

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

INNOVATION TEKNOLOGIYALAR

Ilmiy-texnikaviy jurnal

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научно-технический журнал

INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Scientific and technical journal



2026
2/62

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY



INNOVATSION

TEXNOLOGIYALAR

ISSN 2181-4732

Ilmiy-texnik jurnal
2010-yilda tashkil etilgan

2026/2(62)-son

Ilmiy-texnik jurnal 2011-yil
mart oyidan boshlab chiqarilgan

Muassis:

Qarshi davlat texnika universiteti

TAHRIRIYAT HAY'ATI:

Bosh muharrir:

f.m.f.d., prof. Nematov Sh. Q.

Bosh muharrir o'rinbosari:

t.f.d., prof. Uzoqov G'. N.

Mas'ul kotib: t.f.n. Raxmatov M. I.

Tahrir kengashi a'zolari:

Abduraxmonov Q. X., i.f.d., prof.,

O'zR FA akademigi

Zoxidov R. A., t.f.d., prof.,

O'zR FA akademigi

Igamberdiyev X. Z., t.f.d., prof.,

O'zR FA akademigi

Sednin V. A., t.f.d., prof. (Belorussiya)

Aldoshin N. V., t.f.d., prof. (Rossiya)

Xanov N. V., t.f.d., prof. Rossiya

Manoxina A. A., q.x.f.d., prof. Rossiya

Gibadullin A. A., i.f.n, dots. (Rossiya)

Voynash S. A., t.f.d., prof. (Rossiya)

Morkovkin D. Y., i.f.n., (Rossiya)

Perskaya V. V., i.f.d., (Rossiya)

Molchanov I. N., i.f.d., (Rossiya)

Xarchenko V. V., t.f.d., prof. (Rossiya)

Sidorov V. A., i.f.d., prof., (Rossiya)

Mextiyeva A. M., t.f.n. (Ozarbayjon)

Sadridinov M. I., i.f.n., (Tojikiston)

Abdelxamid M. A., t.f.n., (Misr Arab

Respublikasi)

Agzamov A. H., t.f.d., prof.

Umurzakov R. A., g.m.f.d., prof.

Bakiev M. R., t.f.d., prof.

Bobomirzayev P. X., q.x.f.d., prof.

Xujaqulov R., t.f.d., prof.

Jonqobilov U. U., t.f.d., prof.

Mamatov F. M., t.f.d., prof.

Urishev B., t.f.d., prof.

Aliqulov S. R., t.f.d., prof.

Avlakulov M., t.f.d., prof.

Eshev S. S., t.f.d., prof.

Ermatov N. X., t.f.d., prof.

Ergashev R. X., i.f.d., prof.

Xamrayeva S. N., i.f.d., prof.

MUNDARIJA

GEOLOGIYA-MINERALOGIYA FANLARI

Turdiyev Sh. Sh., Turdiyev Sh. Sh., Agzamova S. A., Qilichov I. K., Rahimov U. Z. Sherkent neftgaz konining geologik tuzilishini aniqlashtirish natijalari	7
Haydarov I. Q., Murodov A. I., Sonayev S. N., Shabonova Sh. Sh. Murakkab qatlamlarni mustahkamlash texnologiyasi	16

TEXNIKA FANLARI

Nurmonov A. A., Ashurov M. X., Asranova U. X., Baltayeva U. R., Azimov S. X. Burg'ilash reagentlari ishlab chiqarish uchun paxta sheluxasi chiqindilaridan lignin ajratib olish usullarining qiyosiy tahlili	24
Uzoqov G'. N., Ibragimov U. X., Xusenov A. A. Gelioissiqxona uchun tuproq issiqlik nasosli isitish tizimining matematik modeli va energetik tahlili	31
Latipov Sh. A., Tog'ayev H. A., Shukrullayev D. D. Organobentonit qatlamida dinamik (kolonnali) adsorbsiya va to'yinish egri chiziqlarini modellash	40
Babajanov Y. T., Babajanova I. Y. O'zgaruvchan kesimga ega kanalda suyuqlik oqimining nostatsionar masalasi	49
Xazratov A. N., Raxmatov M.I., G'ayimnazarov I. X., Abduahadov S. A. Amu-Buxoro mashina kanalidagi o'zan deformatsiyasi jarayonlari va uni keltirib chiqaruvchi asosiy omillar	58
Jonqobilov U. U., Jonqobilov S. U., Rajabov U. M., Jonqobilov B. U., Ruzimurodov Z. H., Bahodirov Sh. B., Mamashoyev U. U. Hajmiy kavitatsiyani inobatga olib quvurlarni gidravlik zarbaga hisoblash	65
Latipov Sh. A., G'ayimnazarov I. X., Jo'rayeva Sh. H., Otakulov U. X., Egamov M. X. Trapetsiyasimon kanalda tub osti va muallaq oqiziq sarfini hisoblashning zamonaviy usullari	71
Avlakulov M., Egamberdiyev J. H. Suv omborining gidrologik ko'rsatkichlari uning ta'sir zonasidagi yerlar meliorativ holatiga ta'sirini o'rganish (Qashqadaryo viloyati Qamashi suv ombori misolida)	77
Shukurova O. P. Vektor kvantlangan vaqtinchalik assotsiativ xotira asosida dinamik obyektlarni identifikatsiyalash algoritmi	83
Abduraxmonov U. N. Qarshi shahrida jamoat transportini rivojlantirish	89

Axmedov A. N., t.f.d., prof.
Shodiyev A. N., t.f.d., dots.
Eshqobilov O. X., t.f.d., dots.
Cho'yanov D. Sh., t.f.d., prof.
Eshdavlatov E. U., t.f.d., prof.
Lutfullayev S. Sh., t.f.n., prof.
Raximov O. D., t.f.n., prof.
Yarboboyev T. N., t.f.n., dots.
Uzakov Z., f.m.f.n., dots.
Panjiyev S. A., p.f.f.d., dots.
Matchanova D.Sh., b.f.f.d.
Mirzayeva D.A., b.f.f.d., dots.

Tahririyat:

Texnik muharrir: Tog'ayev I.Y.
Musahhihlar:
Raxmanova Y.Q., Xoliyrov B.H.

Tahliliy guruh:

Mamatov F.M., Ergashev R.X., Uzoqov
G'.N., Ermatov N.X.

Manzil:

180100. Qarshi shahri.
Mustaqillik ko'chasi, 225
Telefon: 75 221 09 23
+998 93 421 70 76

Sayt: <https://innotex-journal.uz>

E-mail: ilmiy.prorektor@kstu.uz

“Научная электронная библиотека”
MChJ bilan 15.06.2023-yilda
SIO-7755/2023-sonli litsenzion shartnoma
tuzilgan

Jurnal Qashqadaryo viloyati matbuot va
axborot boshqarmasi tomonidan 2010-yil
4-oktyabrda davlat ro'yxatiga olingan va
14-063 raqamli guvohnoma berilgan.

Nashr indeksi – 4074
ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015
62-sonli nashr.

Terishga topshirilgan sana:

01.06.2026-yil

Nashrga ruxsat berilgan sana:

22.06.2026-yil

Chop etilgan sana:

25.06.2026-yil

Bichimi 60x84 1/8. Times garnituras.
Shartli bosma tabog'i 9,37 Nashr bosma
tabog'i 9,11. Adadi 30. Buyurtma №198

QarDTU “INTELLEKT” MIU
nashriyotida chop etildi. Qarshi shahri,
Mustaqillik ko'chasi, 225.

Zohidov M. G'., Jumayev Sh. B. Xalqaro yuk tashish marshrutlari o'zgarishining logistika tizimlari samaradorligiga ta'sirini tahlil qilish	98
Raximov O. D. Mehnat xavfsizligini ta'minlashda kompetentlik yondoshuvi: kompetentlikning Amerikacha va Yevropacha konsepsiyalari	105
Mustafayev B. E. O'zbekiston kichik korxonalarida mehnat xavfsizligi madaniyatining sohalararo taqqoslamali tahlili	113
Asqarov M., Raximov N. Z. Kapillyar tuzilmali g'ovak muhit yordamida quyosh chuchutgichining samaradorligini oshirish: uch o'lchovli sonli tahlil va eksperimental tasdiqlash	119
Xazratov A. N., Abduahadov S. A. Kam bog'langan grunt o'zanli kanallarda o'zan deformatsiyasini prognozlash uchun oqim tashuvchanlik qobiliyati usullarining qiyosiy tahlili	127
Avlakulov A. M. Kon sharoitida quvurlardagi gaz-suyuqlik harakati jarayonida oqim strukturalari o'zgarishi tahlili	137
QISHLOQ XO'JALIGI FANLARI	
Yodgorov N. G'., Qo'lyiyeva M. B. Batat ekini barg hosil bo'lish dinamikasiga ekish tizimlari va usullarining ta'siri	142

“Innovatsion texnologiyalar” jurnali O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosati qarori bilan quyidagi fanlar bo'yicha doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan:

04.00.00 — GEOLOGIYA-MINERALOGIYA FANLARI

05.00.00 — TEXNIKA FANLARI

06.00.00 — QISHLOQ XO'JALIGI FANLARI

08.00.00 — IQTISODIYOT FANLARI

“Innovatsion texnologiyalar” jurnali 2023-yilda eLIBRARY.RU integrallashgan ilmiy axborot portali tarkibidagi PIHIQ xalqaro ma'lumotlar bazasiga kiritilgan.

Jurnal uch oyda bir marta chop etiladi



ISSN 2181-4732

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научно-технический
журнал основан
в 2010 году

Том 62,
номер 2, 2026

Научно-технический журнал
издается с марта 2011 года

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Каршинский государственный
технический университет

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:
д.ф.м.н., проф. Нематов Ш. К.

Заместитель главного редактора:
д.т.н., проф. Узоков Г. Н.

Ответственный секретарь:
к.т.н. Рахматов М. И.

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Абдурахманов К. Х., д.э.н., проф.,
академик АН РУз.
Зохидов Р. А., д.т.н., проф., академик АН
РУз.
Игамбердиев Х. З., д.т.н., проф.,
академик АН РУз
Седнин В. А., д.т.н., проф., (Беларусь)
Алдошин Н. В., д.т.н., проф., (Россия)
Ханов Н. В., д.т.н., проф., (Россия)
Манохина А.А., д.с.х.н., проф., (Россия)
Гибадуллин А.А., к.э.н., доц. (Россия)
Войнаш С. А., д.т.н., проф., (Россия)
Морковкин Д. Ю., к.э.н., доцент (Россия)
Перская В.В., д.э.н., проф., (Россия)
Молчанов И. Н., д.э.н., проф., (Россия)
Харченко В. В., д.т.н., проф., (Россия)
Сидиров В. А., д.э.н., проф., (Россия)
Мехтиева А. М., к.т.н., доц.
(Азербайджан)
Садридинов М. И. к.э.н., доц.
(Таджикистан)
Абделхамид М. А., к.т.н. (Арабская
Республика Египет)
Агзамов А. Х., д.т.н., проф.
Умурзаков Р. А., д.г.м.н., проф.
Бакиев М. Р., д.т.н., проф.
Бобомирзаев П. Х., д.с.х.н., проф.
Хужакулов Р., д.т.н., проф.
Жонкобилов У. У., д.т.н., проф.
Маматов Ф. М., д.т.н., проф.
Уришев Б., д.т.н., проф.
Аликулов С. Р., д.т.н., проф.
Авлакулов М., д.т.н., проф.
Эшев С. С., д.т.н., проф.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Турдиев Ш. Ш., Турдиев Ш. Ш., Агзамова С. А., Киличов И. К., Рахимов У. З. Результаты уточнения геологического строения нефтегазового месторождения Шеркент	7
Хайдаров И. К., Муродов А. И., Сонаев С. Н., Шабонova Ш. Ш. Технология крепления сложных пластов	16
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Нурмонов А. А., Ашуров М. Х., Асранова У. Х., Балтаева У. Р., Азимов С. Х. Сравнительный анализ методов выделения лигнина из отходов хлопковой шелухи для производства буровых реагентов	24
Узаков Г. Н., Ибрагимов У. Х., Хусенов А. А. Математическая модель и энергетический анализ системы отопления гелиотеплицы с грунтовым тепловым насосом	31
Латипов Ш. А., Тогаев Х. А., Шукруллаев Д. Д. Моделирование динамической (колоночной) адсорбции и кривых насыщения в слое органобентонита	40
Бабаджанов Ю. Т., Бабаджанова И. Ю. Нестационарная задача течения жидкости в канале переменного сечения	49
Хазратов А. Н., Рахматов М. И., Гаимназаров И. Х., Абдураходов С. А. Деформационные процессы русла в Аму-Бухарском машинном канале и основные факторы, вызывающие их	58
Жонкобилов У. У., Жонкобилов С. У., Ражабов У. М., Жонкобилов Б. У., Рузимуродов З. Х., Баходиров Ш. Б., Мамашоев У. У. Расчет трубопроводов на гидравлический удар с учетом объемной кавитации	65
Латипов Ш. А., Гаимназаров И. Х., Жураева Ш. Х., Отакулов У. Х., Эгамов М. Х. Современные методы расчёта расхода донных и взвешенных наносов в трапецидальном канале	71
Авлакулов М., Эгамбердиев Ж. Х. Исследование влияния гидрологических показателей водохранилища на мелиоративное состояние земель в зоне его воздействия (на примере Камашинского водохранилища Кашкадарьинской области)	77

Эрматов Н. Х., д.т.н., проф.
 Эргашев Р. Х., д.э.н., проф.
 Хамраева С. Н., д.э.н., проф.
 Ахмедов А. Н., д.т.н., проф.
 Шодиев А. Н., д.т.н., доц.
 Эшкобилов О. Х., д.т.н., доц.
 Чуянов Д. Ш., д.т.н., проф.
 Эшдавлатов Э. У., д.т.н., проф.
 Лутфуллаев С. Ш., к.т.н., проф.
 Рахимов О. Д., к.т.н., проф.
 Ярбобоев Т. Н., к.т.н., проф.
 Узаков З., к.ф.м.н., доц.
 Панжиев С. А., д.ф.п.н., доц.
 Матчанова Д. Ш., б.ф.ф.д.
 Мирзаева Д. А., б.ф.ф.д., доц.

