhon damlamasi jig‘ildon qaynashi, hiqichoq, ko‘ngil aynashini to‘xtatadi.

O‘ttiz gramm tog‘rayhonni bir litr qaynagan suvga solib, ikki soat damlab qo‘ying. So‘ng ellik gram asal qo‘shib, yaxshilab aralashtiring. Har kuni ovqatdan keyin chorak, yarim stakondan ichib tursangiz, bu moddalar almanishuvini yaxshilaydi, qon hosil bo‘lishiga ijobiy ta’sir qiladi.

Damlama tayyorlashning yana bir usuli: ikki osh qoshiq maydalangan tog‘rayhonni ikki piyola qaynoq suvga solib, og‘zi berk idishda yarim soat damlanadi. So‘ng dokadan o‘tkaziladi. Ikki-uch osh qoshiqda kuniga uch-to‘rt marta ovqatdan o‘n besh daqiqa oldin ichiladi.

Cho‘miltirishda: uch yuz gramm tog‘rayhon uch litr suvga solinadi. Past olovda yarim soatcha qaynatiladi. Dokadan o‘tkazilib, katta idishdagi suvga solinadi.

Homilador ayollarga, me’dasi yo o‘n ikki barmoq ichagida yarasi bor hamda qon bosimi past kishilarga tog‘rayhon muolajalari tavsiya qilinmaydi.

So‘nggi yillarda sintetik dori vositalariga nisbatan rezistentlik (chidamlilik) ko‘rsatkichining ortishi, olimlarni tabiiy kelib chiqishga ega bo‘lgan mikroblarga qarshi birikmalarni izlashga majbur qilmoqda. Dorivor o‘simliklar bu borada boy va xavfsiz manba hisoblanadi. Lamiaceae oilasiga mansub Kofirun tog‘rayhoni (*Origanum vulgare L.*) o‘zining boy farmakologik xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — *Origanum vulgare L.* efir moyining kimyoviy komponentlarini tahlil qilish va uning *Staphylococcus aureus* hamda *Escherichia coli* bakteriyalariga dori vositalariga chidamlilik sharoitida ta’sirini baholashdan iborat.

METODLAR

Tadqiqot ishi O‘zbekiston florasida o‘suvchi tabiiy tog‘rayhon xomashyosi asosida olib borildi.

- **Efir moyini ajratish:** O‘simlikning yerustki qismi (barg va gullari) soyada quritildi. Efir moyi Ginzberg gidrodistillash usuli yordamida 3 soat davomida ajratib olindi.
- **Kimyoviy tahlil:** Moyning tarkibi Gaz xromatografiyasi-mass-spektrometriya (GC-MS) texnologiyasi yordamida aniqlandi.
- **Antibakterial faollik:** Efir moyining mikroblarga qarshi samaradorligi disk-diffuziya usuli yordamida, ozuqaviy agar muhitida garm-musbat (*S. aureus*) va gram-manfiy (*E. coli*) shtammlarida sinab ko‘rildi.

NATIJALAR.

ISSN 3030-3907

GC-MS tahlili natijalariga ko‘ra, *Origanum vulgare L.* efir moyi tarkibida 24 dan ortiq uchuvchan birikmalar aniqlandi. Ularning eng asosiylari fenolli monoterpenlar guruhiga kiradi. Efir moyining asosiy kimyoviy tarkibi quyidagi jadvalda aks ettirilgan:

1-Jadval

T/r	Komponent nomi	Miqdori (%)
1	Karvakrol (Carvacrol)	62.4%
2	Timol (Thymol)	11.2%
3	p-Simol (p-Cymene)	8.5%
4	gamma-Terpinen (gamma-Terpinene)	5.1%

Antibakterial sinovlarda efir moyining minimal ingibirlash konsentratsiyasi (MIK) aniqlandi. Tog‘rayhon efir moyi *S. aureus* o‘sishini 18.4 mm (ingibirlash zonasi diametri), *E. coli* o‘sishini esa 14.2 mm masofada to‘xtatgani qayd etildi.

Munozara

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, *Origanum vulgare L.* efir moyining yuqori antibakterial faolligi bevosita uning tarkibidagi karvakrol va timol miqdoriga bog‘liq. Karvakrol bakteriya hujayra membranasining o‘tkazuvchanligini buzadi, bu esa ionlarning sizib chiqishiga va hujayraning parchalanishiga olib levi.

Muhim qayd: Bizning tadqiqot natijalarimiz Yevropa populyatsiyalaridagi tog‘rayhon tarkibi bilan solishtirilganda, mamlakatimiz iqlim sharoitida o‘sgan o‘simlikda karvakrol miqdori deyarli 10-15% ga yuqoriligini ko‘rsatdi. Bu quyosh radiatsiyasi va qurg‘oqchil iqlim sharoitida o‘simlikning ikkilamchi metabolitlar sintezini kuchaytirishi bilan izohlanadi. Kelajakda ushbu efir moyidan tabiiy konservant sifatida oziq-ovqat sanoatida va antiseptik dori vositasi sifatida farmatsevtikada foydalanish istiqbollari juda yuqori.

Qo‘llashdagi ehtiyot choralari

Efir moylari o‘ta konsentrlangan bo‘ladi. Teriga surtishdan oldin uni bazaviy moylar (masalan, bodom yoki zaytun yog‘i) bilan suyultirish zarur. Homilador ayollar, me’da yarasi bor shaxslar va qon bosimi past bemorlarga tog‘rayhon mahsulotlarini shifokor maslahatisiz ishlatish tavsiya etilmaydi

Tog‘rayhon (ba’zan tog‘ qora rayhoni yoki sebinak deb ataladi) nafaqat xushbo‘y ziravor, balki organizm uchun bir qator shifobaxsh xususiyatlarga ega noyob o‘simlikdir.

Tog‘rayhonning ko‘pchilikka ma’lum bo‘lmagan asosiy foydalari:

- **Ovqat hazm qilishni yaxshilaydi:** Ishtahani ochadi, ichak faoliyatini normallashtiradi va ovqat hazm qilishni yengillashtiradi. [1]

ISSN 3030-3907

- **Nerv tizimini tinchlantiradi:** O‘simlikning xushbo‘y hidi stressni kamaytiradi, asablarni tinchlantiradi va uyqusizlikni yengishga yordam beradi.
- **Yallig‘lanishga qarshi kurashadi:** Tarkibidagi tabiiy antiseptik xususiyatlar shamollash, tomoq og‘rig‘i va nafas yo‘llari kasalliklarini davolashda samarali ta’sir ko‘rsatadi.
- **Yurak-qon tomir tizimini qo‘llab-quvvatlaydi:** Qon bosimini me’yorlashtirishga va qon aylanishini yaxshilashga yordam beradi.
- **Og‘riq qoldiruvchi xususiyat:** Tish og‘rig‘i va bosh og‘rig‘ini yengillatishda xalq tabobatida keng qo‘llaniladi.

Tog’rayhoni yer ustki qismidan damlama tayyorlash uchun qopqoqli idishga bir stakan qaynab turgan suv quyiladi, ustiga maydalangan yer ustki qismidan 15 gr (uch osh qoshiq) solib, 2soat damlab qo‘yiladi. So‘ngra dokada suzib kuniga 3-4 marta bir osh qoshiqdan ichiladi.Tog’rayhon yer ustki qismi ko‘krak kasaliklarida ishlatiladigan va terlatuvchi yig’ma choylar tarkibiga kiradi. Aynan mana shu o‘simlikni ko‘paytirish va bu o‘simlikdan xalq tabobatida to‘g’ri foydalanib, turli xil kasalliklarga qarshi dori sifatida foydalanish, farmasevtika sohasida ham keng ko‘lamda qo‘llanilishini yo‘lga qo‘yishnur ustiga a’lo nur bo‘lar edi.