Технический редактор:

Тогаев И.Ю.

Аналитическая группа:

Маматов Ф.М., Эргашев Р.Х.,
 Узоков Г.Н., Эрматов Н.Х.

Адрес:

180100, город Карши,
 улица Мустакиллик, 225
 Телефон: 75 221 09 23
 +998 93 421 70 76

Сайт: <https://innotex-journal.uz>

E-mail: ilmiy.prerektoir@kstu.uz

Заключен лицензионный договор с ООО
 «Научная электронная библиотека»
 № СИО-7755/2023 от 15.06.2023 года
 Журнал зарегистрирован управлением
 печати и информации Кашкадарьинской
 области 4 октября 2010 года и выдано
 свидетельство
 № 14-063.

Индекс публикации – 4074
 ISSN 2181-4732
 Э-ISSN 2181-4015
 Выпуск 62

Сдано в набор:

01.06.2026 г.

Подписано в печать:

22.06.2026 г.

Дата публикации:

25.06.2026 г.

Формат 60x84 1/8. Время установлено.
 Условный печатный лист 9,37. Печатный
 лист 9,11. Тираж 30. Заказ №198

Напечатано в издательстве
 «ИНТЕЛЛЕКТ» КарГТУ, г.Карши, улица
 Мустакиллик, 225

Шукурова О. П. Динамический алгоритм идентификации объектов на основе векторной квантованной временной ассоциативной памяти	83
Абдурахмонов У. Н. Развитие общественного транспорта в городе Карши	89
Зохидов М. Г., Жумаев Ш. Б. Анализ влияния изменений международных маршрутов грузовых перевозок на эффективность логистических систем	98
Рахимов О. Д. Компетентностный подход в обеспечении безопасности труда: американская и европейская концепции компетентности	105
Мустафаев Б. Э. Межотраслевой сравнительный анализ культуры охраны труда в малых предприятиях Узбекистана	113
Аскарлов М., Рахимов Н. З. Повышение эффективности солнечного опреснителя с использованием капиллярно-структурированной пористой среды: трёхмерный численный анализ и экспериментальная валидация	119
Хазратов А. Н., Абдураходов С. А. Сравнительный анализ методов расчёта транспортирующей способности потока для прогнозирования деформаций русла каналов с малосвязными грунтами	127
Авлакулов А. М. Анализ изменения структуры потока при движении газожидкостной смеси в трубопроводах в условиях месторождения	137
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ	
Ёдгоров Н. Г., Куйлиева М. Б. Влияние схем и способов посадки на динамику формирования листовой поверхности батата	142

Решением Совета ВАК Республики Узбекистан журнал «Инновационные технологии» включен в перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных научных результатов докторских диссертаций по следующим отраслям науки:

04.00.00 — ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.00.00 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

06.00.00 — СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

08.00.00 — ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Журнал «Инновационные технологии» в 2023 году включен в базу данных РИНЦ интегрированного научного информационного портала eLIBRARY.RU

Журнал выходит каждые три месяца



ISSN 2181-4732

INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Scientific and technical
Journal founded
in 2010

**Volume 62,
Number 2, 2026**

Scientific and technical journal was
published since March 2011

Founder:

Karshi State Technical University

EDITORIAL BOARD:

Editor in Chief:

doctor of physics and mathematics
sciences, professor Nematov Sh. K.

Deputy Chief Editor:

doctor of technical sciences, professor
Uzakov G. N.

Executive Secretary:

candidate of technical sciences

Rakhmatov M. I.

Members of the editorial board:

Abdurakhmanov, K. Kh., DSc,
Prof., Academician of the Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan,
Zokhidov, R. A., DSc, Prof.,
Academician of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan,
Igamberdiev, Kh. Z., DSc, Prof.,
Academician of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan,
Sednin, V. A., DSc, Prof. (Belarus)
Aldoshin, N. V., DSc, Prof. (Russia)
Khanov, N. V., DSc, Prof. (Russia)
Manokhina, A. A., DSc, Prof. (Russia)
Gibadullin, A. A., Ph.D., Associate Professor
(Russia)
Voynash S. A., DSc, Prof. (Russia)
Morkovkin, D.Y., PhD, Associate Professor
(Russia)
Perskaya, V. V., DSc, Prof. (Russia)
Molchanov, I. N., DSc, Prof. (Russia)
Xarchenko, V. V., DSc, Prof. (Russia)
Sidirov, V. A., DSc, Prof. (Russia)
Mixtiyeva, A., PhD, Associate Professor
(Azerbaijan)
Sadridinov, M. I. PhD, Associate Professor
(Tajikistan)
Abdelhamid, M. A., PhD. (Arab Republic of
Egypt)
Agzamov, A. Kh., DSc, Prof.
Umurzakov, R. A., DSc, Prof.
Bakiev, M. R., DSc, Prof.

CONTENTS

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES

Sh. Turdiev, Sh. Turdiev, S. Agzamova, I. Kilichov, U. Rakhimov. Results of refining the geological structure of the Sherkent oil and gas field	7
I. Haydarov, A. Murodov, S. Sonayev, Sh. Shabonova. Technology for strengthening complex geological formations	16

TECHNICAL SCIENCES

A. Nurmonov, M. Ashurov, U. Asranova, U. Baltayeva, S. Azimov. Comparative analysis of lignin extraction methods from cotton husk waste for the production of drilling fluid reagents	24
G. Uzakov, U. Ibragimov, A. Xusenov. Mathematical model and energetic analysis of a ground-source heat pump heating system for a solar greenhouse	31
Sh. Latipov, H. Togayev, D. Shukrullayev. Modeling of dynamic (column) adsorption and breakthrough curves in an organobentonite bed	40
Yu. Babadzhanov, I. Babadzhanova. Unsteady problem of fluid flow in a channel of variable cross-section	49
A. Khazratov, M. Rakhmatov, I. Gayimnazarov, S. Abduahadov. Channel Deformation processes in the Amu-Bukhara machine canal and the main factors causing them	58
U. Jonkobilov, S. Jonkobilov, U. Rajabov, B. Jonkobilov, Z. Ruzimurodov, Sh. Bahodirov, U. Mamashoyev. Calculation of water hammer in pipelines considering volumetric cavitation	65
Sh. Latipov, I. Gaimnazarov, Sh. Jorayeva, U. Otakulov, M. Egamov. Modern methods for calculating bed load and suspended sediment discharge in a trapezoidal channel	71
M. Avlakulov, J. Egamberdiyev. Study of the impact of reservoir hydrological indicators on the meliorative condition of lands within its zone of influence (A case study of the Kamashi reservoir, Kashkadarya region)	77

Bobomirzaev, P. Kh., DSc, Prof.
 Xujakulov R., DSc, Prof.
 Jonkobilov, U. U., DSc, Prof.
 Mamatov, F. M., DSc, Prof.
 Urishev, B., DSc, Prof.
 Alikulov, S. R., DSc, Prof.
 Avlakulov, M., DSc, Prof.
 Eshev, S. S., DSc, Prof.
 Ermatov, N. Kh., DSc, Prof.
 Ergashev, R. Kh., DSc, Prof.
 Khamraeva, S. N., DSc, Prof.
 Akhmedov, A. N., DSc, Prof.
 Shodiev, A. N., DSc, Associate Professor.
 Eshkobilov, O. Kh., DSc, Associate Professor.
 Chuyanov, D. Sh., DSc, Prof.
 Eshdavlatov E. U., DSc, Prof.
 Lutfullaev S. Sh., PhD, prof.
 Rakhimov, O. D., PhD, prof.
 Yarboboiev, T. N., PhD, prof.
 Uzakov Z., PhD, Associate Professor
 Panjiev, S. A., PhD, Associate Professor
 Matchanova D. Sh., PhD
 Mirzayeva D. A., PhD, Associate Professor

Technical editor:

Togaev I.Y.

Analytical group:

Mamatov F.M., Ergashev R.Kh.,
 Uzokov G.N., Ermatov N.Kh.

Address:

180100, Karshi city,
 Mustakillik street, 225
 Telephone: 75 221 09 23
 +998 93 421 70 76

Website: <https://innotex-journal.uz>

E-mail: ilmiy.prrektor@kstu.uz

A license agreement was concluded with
 Scientific Electronic Library LLC No.
 SIO-7755/2023 from 06/15/2023

The journal was registered by the press and
 information department of Kashkadarya region
 on October 4, 2010 and a certificate was issued
 No. 14-063.

Publication index – 4074
 ISSN 2181-4732
 E-ISSN 2181-4015
 Issue 62

Delivered for set:

01/06/2026.

Signed for printing :

22/06/2026.

Publication date:

25/06/2026.

Format 60x84 1/8. The time has been set.
 Conditional printed sheet 9.37.
 Printed sheet 9.11. Circulation 30.
 Order No198.

Published in the publishing house
 “INTELLECT” KarSTU, Karshi,
 Mustakillik street, 225

O. Shukurova. Algorithm for identifying dynamic objects based on vector-quantized temporal associative memory	83
U. Abdurakhmonov. development of public transport in the city of Karshi	89
M. Zohidov, Sh. Jumaev. Analysis of the impact of changes in international freight transport routes on the efficiency of logistics systems	98
O. Rakhimov. Competence-based approach in occupational safety: American and European concepts of competence	105
B. Mustafayev. Comparative analysis of occupational safety culture in small enterprises of Uzbekistan by industry	113
M. Asqarov, N. Rakhimov. Enhancing solar desalination efficiency through capillary-structured porous media: a three-dimensional coupled numerical analysis and experimental validation	119
A. Khazratov, S. Abduahadov. Comparative Analysis of sediment transport capacity methods for predicting channel bed deformation in cohesive-bed canals	127
A. Avlakulov. Analysis of flow structure changes during gas-liquid flow in pipelines under field conditions	137
AGRICULTURAL SCIENCES	
N. Yodgorov, M. Kuyliyeva. The influence of planting systems and methods on the dynamics of leaf yield in sweet potato	142

By the decision of the Council of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, the journal “Innovative Technologies” is included in the list of scientific publications recommended for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations in the following fields of science:

04.00. 00 — GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES
05.00.00 — TECHNICAL SCIENCES
06.00.00 — AGRICULTURAL SCIENCES
08.00.00 — ECONOMIC SCIENCES

In 2023, the journal “Innovative Technologies” is included in the RSCI database of the integrated scientific information portal eLIBRARY.RU

The journal is published every three months

РЕЗУЛЬТАТЫ УТОЧНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШЕРКЕНТ

Турдиев Шахбоз Шермамат угли¹-доктор технических наук, профессор, E-mail: shakhbozturdiyev@gmail.com, ORCID: 0009-0000-2507-3490, Science ID: DQD-1225-0008

Турдиев Шохжахон Шермамат угли¹- докторант (PhD),
E-mail: shoh_9699@mail.ru, ORCID: 0009-0004-2441-3798, Science ID: FQD-0426-0133

Агзамова Севара Авазовна²- доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент,
E-mail: atabekagzamov@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9948-5137, Science ID: MQD-0426-0165

Киличов Икром Комил угли¹-докторант (PhD), E-mail: ikrom.qilichov95@gmail.com,
ORCID: 0009-0000-7213-8285, Science ID: MQD-0426-0165

Рахимов Улугбек Закирович²-докторант (PhD), E-mail: u.rakhimov@saneg.com,
ORCID: 0009-0007-7671-4690, Science ID: DQD-1225-0008

¹Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

²Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье представлены результаты 3D геологического моделирования Шеркентского нефтегазового месторождения на основе программного продукта «Петрол» компании «Shlumberge».

Структура Шеркент была подготовлена к глубокому бурению в 2007 году на основе интерпретации данных трехмерных (3D) сейсморазведочных работ. Площадь расположена в зоне распространения карбонатных отложений глубоководного типа, на границе субширотного вытянутого горста, состоящего из субширотных разломов с амплитудой 50-100 м и разломов северо-восточного направления.

Опорные трещины разделяют горст на отдельные блоки с амплитудой от 0 до 50 м. Разлом субмеридионального направления отделяет Шеркентский структурный блок от Мангыта. Разломы, образующие блоковую структуру территории, сформировались в период киммерийской фазы тектогенеза. При этом более высокие ангидриты и более молодые отложения не подвергаются трещиноватости.

Определена геологическая модель месторождения, детально изучено распространение коллекторов в среде, определены биогермные конструкции и разломы коллекторов в разрезах скважин, обоснована возможность увеличения геологических запасов нефти на 15,6%.

Ключевые слова: месторождение, залежь, модель, коллектор, трещиноватость, уточнение, скважина, разрез, запас, прирост.

UO'K: 622.726

SHERKENT NEFTGAZ KONINING GEOLOGIK TUZILISHINI ANIQLASHTIRISH NATIJALARI

Turdiyev Shahboz Shermamat o'g'li¹- texnika fanlari doktori, professor

Turdiyev Shohjahon Shermamat o'g'li¹- doktorant (PhD)

Agzamova Sevara Avazovna²- texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Qilichov Ikrom Komil o'g'li¹- doktorant (PhD)

Rahimov Ulug'bek Zokirovich²- doktorant (PhD)

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

²Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. Maqolada "Shlumberge" kompaniyasining "Petrel" dasturiy mahsuloti asosida Sherkent neft-gaz konini 3D geologik modellash tirish natijalari taqdim etilgan.

Sherkent strukturasi 2007-yilda uch o'lchamli (3D) seysmik razvedka ishlarining ma'lumotlari talqini asosida chuqur burg'ilashga tayyorlangan. Maydon chuqur suv havzalari tipidagi karbonatli yotqiziqlar tarqalgan zonada, amplitudasi 50–100 m bo'lgan kenglik bo'ylab yo'nalgan yoriqlar va shimoli-sharqiy yo'nalishdagi yoriqlardan tashkil topgan cho'zinchoq gorst chegarasida joylashgan.

Tayanch yoriqlar gorstni amplitudasi 0 dan 50 metrgacha bo'lgan alohida bloklarga ajratadi. Meridional yo'nalishga yaqin yoriq Sherkent strukturaviy blokini Mang'itdan ajratib turadi. Hududning blokli tuzilishini hosil qilgan yoriqlar tectogeneznining kimmeriy bosqichida shakllangan. Shu bilan birga, yuqorida joylashgan angidritlar va yoshroq jinslar darzlanishga uchramagan.