XULOSA.

Tadqiqot natijasida *Origanum vulgare L.* o‘simligi tarkibida kuchli mikroblarga qarshi birikmalar mavjudligi isbotlandi. Bu esa uni sintetik antibiotiklarga muqobil bo‘lgan yangi avlod dori vositalarini yaratishda qimmatli xomashyo ekanligini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nabiyev, A. (2022). O‘zbekiston dorivor o‘simliklari va ularning fitokimyoviy tahlili . Toshkent: Fan.
2. Mashkovskiy M.D- Lekarstvennme sredstva.CH.I.i II.M., “Meditsina” 1993 4.Muravyova D.A- Farmakognoeiya.M., “Meditsina”, 1991. 5. Kennedy ,D.O.(2016).B vitaminis and the brain: mechanisms, dose and efficacy-a review.Nutrients,8(2),68.
3. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma.N.D.Kodirov,M.B.Usmonova, G.R.Xasanova,S.M.Olimov.-Samarqand:Tibbiyot Ko‘zgusi,2023. -136b 7. Farmakognoziya asoslari. I-qism: o‘quv qo‘llanma.N.D.Kodirov,M.B.Usmonova, G.R.Xasanova,S.M.Olimov.-Samarqand:Tibbiyot Ko‘zgusi,2023. -156b 8.A.A.Sultanov -Fitoterapiya asoslari.Toshkent,2012.
4. N.K.Komilov- Dorivor o‘simliklar va ularning xususiyatlari.Toshkent,2010. 10.Makarchikov,A.F.,Lakaye,B.,Gulyai,I.E.,Czerniecki,J.,Coumans,B.,Wins,P., ...& Bettendroff,L.(2003).Thiamine triphosphate and thiamine triphosphatase

ISSN 3030-3907

activities: from bacteria to mammals.Cellular and Molecular Life Sciences CMLS,60,1477-1488

5. Xolmatov.X.X., Ahmedov U.A Farmakognoziya. Toshkent, Abu Ali ibn Sino,2005

6. Boymurodov,E.S (2024).Preparation of Raw Materials from Medicinal Plant Parts .Research Journal of Trauma and Disability Studies, 3(2), 114-117.

7. Meliqulov,O.J.,Kodirov,N.D.,&Baymuradov,E.S (2022). 4-xlor-5,6-dimetiltieno (2,3-d) pirimidinning to‘yingan geterosiklik birikmalari bilan reaksiyasi.Ta’lim fidoyilari,18(5), 285-288.

8. Murodovna,J,D.,Ravshanovna,M.U., Azamatovna,F.G.,& Ergashboevna, A.Z (2022). Abu-the role of the teachings of Ali Ibn Sina the upbringing of a harmoniously developed generation.

9. Qodirov, N.D.,Qo‘yliyeva, M.U.,&Baymurodov.E.S(2022). DORILAR HAQIDA TUSHUNCHA, FARMAKOLOGIK XOSSALARI, SAQLASH UCHUN SHAROIT YARATISH USULLARI.Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences,1(8) 580-586.

10. Suyunovich,B.E (2024).BIOLOGIK FAOL OZUQAVIY QO‘SHIMCHALAR AHAMIYATI VA INSON ORGANIZMIGATA’SIRI. Ta’lim innovatsiyasi va integratsiyasi,18(5), 91-95.

11. Tosharova, M.A.,Mardiyeva ,J.S., & Jalilova,D.M.(2024).Use of Fluticasone Propionate in the Treatment of Allergic Rhinitis in Pregnant Women.Research Journal of Trauma and Disability Studies,3(2),1-3.

12. Muhiddin, Zayniddinov, and Muhammadiyeva Muhayyo. "DORIVOR O ‘SIMLIKLAR EKSTRAKTIDAN FLOVANOIDLARNI AJRATIB OLISHNING LABORATORIYA TAHLILI VA TIBBIY AMALIYOTDA QO ‘LLANILISHI." Научный Фокус 3.33 (2026): 77-78.

13. Xakimova, X. X., & Zayniddinov, M. (2022). Tibbiyot talabalari orasida keng tarqalgan kasalliklarning oldini olishning dolzarb muammolari. Eurasian Journal of Medical and Natural Sciences, 2(5), 96-100.

14. Zayniddinov, M. S. (2025). “Dori vositalarining farmakokinetikasi” mavzusini o‘qitish. Journal of Universal Science Research, 1(Maxsus son), 169-170.

15. “ SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF BLOOD: NEW ADVANCES IN INFECTIOUS DISEASE DIAGNOSIS” Zayniddinov Muhiddin International Journal of Nursing and Medical Science 15 (03), 7-10

ZAMONAVIY TA’LIMDA INNOVATSION PEDAGOGIK TEXNOLOGIYALARNING O‘RNI

Karimova Mukaddas Otajonovna
Farg‘ona davlat universiteti dotsenti. p.f.n
E-mail: muqaddas1960.ru@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7393-3061
Axmedbekova Maxpuzaxon Qaxarovna
Farg‘ona davlat universiteti katta o‘qituvchisi
E-mail: Maxfuza1102@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada zamonaviy ta’lim tizimida olib borilayotgan innovatsion pedagogik texnologiyalarning o‘rni va ahamiyati xususida so‘z boradi. Bugungi kunda ta’lim jarayoniga innovatsion texnologiyalarni joriy etishning nazariy asoslari yoritib beriladi. Shu bilan birga o‘quvchilarning bilim olish faolligi, mustaqil fikrlashi hamda kasbiy kompetensiyalarini rivojlantirishdagi roli yoritilgan. Shuningdek, interfaol metodlar, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va raqamli ta’lim vositalaridan foydalanishning samaradorligi tahlil etilgan. Tadqiqot natijalari innovatsion pedagogik texnologiyalar ta’lim sifati va samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biri ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: innovatsion pedagogik texnologiyalar, ta’lim sifati, interfaol metodlar, raqamli ta’lim, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, kompetensiyaviy yondashuv, pedagogik innovatsiyalar, ta’lim samaradorligi.

Abstract. This article discusses the role and importance of innovative pedagogical technologies in the modern education system. The theoretical foundations of the introduction of innovative technologies into the educational process today are highlighted. At the same time, the role of students in the development of their learning activity, independent thinking and professional competencies is highlighted. The effectiveness of the use of interactive methods, information and communication technologies and digital educational tools is also analyzed. The results of the study show that innovative pedagogical technologies are one of the important factors in improving the quality and efficiency of education.

Keywords: innovative pedagogical technologies, quality of education, interactive methods, digital education, information and communication technologies, competency-based approach, pedagogical innovations, educational efficiency.

Аннотация. В данной статье рассматривается роль и значение инновационных педагогических технологий в современной системе образования. Осветлены теоретические основы внедрения инновационных технологий в образовательный процесс сегодня. Одновременно подчеркивается роль студентов в развитии их учебной деятельности, самостоятельного мышления и профессиональных компетенций. Также

анализируется эффективность использования интерактивных методов, информационно-коммуникационных технологий и цифровых образовательных инструментов. Результаты исследования показывают, что инновационные педагогические технологии являются одним из важных факторов повышения качества и эффективности образования.

Ключевые слова: инновационные педагогические технологии, качество образования, интерактивные методы, цифровое образование, информационно-коммуникационные технологии, компетентностный подход, педагогические инновации, эффективность образования.

KIRISH.