Konning geologik modeli aniqlanib, kollektorlarning muhitda tarqalishi batafsil o'rganildi, quduqlar kesimida kollektorlarning biogerm tuzilmalari va yoriqlari belgilandi hamda neftning geologik zaxiralarini 15,6 foizga oshirish imkoniyati asoslab berildi.

***Kalit so'zlar:** kon, uyum, model, kollektor, yoriqlilik, aniqlashtirish quduq, kesim, zaxira, o'sish.*

UDC: 622.726

RESULTS OF REFINING THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE SHERKENT OIL AND GAS FIELD

Shahboz Turdiev¹, doctor of technical sciences, professor

Shohjahon Turdiev¹, doctoral student

Sevara Agzamova², doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Ikrom Kilichov¹, doctoral student

Ulugbek Rakhimov², doctoral student

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article presents the results of a 3D geological model of the Sherkent oil and gas field, created using Schlumberger's Petrel software.*

The Sherkent structure was prepared for exploratory drilling in 2007 based on the interpretation of 3D seismic survey data. The area is situated within a zone of deep-water carbonate deposits, on the boundary of a sublatitudinally trending horst composed of sublatitudinal faults with amplitudes of 50–100 m and faults of a northeastern trend.

Key faults divide the horst into separate blocks with amplitudes ranging from 0 to 50 m. A fault with a submeridional trend separates the Sherkent structural block from Mangyt. The faults that form the area's block structure originated during the Cimmerian phase of tectogenesis. In contrast, the overlying anhydrites and younger deposits are not fractured.

A geological model of the field was established, the distribution of reservoirs in the environment was studied in detail, bioherm structures and reservoir faults were identified in well sections, and the potential to increase geological oil reserves by 15,6% was substantiated.

Keywords: *deposit, deposit, model, collector, fracturing, refinement, well, section, reserve, growth.*

Введение

Нефтегазовая отрасль Республики Узбекистан характеризуется значительным количеством месторождений, находящихся на поздней стадии разработки. Для большинства из них типичны осложняющие геолого-физические условия, такие как наличие газовых и нефтяных оторочек, малая эффективная мощность продуктивных пластов (менее 5 м), а также высокая неоднородность коллекторов. Указанные факторы обуславливают низкий коэффициент извлечения нефти (КИН) и снижение эффективности традиционных технологий разработки [1, 2].

В условиях истощения легко извлекаемых запасов особую актуальность приобретает вовлечение в разработку остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти, что требует применения современных методов анализа и обоснования геолого-технических мероприятий.

В последние годы для анализа текущего состояния разработки и выбора рациональных вариантов дальнейшей эксплуатации месторождений активно внедряются методы трёхмерного геологического и гидродинамического моделирования (3D-моделирование). Данные технологии позволяют детально учитывать геологическую неоднородность, выявлять проблемные зоны продуктивных пластов и обосновывать эффективные решения по увеличению КИН [1, 2].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрано Шеркентское нефтегазоконденсатное месторождение, являющееся по своим геолого-промысловым характеристикам типичным представителем месторождений Узбекистана с низким коэффициентом нефтеизвлечения (КИН) и находящееся на завершающей стадии разработки. Данное месторождение отличается малой мощностью продуктивных пластов, сложностью строения залежей и наличием трудноизвлекаемых запасов.

Структура Шеркент была подготовлена в 2007 году для глубокого бурения на основе интерпретации данных трёхмерной сейсморазведки (3D). Площадь расположена в зоне распространения карбонатных отложений глубоководного типа, в пределах горста субширотного простирания, который образован разломами субширотного и северо-восточного направлений с амплитудой 50-100 м.

Оперяющие разломы делят горст на отдельные блоки, амплитуда которых варьируется от 0 до 50 м. Разлом субмеридионального направления отделяет блок структуры Шеркент от блока структуры Мангит. Разломы, создающие блочное строение района, сформировались в период киммерийской фазы тектогенеза. При этом верхние ангидриты и более молодые отложения разломами не затронуты.

В тектоническом отношении месторождение Шеркент расположено в пределах центральной части Бешкентского прогиба Чарджоуской тектонической ступени, вблизи месторождения Шакарбулак.

Структура Шеркент представляет собой двухкупольную брахиантиклинальную складку субширотного простирания, с юга и севера ограниченную разрывными нарушениями (рис.1), размеры структуры по изогипсе минус 3175 м составляют:

- восточный купол – $3,60 \times 1,35$ км, амплитуда 60 м, площадь $4,621 \text{ км}^2$;
- западный купол – $2,35 \times 1,75$ км, амплитуда 75 м, площадь $3,368 \text{ км}^2$.

Промышленная нефтегазоносность месторождения Шеркент связана с отложениями горизонтов XV и XVa верхней юры (рис.2).

Основные параметры продуктивных горизонтов отдельно по Восточному и Западному куполов месторождения приведены в табл 1.

Геологические модели представляются в виде трёхмерных объёмных (3D) сеток либо в виде послойных цифровых карт. Трёхмерная модель сопровождается осреднением параметров по пластам или зональным интервалам и дополняется набором структурных карт и послойных карт осреднённых параметров [3, 4]. Геологическая модель (3D) месторождения Шеркент создана с использованием программного комплекса Petrel, широко используемого на месторождениях Узбекистана [5, 6, 7, 8, 9, 11, 12].

При создании геологической модели выделяют следующие этапы [4]:

1. Уточнение геологического строения месторождений углеводородов.
2. Уточнение запасов углеводородов.
3. Создание геологической основы для эффективной разработки месторождений углеводородов.

Рассмотрим решение этих задач на примере месторождения Шеркент [5, 6, 7, 8, 12].

Таблица 1. Геолого-физические характеристики продуктивных горизонтов месторождения Шеркент

Параметры	Единица измерения	Восточный купол	Западный купол
Тип залежи	-	Массивный	Массивный
Продуктивные горизонты	-	XV+XVa	XV+XVa
Тип коллектора	-	Поровый	Поровый
Площадь нефтеносности	тыс.м ²	2250	861
Эффективная нефтенасыщенная толщина	м	6,2	7,5
Площадь газоносности эффективная толщина	тыс.м ²	1889	861
Эффективная газонасыщенная толщина	м	2,8	4
Коэффициент открытой пористости нефтенасыщенной части	доли ед.	0,107	0,107
Коэффициент нефтенасыщенности	доли ед.	0,77	0,77
Коэффициент открытой пористости газонасыщенной части	доли ед.	0,102	0,102
Коэффициент газонасыщенности	доли ед.	0,71	0,71
Абсолютная отметка ВНК	м	-3175	-3175
Абсолютная отметка ГНК	м	-3143	-3143
Коэффициент песчанистости	доли ед.	0,21	0,21
Начальное пластовое давление	МПа	48,5	48,5
Текущее пластовое давление	МПа	32,6	25,4
Плотность нефти в поверхностных условиях	кг/м ³	902	902
Объемный коэффициент нефти	доли ед.	1,79	1,79
Текущий коэффициент извлечения нефти (запасы категории C ₁ +C ₂)	доли ед.	0,033	0,093
Выработанность извлекаемых запасов (запасы категории C ₁ +C ₂)	%	15,57	43,32

Сбор данных. Начальным этапом создания цифровой геологической модели является сбор разнообразных геологических данных. В рамках исследования месторождения «Шеркент» осуществлялся сбор геофизических данных, результатов бурения скважин, гидродинамических параметров и других данных. Геологические исследования проводились с применением современных технологий, таких как сейсмическая томография и электромагнитные методы исследования.

Обработка данных. Полученные данные подвергались комплексной обработке для устранения шумов, коррекции аномалий и повышения точности. Применялись современные алгоритмы обработки данных, включая методы машинного обучения и статистического анализа для улучшения достоверности результатов.

Построение трёхмерной геологической модели. На основе обработанных данных осуществлялось построение трёхмерной цифровой модели подземных структур. Применялись методы геомоделирования, включая геостатистические подходы, для учёта различных геологических параметров и создания точного представления геологической структуры.

Интеграция данных. Проводилась интеграция различных типов данных для создания комплексных моделей. Совмещение геологических и гидродинамических данных позволило получить более полное представление о физических свойствах подземных образований.

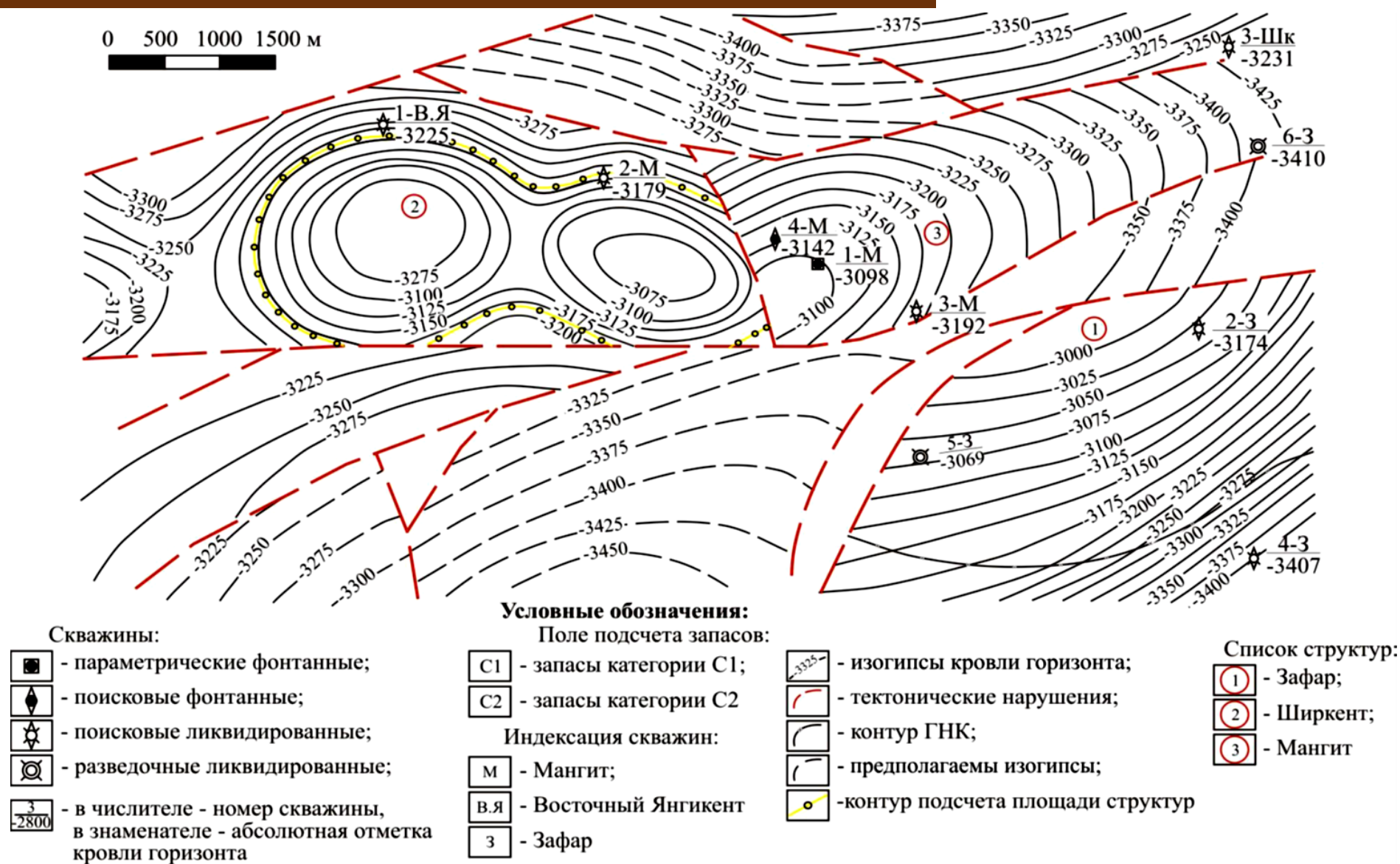


Рис.1. Структурная карта по кровле горизонта XV из подсчет запасов, 2007 г.

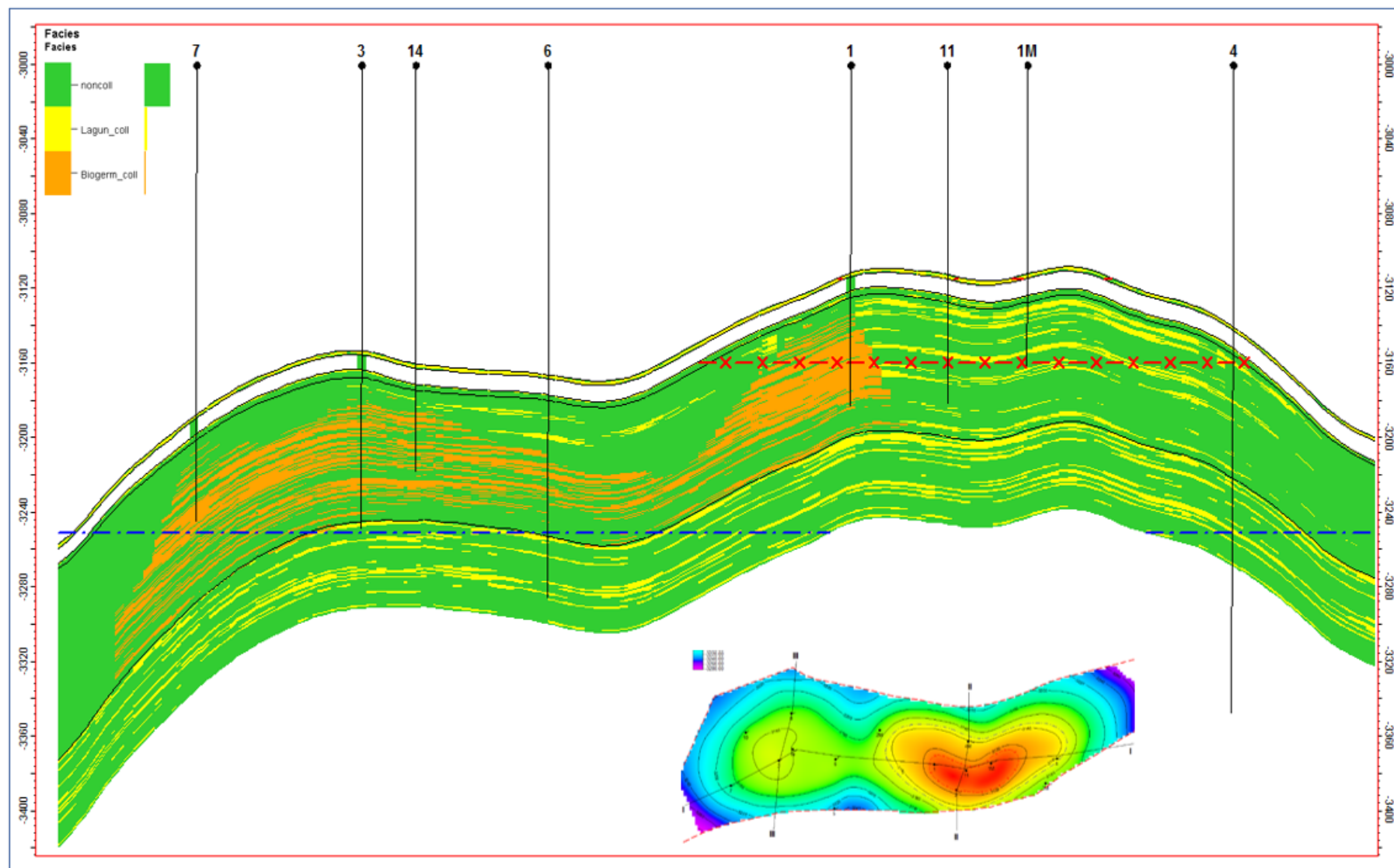


Рис.2. Разрез куба фации с наложенным профилем I-I.

Гидродинамическое моделирование. Применение гидродинамических моделей для анализа и прогнозирования динамики подземных флюидов.

Использовались численные методы решения уравнений фильтрации для оценки потоков жидкости и определения влияния геологической структуры на распределение давлений и течение углеводородов.

Визуализация результатов. Результаты моделирования визуализировались с использованием современных инструментов и программ для создания трёхмерных графических изображений. Это обеспечивало наглядное представление о геологической структуре и динамике разработки месторождения «Шеркент».

Статистический анализ. Статистический анализ полученных результатов моделирования проводился для оценки надежности прогнозов и выявления ключевых факторов, влияющих на поведение подземных систем.

На месторождении Шеркент нефтегазоконденсатная залежь является массивной. В качестве исходных данных для создания 3D геологической модели для продуктивных горизонтов XV, XV-ПР, XVа месторождения Шеркент была использована следующая информация:

- структурная карта по кровле XV горизонта из отчёта ПЗ (рис.1);
- координаты и альтитуды по 15 скважинам, данные по инклинометрии по 14 скважинам;
- стратиграфическая разбивка по скважинам на основании работ предыдущих лет.

В целом полнота и качество исходных данных являются достаточными для построения детальных геологических моделей продуктивных горизонтов месторождения Шеркент.

Создание детальной геологической модели включала в себя несколько основных этапов:

- подготовка, контроль качества и загрузка исходных данных;
 - структурное моделирование и осреднение скважинных данных;
 - построение трёхмерной геологической сетки;
 - построение литологической модели;
 - построение петрофизической модели;
 - оценка геологических запасов углеводородов;
 - оцифрованные каротажные диаграммы в формате Las по 13 скважинам;
 - результаты интерпретации ГИС по 13 скважинам, результаты выделения эффективных толщин по 13 скважинам;
- геологическое строение и нефтегазоносность месторождения Шеркент.

Результаты и обсуждение

Уточненная трёхмерная геологическая модель месторождения Шеркент позволила получить следующие результаты:

- выделена биогермная постройка в разрезах скважин №1, 3, 6, 7 и 2 площади Мангит;
- осуществлено более детальное пространственное распространение коллектора и их фильтрационно-ёмкостных свойств в межскважинных зонах;
- подтверждены запасы свободного газа;
- за счет выделения трещиноватых коллекторов в горизонте XV-ПР осуществлен прирост начальных запасов нефти;
- переинтерпретацией материалов ГИС эффективная нефтегазонасыщенная толщина увеличена в 3 раза, что устранило несоответствие между накопленной нефтью и эффективной толщиной горизонта по скважинам (рис.3).

Более детальное изучение геологического строения месторождения Шеркент достигнуто путём использования атрибутного анализа сейсмического куба и RMS - атрибута биогерм.

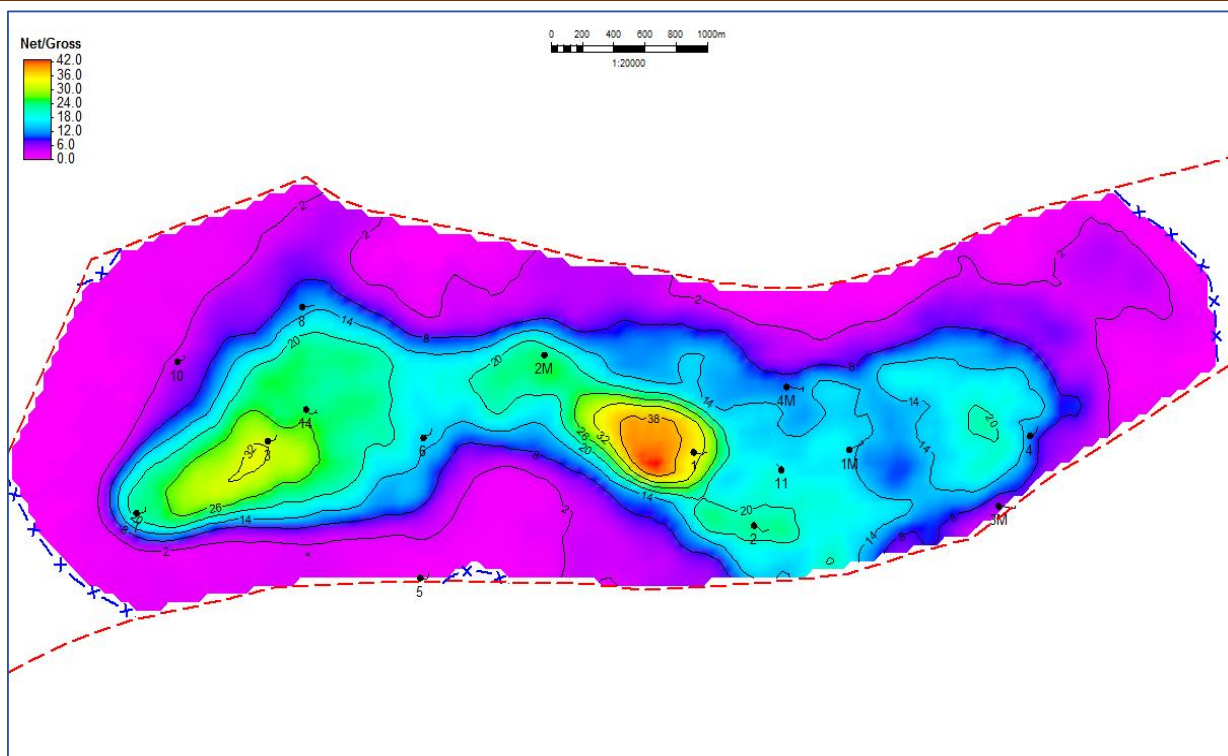


Рис.3. Карта эффективных нефтенасыщенных толщин.

Закключение

Проведенные исследования доказали, что уточнение геологического строения месторождений, находящихся в поздней стадии разработки с применением современных методов 3D моделирования, является важным инструментом для решения задач геологии и эксплуатации залежей углеводородов.

Результаты исследования по 3D моделированию позволяют выявить основные особенности геологического строения месторождений и продуктивных горизонтов, но и обосновать эффективные технологии извлечения остаточных запасов нефти.

В связи с особой актуальностью увеличения добычи углеводородов и повышения степени извлечения геологических запасов нефти, газа и конденсата рекомендуется проведение аналогичных исследований и на остальных длительно разрабатываемых месторождениях Узбекистана.

Литература

- [1] Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан //– Ташкент, Zamin Nashr, 2019. – 820 с.
- [2] Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. - Москва.: Недра, 1985. 308 с.
- [3] Маликова Н.А. Ремасштабирование цифровых геологических моделей юрских отложений для гидродинамического моделирования // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. -Ташкент, 2021. -№3. -С.339-346.
- [4] Jamilov A.F., Malikova N.A. Analysis of efficiency of sidetracking at the late stage of development of one field of Mubarek group based on the geological and hydrodynamic model // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. -India, 2021. -Vol.8, Issue 1. -P. 16336-16340.
- [5] Турдиев Ш.Ш. Геологические и гидродинамические аспекты месторождений углеводородов в зеленой экономике // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot. -Ташкент, №12, 2024. -№12 -С. 68-73.

- [6] Turdiyev Sh.Sh. Kam o'tkazuvchan kollektorlarga ega uglevodorod konlarini rivojlantirish usullari va yondoshuvlari // INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR. -Karshi, 2024. – Специальный выпуск. -С.33-34.
- [7] Турдиев Ш.Ш. Улучшение разработки нефтегазоконденсатного месторождения Ширкент через уточнение геологической и гидродинамической модели // “Будущее гидрогеологии: Современные тенденции и перспективы” Сборник материалов международной научно-практической конференции. -Карши, 2024. -С. 168-170.
- [8] Турдиев Ш.Ш. Применение современных методов геологического и гидродинамического моделирования для эффективного управления нефтегазоконденсатными месторождениями в Узбекистане // «O'zbekistonning innovatsion taraqqiyotida yoshlarning o'rni» yosh olimlar va iqtidorli talabalarning respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari to'plami. -Karshi, 2024. -С.134-136.
- [9] Аббасова С.А., Турдиев Ш.Ш., Агзамова С.А. Метод адаптации гидродинамической модели газоконденсатных месторождений в условиях отсутствия информации по добыче газа по части площади газононости // Материалы международной конференции “Инновационные подходы к локализации” -Карши, 2023. -С. 143-145.
- [10] Иванов А.Н., Щекин А.И. Особенности влияния гидроразрыва пласта на разработку залежей нижнего олигоцена месторождения Белый Тигр // Нефтяное хозяйство. -Москва, 2010. -№5. -С.90-92.
- [11] Turdiyev Sh.Sh., Muhammadiyev H.M., Boymurodova N.M., Abdunazarov S.Ch. Gaz rejimida ishlaydigan gaz osti neft uyumlarini ishlash tizimlari // Eurasian Journal of academic research Innovative Academy Research Support Center, 2023. -№3(1). -С. 64-68.
- [12] Турдиев Ш.Ш. Этапы создания цифровой геологической модели и основные виды геологических и гидродинамических моделирований // Innovatsion texnologiyalar Ilmiy-texnik jurnal. -Qarshi, 2023. Maxsus son, - 11-16 b.
- [13] Omonov S.P., Turdiev Sh.Sh. Improving The Efficiency of Developing Oil Fields with Hard-to-Recover Reserves Based on Refining Geological Hydrodynamic Models // International Journal of Scientific Trends –(IJST). - Volume 3, Issue 12, -Tashkent December 2024. -P. 366-369.

UO‘K: 622.276

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.02>

MURAKKAB QATLAMLARNI MUSTAHKAMLASH TEXNOLOGIYASI

Haydarov Islom Qosimovich¹ – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: xaydarov_2880@mail.ru, ORCID: 0009-0004-6059-4282, Science ID: FQD-0827-0185
Murodov Abdullaziz Ilhom o‘g‘li² – katta o‘qituvchi, E-mail: murodov_8600@mail.ru,
ORCID: 0009-0008-5471-7038, Science ID: MQD-0626-0016
Sonayev Sanjar Nurmatovich² – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, (PhD)
E-mail: sonayev_7800@mail.ru, ORCID: 0009-0002-1873-1007, Science ID: FQD-0626-0148
Shabonova Shahnoza Sharofiddin qizi¹ – magistrant, E-mail: shabonova_20@mail.ru,
ORCID: 0009-0007-4459-8852, Science ID: MQD-4596-4241

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

²Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent., O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada agressiv muhit hosil qiluvchi tuzli qatlamlarni samarali burg‘ilab o‘tish va quduq devorlarini sifatli mustahkamlash bo‘yicha olib borilgan amaliy ishlar natijalari keltirilgan. Geologik murakkab bo‘lgan tuzli qatlamlar uchun ishlatiladigan tamponaj qorishmalari turlari, xossalari hamda parametrlari tadqiqotlangan. Bu borada ushbu qatlamlar uchun olib borilgan ishlar quduqlarni mustahkamlash jarayonini muvaffaqiyatli borishini ta‘minlash mahalliy xomashyolar asosida hamda sanoat chiqindilardan “Zola-M1” modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining tarkibi ishlab chiqilgan hamda murakkab qatlamlarga qo‘llanish bo‘yicha amaliy yechimlar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: tamponaj qorishmalari, quduqlarni mustahkamlash, suv-sement ko‘rsatkichi, sementlash kallagi, qorishma qotishi, zola smolalari, aralashtiruvchi bo‘shliq, qiya va gorizontal quduqlar, suyuqlik sarfi, avariya asoratlar, reologik tavsif, dinamik siljish kuchlanishi.

UDK: 622.276

ТЕХНОЛОГИЯ КРЕПЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПЛАСТОВ

Хайдаров Ислон Косимович¹ – доктор философии по техническим наукам (PhD)
Муродов Абдуллазиз Илхом угли² – старший преподаватель
Сонаев Санжар Нурматович² – доктор философии по техническим наукам (PhD)
Шабонова Шахноза Шарофиддин кизи¹ – магистрант

¹Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

²Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В статье представлены результаты практических работ по эффективному бурению солевых пластов, образующих агрессивную среду, и качественному укреплению стенок скважин. Исследованы виды, свойства и параметры тампонажных растворов, применяемых для геологически сложных солевых пластов. В связи с этим работы, проведенные для этих пластов, обеспечивают успешное протекание процесса укрепления скважин, разработан состав модифицированного тампонажного раствора "Зола-М1" на основе местного сырья и промышленных отходов, а также приведены практические решения по его применению в сложных пластах.