XXI asrda insoniyat taraqqiyotining dolzarb ko‘rsatkichlaridan biri bu — ta’lim sifati va uning innovatsion rivojlanish hisoblanmoqda. Globallashuv, raqamlashtirish, sun’iy intellekt, yangi kasblarning paydo bo‘lishi ta’lim tizimidan tub o‘zgarishlarni muhim vazifa sifatida talab qilmoqdadir. An’anaviy pedagogik yondashuvlar endilikda o‘quvchilarni zamonaviy jamiyat talablariga tayyorlashda yetarli emasligini yaqqol ko‘rsatib bo‘lgan bir vaqtda ta’limiga yangicha yondashish va innovatsion pedagogik texnologiyalarni joriy etish zarurdir. Shu sababli, ta’lim jarayoniga innovatsion pedagogik texnologiyalarni joriy etish dolzarb vazifalardan biriga aylanmoqda. Jahon ta’lim tizimida yuz berayotgan tub o‘zgarishlar ta’lim jarayoniga yangicha yondashuvlarni joriy etishni talab qilmoqda. Zamonaviy jamiyatda raqobatbardosh, ijodkor va mustaqil fikrlovchi kadrlarni tayyorlash bugungi kundagi ta’lim tizimining asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi. Shu sababli innovatsion pedagogik texnologiyalarni ta’lim jarayoniga tatbiq etish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Innovatsion pedagogik texnologiyalar o‘quv jarayonini samarali tashkil etish, ta’lim oluvchilarning bilimlarni faol o‘zlashtirishini ta’minlash va ularning ijodiy hamda tanqidiy fikrlash qobiliyatlarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Pedagogik texnologiyalar ta’lim maqsadlariga erishishni kafolatlaydigan pedagogik faoliyatni loyihalash va amalga oshirish tizimi hisoblanadi. Innovatsion pedagogik texnologiyalar esa an’anaviy o‘qitish usullarini takomillashtirish yoki yangilarini yaratishga qaratilgan pedagogik yondashuvlar majmuasidir. Pedagogik innovatsiyalar ta’lim mazmuni, metodlari, shakllari va vositalarini yangilash orqali o‘quv jarayonining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Ta’lim jarayonida amalga joriy etib borilayotgan Interfaol metodlar innovatsion pedagogik texnologiyalarning muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Ular o‘quvchilarning darsdagi faolligini oshirish, mustaqil fikrlash va muammolarni hal qilish ko‘nikmalarini shakllantirishga yordam beradi.

Interfaol metodlarga quyidagilar kiradi:

- “Aqliy hujum”;

ISSN 3030-3907

- “Klaster”;
- “Baliq skeleti”;
- Debat;
- Keys-stadi;
- Loyiha metodi.

Mazkur metodlar o‘quvchilarni ta’lim jarayonining faol subyektiga aylantiradi va bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog‘lash imkonini beradi. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati xususida so‘z borar ekan suniy entellektning kirib kelishi tub o‘zgarishlarga sabab bo‘ldi. Bugungi kundagi axborotlarning tez almashinuvi va oliy ta’lim tizimida raqamli texnologiyalarning rivojlanishi ta’lim tizimiga ham sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Elektron darsliklar, virtual laboratoriyalar, videodarslar va onlayn ta’lim platformalari o‘quvchilarga bilim olish uchun keng imkoniyatlar yaratmoqda.

Axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish quyidagi afzalliklarni beradi:

- ta’lim resurslaridan keng foydalanish imkoniyati;
- masofadan turib ta’lim olish;
- individual ta’lim trayektoriyasini yaratish;
- o‘quvchilarning axborot madaniyatini rivojlantirish;
- o‘quv jarayonining vizualligini oshirish.
- Kompetensiyaviy yondashuv va innovatsion texnologiyalar.

Kompetensiyaviy yondashuv zamonaviy ta’limning asosiy tamoyillaridan biri hisoblanadi. Mazkur yondashuvda o‘quvchilarning nazariy bilimlari bilan bir qatorda amaliy ko‘nikma va malakalarini shakllantirishga alohida e’tibor qaratiladi. Innovatsion pedagogik texnologiyalar kompetensiyalarni rivojlantirish uchun qulay sharoit yaratadi. Ayniqsa, loyiha asosida o‘qitish va muammoli ta’lim texnologiyalari o‘quvchilarning kasbiy tayyorgarligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi.