Ключевые слова: тампонажные растворы, крепление скважин, водоцементное отношение, цементировочная головка, схватывание (отверждение) раствора, зольные смолы, смесительная полость, наклонно-направленные и горизонтальные скважины, расход жидкости, последствия аварий, реологические характеристики, динамическое напряжение сдвига.

UDC: 622.276

TECHNOLOGY FOR STRENGTHENING COMPLEX GEOLOGICAL FORMATIONS

Islom Haydarov¹, doctor of philosophy in technical sciences

Abdullaziz Murodov², senior lecturer

Sanjar Sonayev², doctor of philosophy in technical sciences

Shahnoza Shabonova¹, master's student.

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

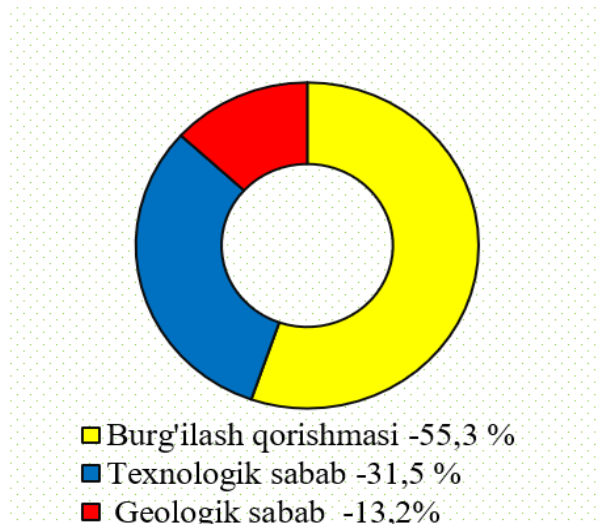
Abstract. The article presents the results of practical work on the effective drilling of salt layers that form an aggressive environment and the qualitative reinforcement of well walls. The types, properties, and parameters of comminution solutions used for geologically complex salt beds have been investigated. In this regard, the work performed for these strata ensures the successful execution of the well reinforcement process; the composition of the modified "Zola-M1" cement slurry based on local raw materials and industrial waste has been developed, and practical solutions for its application in complex strata have been presented.

Keywords: Cement slurries, Well cementing, Water-cement ratio, Cementing head, Slurry setting, Fly ash resins, Mixing cavity, Directional and horizontal wells, Fluid flow rate, Consequences of accidents, Rheological characteristics, Dynamic shear stress.

Kirish

Tuzli qatlamlarni burg'ilab o'tish murakkab jarayonlardan bo'lib, tuzli qatlamlarni burg'ilashda asosiy ko'rsatkichlar: qorishma parametri, burg'ilash rejimi hamda burg'ilash mashina jihozlari doim nazoratda ushlab turiladi [1].

Burg'ilash ishlarini reja asosida o'z vaqtida bajarilishida sodir bo'lishi mumkin bo'lgan asoratli holatlar salbiy ta'sir ko'rsatadi. Bu esa burg'ilash ishlarining cho'zilishiga hamda sarflanadigan mablag'ning ortishiga, avariya asoratlarning sodir bo'lishiga olib keladi [2].



1-rasm. Murakkab tuzli qatlamlarni burg'ilash jarayonida yuzaga kelgan asoratlarning taqsimlanishi.

O'zbekistonda oxirgi 20 yil davomida burg'ilangan izlov, izlov-qidiruv va ishlatish quduqlarini tahlil qilinganda asoratli va avariya holatlari aynan murakkab qatlamlarni burg'ilab o'tish jarayonida sodir bo'lganligini ko'rishimiz mumkin. Buxoro-Xiva neft va gaz maydonlarini murakkab tuzli qatlamlarni burg'ilash davomida sodir bo'lgan avariya asoratli holatlarning tahlili 1-rasmga umumlashtirildi.

Tahlillarga ko'ra bu davrda burg'ilangan 250 ta quduqlardan, 241 tasida burg'ilash jarayonida murakkab qatlamlarda hamda gilli qatlamlar oraliqlarida sodir bo'lganligini kuzatishimiz mumkin. Burg'ilash quvurlari hamda mustahkamlash kolonnalarining tutilib qolishi va mustahkamlovchi

quvurlarning ushlanishi kuzatilgan. Bu holatlarning sabablarini o'rganilganda tuzli qatlamlar hamda murakkab geologik qatlam omillari bilan bog'liqligini ko'rishimiz mumkin [4].

Bunga ko'ra tuzli qatlamlar va murakkab bo'lgan qatlamlarni burg'ilash jarayonida yuzaga kelgan asoratlarning yarmidan ko'pi to'g'ridan-to'g'ri burg'ilash qorishmasi sifati va uni to'g'ri boshqarish bilan bog'liqligi izlanishlar natijasida aniqlandi.

Tahlillarga ko'ra murakkab tuzli qatlamlarni burg'ilash jarayonida, quduq tubida burg'ilash quvurlarining ushlanib qolishi hamda ochiq favvoralarining hosil bo'lishiga olib kelgan asoratlar quyidagi uchta asosiy omil bo'yicha taqsimlanadi:

burg'ilash qorishmalari bilan bog'liq asoratlar – 63 ta (55,3%);

texnologik sabablar bilan bog'liq asoratlar – 36 ta (31,5%);

geologik sabablar bilan bog'liq asoratlar – 15 ta (13,2%).

Burg'ilash quvurlarini ko'tarish jarayonida quduqni o'z vaqtida burg'ilash qorishmasi bilan to'ldirmaslik holati quduq bosimining tushishiga olib keladi, natijada burg'ilash quvurlari siljish yoki tiqilib qolish xavfini oshiradi [6].

Materiallar va uslublar

Neft va gaz quduqlarini mustahkamlashda tamponaj qorishmasi quduqlarni mustahkamlash jarayonida ishlatiladigan sement asosidagi maxsus qorishma bo'lib, quduq stvolining barqarorligini ta'minlaydi, qatlamlarni izolyatsiyalaydi va quvurlar oralig'ini germetik yopishga xizmat qiladi [3]. Hozirda vaqtda neft va gaz quduqlarini mustahkamlash jarayonida yuqori samardorlikka ega bo'lgan portlandsementlarga ehtiyoj katta. Ushbu masalalarni bartaraf etish uchun Qarshi davlat texnika universiteti tadqiqotchilari hamda burg'ilash tashkilotlari xodimlari tomonidan hamkorlikda "murakkab tuzli qatlamlarni sifatli burg'ilab o'tish hamda sifatli mustahkamlash" bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlari olib borilib, amaly natijalarga erilishildi [5].

Murakkab tuzli qatlamlarni sifatli sementlash hamda sodir bo'ladigan asoratlarni oldini olish maqsadida tamponaj qorishmalarining modifikatsiyalangan optimal variantini yaratish uchun "Koson neftgaz quduqlarini sinash" AJ tashkiloti laboratoriyasida tajriba sinovlari o'tkazildi.

Natijalar va muhokama

Neft va gaz quduqlarini qurishda tamponaj qorishmasi quduqni sifatli sementlash uchun qo'llaniladi. U quduq devorlarini mustahkamlaydi, qatlamlararo suyuqlik almashinuvini cheklaydi hamda mustahkamlovchi quvurlarni ishonchli mahkamlashni ta'minlaydi [7].

Laboratoriyada tamponaj qorishmasini yartishda mahalliy xomashyolar asosida hamda sanoat chiqindilarini ikkilamchi qayta ishlash orqali tamponaj qorishmasining modifikatsiyalangan "Zola-M1" modulining tarkibi ishlab chiqildi. 2-rasmda "Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining klunker keltirildi.



2-rasm. "Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasi.

"Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasini yaratishda dastlab bozor talabi o'rganildi. "Zola-M1" qorishmasi bo'yicha tadqiqotlar olib borildi, unda tamponaj qorishmasining asosiy xususiyatlari: zichligi, qovushqoqligi, mustahkamligi, qattiqligi, yoyiluvchanligi hamda

konsistensiyasi laboratoriya sharoitida o'rganib chiqildi. "Zola-M1" tamponaj qorishmasini yaratishda quduqni mustahkamlash kerak bo'lgan qatlam oraliqlari mukammal o'rganildi. Qatlamda qo'llanish oraliqlari quduqning chuqurligi hamda harorat, bosimga bardoshliligi aniqlandi va quduqda qo'llanish qatlam oraliqlari aniqlab olindi [8]. Shundan so'ng mavjud tog' jinslariga, harorat, bosim, namlik hamda qatlamning siqilish koeffitsiyentlari ta'siri o'rganildi. "Zola-M1" tamponaj qorishmasi quduqni mustahkamlashda quyidagi yechimlarni beradi:

-neft va gaz quduqlarini mustahkam sementlash orqali quduqning uzoq muddat davomida asoratlarsiz ishlashi ta'minlanadi;

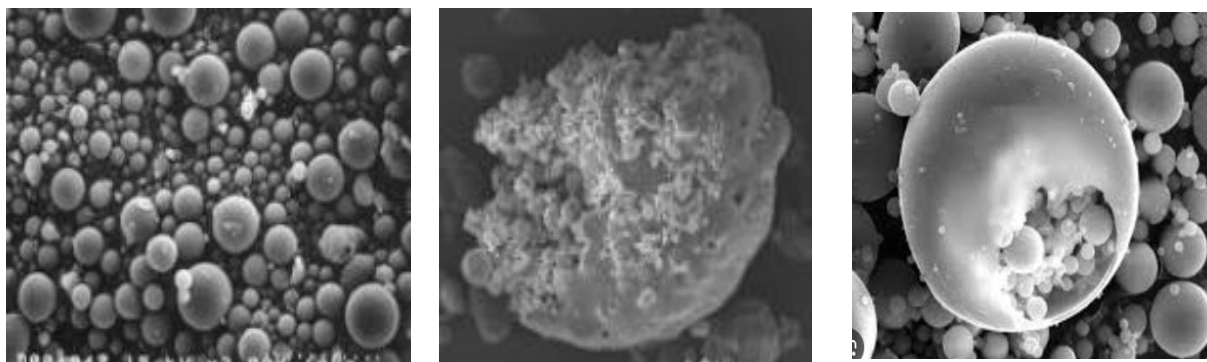
-quduqlarni sementlangandan keyingi bosqichda qatlamdan quduq tubiga suv kelishi cheklanadi;

-qatlam tog' jinslarining tamponaj qorishmalariga salbiy ta'siri oldi olinadi;

-mustahkamlovchi quvurlarning uzoq muddat korroziyaga uchramasligi ta'minladi;

-sementlashning samaradorligi orqali uning iqtisodiy hamda texnologik mavjud tamponaj qorishmalariga nisbatan samarali ekanligini belgilaydi.

"Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasini yaratishda mahalliy sanoat chiqindilarini dastlabki qayta ishlash va iqtisodiy jihatdan samarador ekanligi belgilandi. GRES (Davlat tuman elektr stansiyasi) kul-shlak chiqindilari yuqori dispersligi, oldindan quritish yoki maydalashni talab qilmasligi hamda iqtisodiy jihatdan arzonligi bilan ajralib turadi. Kimyoviy va mineralogik tarkibi sementga yaqin bo'lgani, shuningdek sharsimon zarrachalarning katta solishtirma yuzaga egaligi sababli ularni past suv-sement nisbatida ham tamponaj qorishmalariga samarali mineral qo'shimcha sifatida qo'llash mumkin. "Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasi klinkerining mikroskopik ko'rinishi va tuzilishi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. "Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining tarkibi.

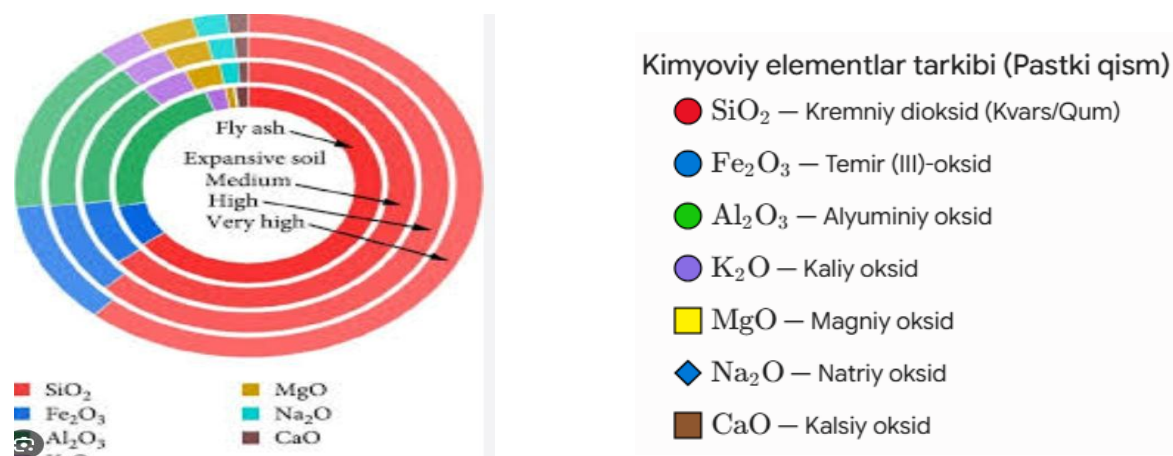
Zola-GRES ning kul-shlak chiqindilari (золашлаковые отходы) ko'mir yoqilganda hosil bo'ladigan eng asosiy sanoat chiqindilaridan biridir. Sharsimon zarralar (Cenospheres/ Plerospheres): tamponaj qorishmasida xuddi "sharikli podshipnik" singari g'ildirab, qorishmaning oquvchanligini (harakatchanligini) sezilarli darajada oshiradi.

G'ovakli notekis zarralar: to'liq yonmay qolgan ko'mir (uglerod) bo'laklari bo'lib, ular suvni o'ziga ko'p so'radi [9]. Natijada hosil bo'ladigan kul-shlak chiqindilari fraksion tarkibiga ko'ra ikki asosiy turga ajratiladi. Birinchi turga tutun gazlari oqimi bilan olib chiqiladigan mayda dispers kul zarralari (uchuvchi kul) kirs, ikkinchi tur qozonning pastki qismida to'planadigan yirik fraksiyalik shlak zarrachalaridan iborat bo'ladi. Ushbu chiqindilar tarkibi ularning kelib chiqish manbai va yoqilg'ining mineral tarkibiga bog'liq holda farqlanadi.

Tadqiqotlarda GRES kulidan tamponaj qorishmasi uchun mineral qo'shimcha sifatida foydalanish imkoniyatlari baholandi. Mazkur kul yuqori disperslik darajasiga ega bo'lib, uning solishtirma yuzasi $2570 \text{ m}^2/\text{g}$, o'rtacha zichligi esa $2,4 \text{ g}/\text{cm}^3$ ni tashkil etadi. Kimyoviy tahlil natijalariga ko'ra kul tarkibida asosiy oksidlar quyidagi miqdorlarda aniqlangan: SiO_2 – 53,12 %, Al_2O_3 – 16,96 %, Fe_2O_3 – 10,89 %, CaO – 2,69 %, MgO – 0,98 %, SO_3 – 0,14 %, TiO_2 – 0,61 % hamda $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – 2,97 %.

Kul tarkibida kalsiy oksidi (CaO) miqdorining nisbatan kam bo'lishi uning gidravlik faolligini pasaytiradi. Shu sababli ushbu material yuqori bog'lovchi xossalarga ega bo'lmasa-da, taxminan $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha bo'lgan harorat sharoitida sement tizimlari uchun samarali mineral to'ldiruvchi sifatida qo'llanilishi mumkin. Bunday qo'shimcha sement qorishmasining texnologik xususiyatlarini yaxshilash bilan birga, bog'lovchi material sarfini kamaytirish va iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi.

Atrof-muhitga ta'siri (muammolar). Chiqindilarni saqlash uchun juda katta hududlar (kulxonalar) talab etiladi. Havo va suv ifloslanishi: kuchli shamol esganda mayda kukunlar havoga uchib, chang hosil qiladi. Yomg'ir suvlari esa kul tarkibidagi og'ir metallarni yerosti suvlariga aralashtirishi mumkin. Ushbu chiqindilar ekologiyaga zarar yetkazishi mumkin, biroq qurilish va boshqa sohalarda juda qimmatli xomashyo hisoblanadi. "Zola-M1" modifikatsiyasining kimyoviy tuzilishi hamda murakkab qatlamdagi tog' jinslariga ta'siri 4-rasmda keltirilgan.



4-rasm. "Zola-M1" modifikatsiyasining kimyoviy asoslanishi.

Laboratoriyada o'rganish. GRES kuli laboratoriyada sinovdan o'tkazildi. Mayda kul sementga gidravlik qo'shimcha sifatida qo'shildi. Bu betonning mustahkamligini oshirdi va tannarxini kamaytirdi. Quduq devorini mustahkamlashda burg'ilash qorishmasiga qo'shgan holda ishlatish ham ijobiy samara berishi aniqlandi.

"Zola-M1" modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasi oquvchanligi AzNII konusi [2] yordamida tekshirilib, uning to'ldiruvchi sifatida qo'shish imkoniyatlari laboratoriyada o'rganildi. AzNII konusi laboratoriya qurulmasi 5-rasmda ko'rsatilgan.



5-rasm. AzNII konusi.

Olingan natija o'rtacha diametr, sement qorishmasining oqishchanligi (sm yoki mm larda) hisoblandi. Oquvchanlik ko'rsatkichi 180–220 mm oralig'ida bo'ldi.

Amaliy quduqlarni mustahkamlash jarayonida sement qorishmasi tinch holatda saqlanganda gidratatsiya reaksiyalari natijasida qovushqoqlik ortadi va material yarim qattiq strukturaga ega bo'la boshlaydi [3].

Sement aralashmasini tinch holatda quyuqlashish jarayonining o'sishi va uning yarim qattiq holatga aylanishi, uning ushlash jarayonining boshlanishi va yakunlanish bosqichlari bilan tavsiflanadi [9]. Tamponaj qorishmasining ushlash muddati standart sinov usuli bo'yicha Vika ignasi yordamida aniqlandi. Turg'unlik qorishmaning tayyorlanganidan keyingi belgilangan vaqt oralig'ida o'z tarkibiy bir xilligini saqlash qobiliyatini ifodalaydi. Tadqiqotda sement qorishmasi tayyorlangandan so'ng 2 soat davomida ajralib chiqqan erkin suv miqdori nazorat qilindi va uning qiymati umumiy hajmning 2,5% dan oshmasligi mezon sifatida qabul qilindi. Suv ajralish

ko'rsatkichi maxsus o'lchov silindri yordamida laboratoriya sharoitida aniqlandi. Sement toshining mexanik mustahkamligi uning egilish va deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish qobiliyati bilan baholandi. Sinovlarni amalga oshirish uchun 40×40×160 mm hamda 100×100×400 mm o'lchamdagi prizmatik namunalar tayyorlandi. Namunalar dastlab 24 soat davomida suv vannasida saqlandi, so'ng qoliplardan chiqarilib, suv sathidan taxminan 2 sm balandlikda joylashtirildi. Sinov davrida suvning fizik-kimyoviy xossalarini barqaror saqlash maqsadida u muntazam ravishda yangilanib turildi. Suv ajratish (filtratsiya) xossasi sement qorishmasining yuqori bosim ta'sirida erkin suyuqlik ajratish qobiliyatini tavsiflaydi. Mazkur ko'rsatkichni aniqlash jarayonida qorishma 7 MPa bosim ostida 30 daqiqa davomida ushlab turildi va ajralgan filtrat hajmi 200 sm³ ni tashkil etdi [5].

“Zola-M1” modifikatsiyalangan tamponaj sementi asosida tayyorlangan qorishmaning zichligi portlandsement bilan aralashtirilgan holatda nazariy hisoblash usuli orqali aniqlandi. Hisoblash quyidagi ifoda asosida bajarildi:

$$\rho_{tam.aral} = (1 + B)[(1 - A - C)\rho_s + B/\rho_{suyuq} + A/\rho_{asktm} + C/\rho_{zol}],$$

bu yerda B - suv-sement (suv-aralashma) nisbati; A va C - mos ravishda “Zola-M1” qo'shimchasi hamda portlandsementning massa ulushlari; ρ_s , ρ_{suyuq} , ρ_{asktm} , ρ_{zol} - mos ravishda sement, suv, suyuqlik aralashmasi, “Zola-M1” qo'shimchasi zichligi.

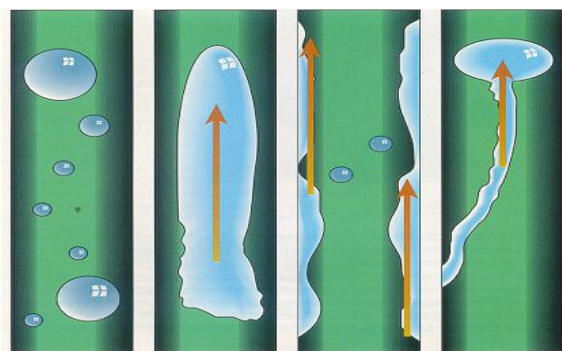
Tamponaj qorishmalarining qotish vaqtini uzaytirish uchun NTF (Nitril-trimetilfasfonova kislota) reagenti qo'shilish natijalari 1-jadvalda keltirildi.

Reagent sarfi 0,05-0,1% (Sement og'irligiga nisbatan), 250 °C muhitda ham o'z kuchini yo'qotmadi.

1-jadval. “Zola-M1” tamponaj qorishmasining harorat, bosim va vaqtga bog'liq holatda parametrlarining o'zgarishi

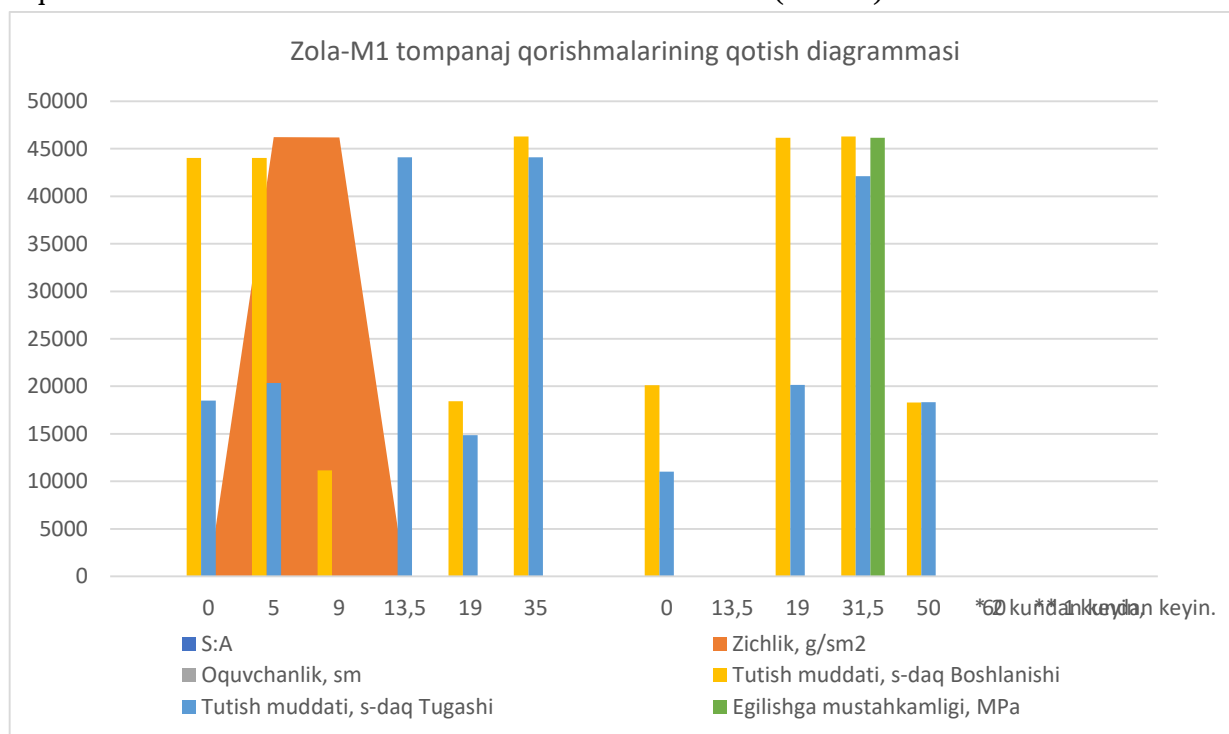
Zola-M1, %	S:A	Zichlik, g/sm ²	Oquvchanlik, sm	Tutish muddati, s-da		Mustahkam- ligi, MPa
				Boshlanishi	Tugashi	
		T =	22°C va p =	0,1 MPa		
0	0,5	1,85	21	7-20	9-50	2,9
5	0,5	1,7	20,5	7-20	9-55	
9	0,5	1,6	19,5	7-30	10-00	1,8
13,5	0,5	1,5	18,5	8-00	10-20	1,7
19	0,5	1,4	17	7-50	9-40	1,4
35	0,5	1,16	11	8-10	10-20	0,6
0	0,5	1,85	22,5	2-55	3-30	6,2
13,5	0,5	1,5	19	3-00	4-00	4,2
19	0,5	1,4	17	3-05	3-55	3,8
31,5	0,55	1,22	15,5	3-10	4-15	3,5
50	0,65	1,04	17,5	2-50	3-50	1,57
60	0,85	0,96	17	3-00	4-00	0,6

“Zola-M1” modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining laboratoriya tadqiqotlari natijalaridan ko'rinib turibdiki, “Zola-M1”–bu yuqori samarali yengillashtirilgan qo'shmadir, qaysiki, qotish muddatiga ta'sir qilmaydi va suv aralashma nisbatlarini katta qiymatda oshirishni talab qilmaydi. 6-rasmda qatlamga “Zola-M1” modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining ta'siri ko'rsatilgan.



6- rasm. “Zola-M1” sement toshining qatlamga ta’siri.

“Zola-M1” 35% li tarkibida aralashmaning zichligi $1,16 \text{ g/sm}^3$ ni tashkil qiladi, toshning mustahkamligi esa 2 kundan keyin – $0,6 \text{ MPa}$ ni tashkil qiladi. “Zola-M1” qo‘rishmasi 50% miqdorida $1,04 \text{ g/sm}^3$ gacha zichlikdagi aralashmani olish imkoniyatini beradi, formula bo‘yicha hisoblangan natijalarga mos keladi. Tajriba natijalari “Zola-M1” o‘zida barcha xususiyatlarni qatlam sharoitida saqlab qolishi hamda portlandsement bilan mustahkam qobiq hosil qilishi va quduqning uzoq muddat davomida ishlashini taminlab berishini korsatdi (7-rasm).



7-rasm. Zola-M1 modifikatsiyalagan tompañaj qorishmasining chuqurlikda qotish ko‘rsatkichlari.

Kimyoviy reagentlar bir vaqtda tamponaj qorishmalarining qovushqoqligini va reologik xossalarini ham o‘zgartirishi mumkin [10].

Olib borilgan tadqiqot ishlari natijasida quyidagilarga erishildi:

-ish bo‘yicha oldin bajarilgan ilmiy tadqiqot ishlarini tahlil qilgan holda quduqlarni sementlash jarayoni optimallashtirildi;

-murakkab geologik sharoitlarda quduqlarni sementlash uchun aniq “Zola-M1” tamponaj qorishmasi tarkibining ilmiy asoslari ishlab chiqildi;

-Buxoro-Xiva neft-gaz quduqlarini mustahkamlash uchun qo‘llaniladigan tamponaj qorishmasi modifikatsiyalandi;

-quduqlarni sementlashning yangicha metodlari tanlandi va texnologik ko‘rsatkichlari baholandi.

Xulosa

Tadqiqot davomida mahalliy xomashyo va GRES kul-shlak chiqindilaridan foydalanilgan holda ishlab chiqilgan “Zola-M1” modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasining laboratoriya sinovlari o‘tkazildi. Olingan natijalar ushbu tarkibning zarur oqimchanlik, qotish va mustahkamlik ko‘rsatkichlarini ta’minlashini, sement toshining zich va barqaror strukturasini hosil qilishini hamda quduq devori bilan mustahkamlovchi quvur orasida ishonchli germetik qatlam yaratishini tasdiqladi.