Innovatsion texnologiyalarni qo‘llashdagi muammolar borasida so‘z borar ekan ta’lim jarayoniga innovatsion texnologiyalarni joriy etishda ayrim muammolar ham mavjud:

- texnik vositalarning yetarli emasligi;
- pedagoglarning raqamli kompetensiyalarining pastligi;
- internet tarmog‘idan foydalanishdagi cheklovlar;
- ayrim pedagoglarning an’anaviy metodlardan voz kechishga tayyor emasligi.

Mazkur muammolarni bartaraf etish uchun pedagoglarning malakasini oshirish, ta’lim muassasalarining moddiy-texnik bazasini mustahkamlash va raqamli ta’lim infratuzilmasini rivojlantirish zarur.

XULOSA.

ISSN 3030-3907

Zamonaviy ta’lim tizimida innovatsion pedagogik texnologiyalar ta’lim sifatini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Interfaol metodlar, axborot-kommunikatsiya texnologiyalari, masofaviy ta’lim va kompetensiyaviy yondashuv o‘quvchilarning bilim olish samaradorligini oshirishga, mustaqil va ijodiy fikrlash ko‘nikmalarini rivojlantirishga xizmat qiladi. Shuning uchun ta’lim muassasalarida innovatsion pedagogik texnologiyalarni keng joriy etish va ulardan samarali foydalanish dolzarb vazifalardan biri bo‘lib qolmoqda. O‘zbekiston ta’lim tizimida so‘nggi yillarda elektron darsliklar, interfaol doskalar, onlayn platformalar va loyihaviy ta’lim kabi texnologiyalar keng joriy etilmoqda. Bular o‘quvchilarning bilim olish samaradorligini oshirishga xizmat qilmoqda. Shu bilan birga, texnik ta’minotning notengligi, pedagoglarning malaka darajasi va ta’lim dasturlarining eskirishi kabi muammolar mavjud bo‘lib, ularni hal etish davlat siyosatining ustuvor vazifalaridan biridir. Kelajakda innovatsion pedagogik texnologiyalarni yanada rivojlantirish va keng joriy etish uchun zamonaviy infratuzilmani mustahkamlash, o‘qituvchilarni doimiy ravishda malaka oshirishga jalb etish hamda ta’lim kontentini modernizatsiya qilish zarur. Faqat shu yo‘l bilan ta’lim sohasida yuqori natijalarga erishish va mamlakat kelajagini ta’minlash mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasining “Ta’lim to‘g‘risida”gi Qonuni. – Toshkent, 2020.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining ta’lim tizimini rivojlantirishga oid farmon va qarorlari.
3. Ishmuhamedov R.J., Abduqodirov A.A., Pardaev A. Ta’limda innovatsion texnologiyalar. – Toshkent: Iste’dod, 2021.
4. Egamberdiyeva N.M. Pedagogika nazariyasi va tarixi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2020.
5. Muslimov N.A., Usmonboyeva M.H., Sayfurov D.M. Innovatsion ta’lim texnologiyalari. – Toshkent: Sano-standart, 2017.
6. Tolipov O‘.Q., Usmonboyeva M. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. – Toshkent: Fan, 2019.
7. Bespalko V.P. Pedagogika va progressiv ta’lim texnologiyalari. – Moskva: Pedagogika, 2018.
8. Selevko G.K. Sovremennye obrazovatelnye texnologii. – Moskva: Narodnoe obrazovanie, 2019.
9. UNESCO. Education in a Digital World. – Paris, 2022.
10. UNESCO. Global Education Monitoring Report. – Paris, 2023.

ISSN 3030-3907