Laboratoriya tajribalari “Zola-M1” qo‘shimchasi qorishma zichligini boshqarish imkonini berishini, yuqori suv-sement nisbatini talab qilmasligini va qotish jarayonining texnologik me’yorlarda kechishini ko‘rsatdi. Buning natijasida sementlash sifati yaxshilanadi, qatlamlararo suyuqlik migratsiyasi kamayadi, quvurlarning korroziyaga chidamliligi ortadi hamda quduqning uzoq muddat xavfsiz ekspluatatsiya qilinishiga sharoit yaratiladi.

Shuningdek, sanoat chiqindilarini ikkilamchi xomashyo sifatida qo‘llash iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga ekologik yuklamani ham kamaytiradi. Bu esa mazkur modifikatsiyalangan tamponaj qorishmasini amaliyotda keng qo‘llash uchun muhim afzallik hisoblanadi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan “Zola-M1” tamponaj qorishmasini murakkab geologik sharoitdagi neft va gaz quduqlarini sementlash texnologiyasiga joriy etish, burg‘ilash jarayonida yuzaga keladigan asoratlar sonini kamaytirish, sementlash sifatini oshirish, quduqlarning xizmat muddatini uzaytirish hamda burg‘ilash ishlarining texnik-iqtisodiy samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1] Справочник инженера-нефтяника. Инжениринг резервуаров. Газпром. Москва. 2018.
- [2] Pearson Longman ed. English for the Oil Industry Level. 2016.
- [3] Oxford English for Careers: Oil and Gas 2 Student's Book. 2011.
- [4] Романов В.Г. Исследование и разработка модифицированных тампонажных композиций для изоляции водопроницаемых пластов с низким градиентом давления в нефтяных и газовых скважинах: диссертация кандидата технических наук. – Краснодар, 2002. – 125 с.
- [5] Сторчак А.В. Обоснование и разработка тампонажных составов пониженной плотности для цементирования скважин в условиях аномально низких пластовых давлений: диссертация кандидата технических наук. – С. -Петербург, 2011. – 120 с.
- [6] Детков В.П. Аэрированные суспензии для цементирования скважины. – М.: Недра, 1991. – 175 с.
- [7] Детков В.П. Физико-химическая механика—основа для разработки технологии цементирования в условиях Крайнего Севера / В.П. Детков, А.Р. Хисматулин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. –2003. – № 7. – С. 31 – 37.
- [8] Григулецкий В.Г. Опытнo-промышленные работы при цементировании обсадных колонн газовых скважин Песцовой площади Уренгойского месторождения // Нефтегазовые технологии. – 2007. – № 11. – С. 2 – 14.
- [9] Murtazayev A.M., Haydarov I.Q., Yodgorov N.N. Kompozitsion birikmali burg‘ilash qorishmalarining quduqlarni burg‘ilash jarayoniga ta’sirini baholash // Kompozitsion materiallar ilmiy jurnal, *Toshkent*: 2024. – №4. – B. 130–133. (02.00.00; №4)
- [10] Haydarov I.Q. Mahalliy xomashyolardan karboksimetil kraxmal asosidagi burg‘ilash qorishmalarining yangi tarkiblarini yaratish va xususiyatlarini tadqiq etish // American journal of multidisciplinary Volume-2| Issue-4| 2024 published: 30-11-2024| ISSN 2996-511x – Pp. 161–170.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИГНИНА ИЗ ОТХОДОВ ХЛОПКОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВЫХ РЕАГЕНТОВ

Нурмонов Алишер Аслиддин угли¹ – инженер, E-mail: alishernurmonov3100@gmail.com,

ORCID: 0009-0001-8487-2708, Science ID: FNV-0526-0063

Ашуров Муродулло Холбоевич² – доцент, E-mail: ashurov82mx@gmail.com,

ORCID: 0009-0003-3048-9345, Science ID: PQD-0226-0010

Асранова Умида Хамиджон кизи³ – ассистент, E-mail: asranovaumida23@gmail.com,

ORCID: 0009-0006-2595-9877, Science ID: MAN-0326-0035

Балтаева Умида Рузимбаевна⁴ – докторант (PhD), E-mail: baltayevaumida31@gmail.com,

ORCID: 0009-0002-1340-5085, Science ID: FXR-0426-0060

Азимов Сайдулло Хамидович⁵ – руководитель центра,

E-mail: saydullo_84@mail.ru, ORCID: 0009-0005-8802-9848, Science ID: DAN-0526-0016

¹АО «Navoiyazot», г. Навои, Узбекистан

²Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

³Андижанский государственный технический институт, г. Андижан, Узбекистан

⁴Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан

⁵Научно-образовательный центр «NEFTGAZ-MALAKA», АО «O‘ZLITINEFTGAZ», г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Отходы хлопкопереработки (шелуха, стебли) в Узбекистане являются крупнотоннажным возобновляемым сырьём для получения лигнина – основы термо- и солестойких буровых реагентов. Выбор метода выделения лигнина влияет на его чистоту, молекулярную массу, содержание функциональных групп и, как следствие, на эффективность последующей модификации. Сравнение трёх методов выделения лигнина из хлопковой шелухи: щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органоазольвентного метода. Щелочная экстракция (1% NaOH, 80 °C, 2 ч), кислотный гидролиз (3% H₂SO₄, 120°C, 1 ч), органоазольвентный метод (этанол-вода 1:1, 180 °C, 2 ч). Полученные лигнины охарактеризованы по выходу, зольности, элементному составу, содержанию гидроксильных групп (метод ацетилирования), молекулярной массе (ГПХ), структуре (FTIR, ¹³C ЯМР), термостабильности (ТГА). Щелочной метод даёт максимальный выход (18,5±0,5%), но высокую зольность (3,2%). Кислотный гидролиз – низкий выход (8,2%), загрязнение серой. Органоазольвентный метод – промежуточный выход (12,4%), низкая зольность (0,8%), более высокая молекулярная масса (M_w=4,1 кДа) и наибольшее содержание фенольных ОН (4,1 ммоль/г). По термостабильности все образцы близки (T_{onset} 200-210 °C). Благодаря высокому выходу и простоте, для производства буровых реагентов оптимальным является щелочной метод, несмотря на более высокую зольность. Органоазольвентный метод предпочтителен для фундаментальных исследований, где требуется высокая чистота лигнина.

Ключевые слова: лигнин, хлопковая шелуха, щелочная экстракция, кислотный гидролиз, органоазольвентный метод, выход лигнина, зольность, молекулярная масса.

UO‘K: 662.734:547.992.3:665.6

BURG‘ILASH REAGENTLARI ISHLAB CHIQRARISH UCHUN PAXTA SHELUXASI CHIQINDILARIDAN LIGNIN AJRATIB OLIISH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Nurmonov Alisher Asliddin o‘g‘li¹ – muhandis

Ashurov Murodullo Xolboyevich² – dotsent

Asranova Umida Xamidjon qizi³ - assistent

Baltayeva Umida Ruzimbayevna⁴ - doktorant (PhD)
Azimov Saydullo Xamidovich⁵ - markaz rahbari

¹Navoiyazot" AJ muhandisi, Navoiy, O'zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

³Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

⁴O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

⁵"NEFTGAZ-MALAKA" ilmiy-ta'lim markazi, "O'ZLITINEFTGAZ" AJ,
Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. O'zbekistonda paxtani qayta ishlash chiqindilari (sheluxa, g'o'zapoya) termo- va tuzga chidamli burg'ilash reagentlarining asosi bo'lgan lignin olish uchun ko'p tonnajli qayta tiklanuvchi xomashyo hisoblanadi. Ligninni ajratib olish usulini tanlash uning tozaligi, molekulyar massasi, funktsional guruhlar miqdori va natijada keyingi modifikatsiyalash samaradorligiga ta'sir qiladi. Paxta sheluxasi (chigit po'stlog'i)dan lignin ajratib olishning uchta usuli: ishqoriy ekstraksiya, kislotali gidroliz va organozolvent usullari o'zaro solishtirildi. Ishqoriy ekstraksiya (1% NaOH, 80 °C, 2 soat), kislotali gidroliz (3% H₂SO₄, 120 °C, 1 soat), organozolvent usuli (etanol-suv 1:1, 180 °C, 2 soat). Olingan ligninlar unumdorlik, kullik darajasi, elementar tarkibi, gidroksil guruhlari miqdori (atsetillash usuli), molekulyar massasi (GPX), tuzilishi (FTIR, YaMR) va termobarqarorligi (TGA) bo'yicha tavsiflandi. Ishqoriy usul maksimal unumdorlikni (18,5±0,5%) beradi, ammo kullik darajasi yuqori (3,2%). Kislotali gidroliz- past unumdorlik (8,2%) va oltingugurt bilan ifloslanishni ko'rsatdi. Organozolvent usuli - oraliq unumdorlik (12,4%), past kullik (0,8%), yuqori molekulyar massa (M_w=4,1 kDa) va eng ko'p fenol OH guruhlari (4,1 mmol/g) miqdori bilan ajralib turdi. Termobarqarorlik bo'yicha barcha namunalar bir-biriga yaqin (T_{onset}=200-210 °C). Burg'ilash reagentlarini ishlab chiqarish uchun kullik darajasi yuqoriligiga qaramay, yuqori unumdorligi va soddaligi tufayli ishqoriy usul maqbul hisoblanadi. Organozolvent usuli esa ligninning yuqori tozaligi talab etiladigan fundamental tadqiqotlar uchun afzaldir.

Kalit so'zlar: lignin, paxta sheluxasi, ishqoriy ekstraksiya, kislotali gidroliz, organozolvent usuli, lignin unumi, kullik, molekulyar massa.

UDC: 662.734:547.992.3:665.6

COMPARATIVE ANALYSIS OF LIGNIN EXTRACTION METHODS FROM COTTON HUSK WASTE FOR THE PRODUCTION OF DRILLING FLUID REAGENTS

Alisher Nurmonov¹, engineer
Murodullo Ashurov², associate professor
Umida Asranova³, assistant
Umida Baltayeva⁴, doctoral student
Saydullo Azimov⁵, head of the center

¹JSC "Navoiyazot", Navoi, Uzbekistan

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

³Andijan State Technical Institute, Andijan, Uzbekistan

⁴National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

⁵"NEFTGAZ-MALAKA", JSC "UZLITINEFTGAS", Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Cotton processing waste (husks and stalks) in Uzbekistan represents a significant renewable raw material for lignin production, the basis of thermo- and salt-resistant drilling fluid reagents. The choice of lignin extraction method affects its purity, molecular weight, functional group content and, consequently, the efficiency of subsequent modification. Three methods of lignin extraction from cotton husk were compared: alkaline extraction, acid hydrolysis and the organosolv method. Alkaline extraction (1% NaOH, 80°C, 2 h), acid hydrolysis (3% H₂SO₄, 120°C, 1 h), organosolv method (ethanol-water 1:1, 180°C, 2 h). The obtained lignins were characterised by yield, ash content, elemental composition, hydroxyl group content (acetylation method), molecular weight

(GPC), structure (FTIR, ^{13}C NMR) and thermal stability (TGA). The alkaline method gives the maximum yield ($18.5 \pm 0.5\%$), but high ash content (3.2%). Acid hydrolysis gives a low yield (8.2%) and sulfur contamination. The organosolv method gives an intermediate yield (12.4%), low ash content (0.8%), higher molecular weight ($M_w = 4.1$ kDa) and the highest content of phenolic OH (4.1 mmol/g). In terms of thermal stability, all samples are similar (Tonset 200-210°C). For the production of drilling fluid reagents, the alkaline method is optimal due to its high yield and simplicity, despite its higher ash content. The organosolv method is preferable for fundamental research where high lignin purity is required.

Keywords: lignin, cotton husk, alkaline extraction, acid hydrolysis, organosolv method, lignin yield, ash content, molecular weight.

Введение

Лигнин является вторым по распространённости природным полимером после целлюлозы и рассматривается как перспективное сырьё для получения химических продуктов, включая реагенты для буровых растворов [1]. В Узбекистане отходы хлопковой шелухи, образующиеся в больших количествах на хлопкоочистительных заводах, содержат до 20% лигнина и могут служить дешёвым и возобновляемым источником этого полимера [2].

Для выделения лигнина из растительного сырья разработано несколько методов: щелочная экстракция, кислотный гидролиз, органо-растворительные методы, паровой взрыв и другие [3]. Каждый метод даёт лигнин с разной степенью чистоты, молекулярной массой, содержанием функциональных групп и термической стабильностью. Эти характеристики напрямую влияют на последующую химическую модификацию (сульфонирование, карбоксиметилирование) и на свойства конечных буровых реагентов.

В предыдущих работах мы использовали лигнин, полученный щелочной экстракцией, и показали его эффективность в составе сульфонированных и карбоксиметилированных реагентов [4]. Однако вопрос о выборе оптимального метода выделения лигнина из хлопковой шелухи для промышленного производства буровых реагентов остаётся открытым. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу трёх наиболее распространённых методов: щелочного, кислотного и органо-растворительного.

Целью работы является сравнение трёх методов выделения лигнина из отходов хлопковой шелухи - щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органо-растворительного метода - по следующим критериям: выход, зольность, элементный состав, молекулярно-массовое распределение, содержание гидроксильных групп, структура и термическая стабильность. На основе полученных данных даны рекомендации по выбору метода для производства буровых реагентов.

Материалы и методы

Хлопковая шелуха получена с хлопкоочистительных предприятий Навоийской области (Узбекистан). Шелуху очищали от механических примесей [5], сушили при 60 °C до постоянной массы [6] и измельчали до размера частиц менее 1 мм [7]. Содержание лигнина в исходной шелухе определяли по методу Класона [8] (TAPPI T222 om-98) - $18,8 \pm 0,5\%$.

По методу [9] с модификациями: 100 г шелухи обрабатывали 1 л 1% NaOH при 80 °C в течение 2 ч при перемешивании (300 об/мин). Суспензию фильтровали [10], фильтрат подкисляли концентрированной HCl до pH 2, выдерживали 1 ч для осаждения лигнина. Осадок отделяли центрифугированием [11], промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и сушили при 60°C [6]. Обозначение образца - Л-щел.

По методу [12]: 100 г шелухи обрабатывали 1 л 3% H_2SO_4 в автоклаве [13] при 120 °C в течение 1 ч (давление 1,5 атм). После охлаждения суспензию фильтровали [10], твёрдый остаток промывали водой до нейтрального pH и сушили [6]. Лигнин дополнительно не осаждали (оставался в твёрдом остатке вместе с целлюлозой). Для выделения лигнина остаток обрабатывали 1 л 1% NaOH при 60°C в течение 1 ч, затем подкисляли. Обозначение - Л-кисл.

По методу [14]: 100 г шелухи помещали в автоклав [13] с 1 л смеси этанол-вода (1:1), добавляли 0,5% H_2SO_4 (катализатор). Нагревали до 180°C, выдерживали 2 ч. После охлаждения суспензию фильтровали [10], фильтрат упаривали для удаления этанола, затем подкисляли до pH 2. Осадок лигнина центрифугировали [11], промывали водой и сушили [6]. Обозначение - L-орг.

Выход лигнина рассчитывали как отношение массы сухого выделенного лигнина к массе исходной сухой шелухи (%).

Зольность определяли по ГОСТ 11022-95 [15] - прокаливание при 800°C до постоянной массы.

Элементный анализ (C, H, N, S) - на анализаторе Elementar Vario EL III согласно руководству производителя [16]. Содержание кислорода - по разности.

Содержание гидроксильных групп (фенольных и алифатических) определяли методом ацетилирования [17]: навеску 0,5 г лигнина растворяли в 5 мл пиридина, добавляли 5 мл уксусного ангидрида, выдерживали 24 ч при комнатной температуре, затем оттитровывали непрореагировавший ангидрид 0,5 М NaOH.

Гель-проникающая хроматография (ГПХ). Ацетилированные образцы растворяли в ТГФ, анализ проводили на хроматографе Agilent 1260 Infinity с колонкой PLgel 5 μ m MIXED-C, калибровка по полистиролу [18].

FTIR-спектроскопия. Спектры регистрировали на спектрометре Nicolet iS5 в таблетках KBr в диапазоне 400-4000 cm^{-1} согласно руководству производителя [19].

ЯМР-спектроскопия. ^{13}C ЯМР спектры снимали в растворе DMSO- d_6 на спектрометре Bruker Avance III 400 МГц [20].

Термогравиметрический анализ (ТГА). Анализ проводили на синхронном термоанализаторе NETZSCH STA 449 F3 [21] в атмосфере азота (расход 50 мл/мин) при скорости нагрева 10 °C/мин от 30 до 800 °C. Определяли T_{onset} (5% потери массы), T50% и остаток при 600 °C.

Результаты и обсуждение

Данные по выходу, зольности и элементному составу приведены в таблице 1.

Таблица 1. Выход, зольность и элементный состав лигнинов

Образец	Выход, %	Зольность, %	C, %	H, %	O, %	S, %	N, %
L-шел	18,5±0,5	3,2±0,2	61,4±0,3	5,2±0,2	32,8±0,4	0,6±0,1	0,2±0,1
L-кисл	8,2±0,4	1,5±0,2	62,1±0,4	5,4±0,2	30,5±0,5	1,8±0,2	0,3±0,1
L-орг	12,4±0,5	0,8±0,1	64,2±0,3	5,6±0,2	29,2±0,4	0,2±0,1	0,2±0,1

Щелочной метод даёт максимальный выход (18,5%), близкий к теоретическому содержанию лигнина в шелухе (18,8%). Однако зольность высока (3,2%), что связано с захватом неорганических солей при щелочной обработке. Кислотный гидролиз даёт наименьший выход (8,2%) из-за частичной деструкции лигнина при высокой температуре в кислой среде; при этом содержание серы повышено (1,8%) из-за сульфирования остаточными группами. Органозольвентный метод даёт промежуточный выход (12,4%), низкую зольность (0,8%) и минимальное содержание серы (0,2%), что свидетельствует о высокой чистоте.

Данные ГПХ и ацетилирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Молекулярные массы и содержание ОН-групп

Образец	M_w , кДа	M_n , кДа	Đ	Фенольные ОН, ммоль/г	Алифатические ОН, ммоль/г
L-шел	2,8±0,1	1,6±0,1	1,75	3,2±0,1	1,5±0,1
L-кисл	1,9±0,1	1,1±0,1	1,73	2,8±0,1	1,0±0,1
L-орг	4,1±0,2	2,3±0,2	1,78	4,1±0,2	2,2±0,2

Органозольвентный лигнин имеет наибольшую молекулярную массу ($M_w=4,1$ кДа) и самое высокое содержание как фенольных, так и алифатических гидроксильных групп. Это важно для последующей химической модификации, поскольку эти группы являются центрами для сульфирования и карбоксиметилирования. Щелочной лигнин имеет средние показатели, кислотный - наименьшие из-за деструкции.

FTIR-спектры (рис.1) всех образцов показывают характерные полосы лигнина: 3400 см^{-1} (OH), 2940 см^{-1} (CH_2 , CH_3), 1600 и 1510 см^{-1} (ароматическое кольцо), 1270 см^{-1} (C-O), 1120 см^{-1} (C-H). Основное различие - в интенсивности полосы 1710 см^{-1} (карбонильная группа C=O), которая наиболее выражена у L-кисл (признак окисления) и наименее - у L-орг (более нативная структура).

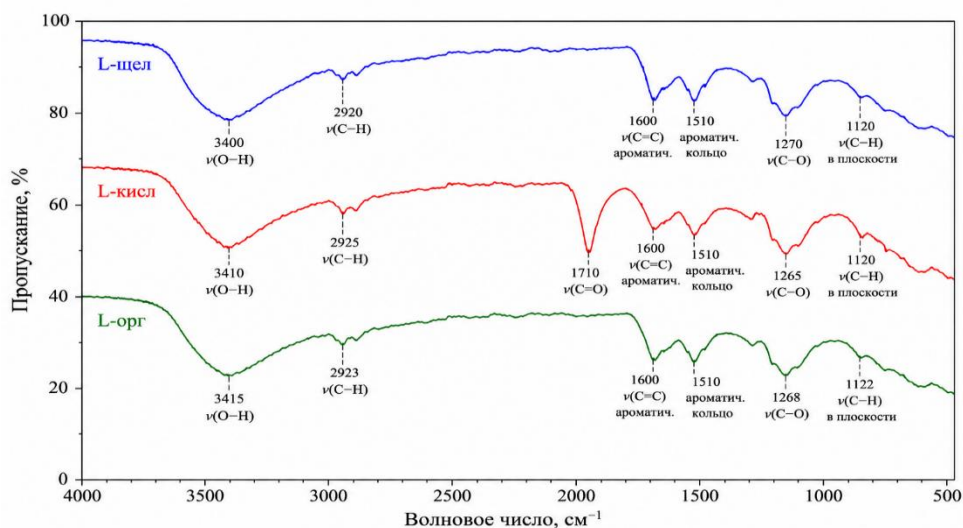


Рис. 1. FTIR-спектры (L-щел, L-кисл, L-орг).

Спектры (рис. 2) подтверждают сохранность ароматической структуры во всех образцах. Сигналы в области 110-150 м.д. соответствуют ароматическим углеродам. В спектре L-кисл появляются дополнительные сигналы в области 170-180 м.д. (карбоксильные группы), что указывает на окисление. В спектре L-орг сигналы лучше разрешены, что говорит о меньшей степени деструкции.

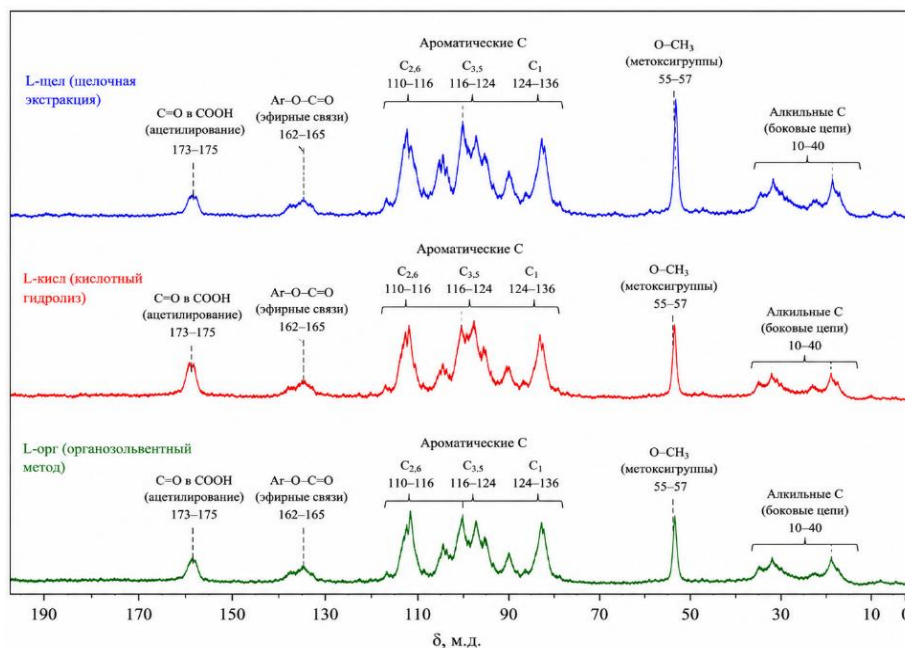


Рис. 2. ^{13}C ЯМР-спектры.

ТГА-кривые (рис. 3) показывают, что все образцы имеют близкую термостабильность (таблица 3). L-орг имеет несколько более высокий T_{onset} (210 °C), тогда как L-кисл - самый низкий (200 °C). Остаток при 600 °C коррелирует с зольностью: наибольший у L-щел (28%), наименьший у L-орг (18%).

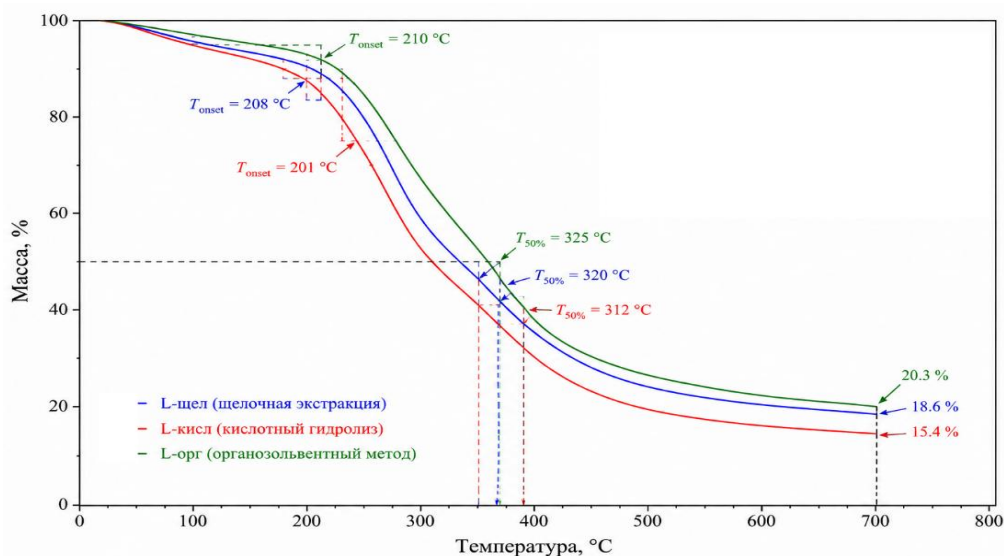


Рис. 3. ТГА-кривые.

Таблица 3. Термические параметры

Образец	T_{onset} , °C	$T_{50\%}$, °C	Остаток при 600°C, %
L-щел	205±2	390±3	28±1
L-кисл	200±2	370±4	22±1
L-орг	210±2	395±3	18±1

Для промышленного производства буровых реагентов (сульфонированных, карбоксиметилированных) наиболее важны выход и стоимость. Щелочной метод даёт максимальный выход, прост в реализации, не требует автоклавного оборудования. Высокая зольность (3,2%) не является критичным недостатком, так как она не мешает последующей модификации и даже может способствовать диспергированию. Поэтому для производства реагентов рекомендован щелочной метод.

Для фундаментальных исследований (изучение структуры, механизмов реакций) предпочтителен органозольвентный метод, дающий лигнин с наивысшей чистотой, большей молекулярной массой и большим количеством функциональных групп. Кислотный гидролиз не рекомендуется из-за низкого выхода и частичной деструкции лигнина.

Заключение

Проведено сравнение трёх методов выделения лигнина из отходов хлопковой шелухи: щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органозольвентного метода. Щелочной метод обеспечивает максимальный выход (18,5%), но даёт лигнин с высокой зольностью (3,2%). Кислотный гидролиз даёт низкий выход (8,2%) и частично окисленный лигнин. Органозольвентный метод даёт лигнин с высокой чистотой (зольность 0,8%), наибольшей молекулярной массой ($M_w=4,1$ кДа) и наибольшим содержанием гидроксильных групп (фенольных 4,1 ммоль/г), но требует автоклавного оборудования и имеет умеренный выход (12,4%).

Для промышленного производства буровых реагентов рекомендован щелочной метод как наиболее производительный и экономичный. Для научных исследований структуры лигнина и механизмов модификации предпочтителен органозольвентный метод.

Литература

- [1] Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers // *Progress in Polymer Science*. 2014. Vol. 39, No. 7. P. 1266-1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.
- [2] Нурмонов А.А., Ашуров М.Х. Перспективы использования отходов хлопкопереработки в качестве источника технического лигнина // *Узбекский химический журнал*. 2023. № 2. С. 44-49.
- [3] Björkman A. Studies on finely divided wood. Part I. Extraction of lignin with neutral solvents // *Svensk Papperstidn*. 1956. Vol. 59, No. 13. P. 477-485.
- [4] Нурмонов А.А., Ашуров М.Х., Асранова У.Х., Балтаева У.Р., Азимов С.Х. Многофункциональные полимерные реагенты на основе модифицированного лигнина хлопковой шелухи для термо- и солестойких буровых растворов // (в печати). 2025.
- [5] ГОСТ 27813-88. Продукция хлопкоочистительной промышленности. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [6] ГОСТ 17177-94. Материалы строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1995. 15 с. (Раздел «Сушка до постоянной массы»).
- [7] ГОСТ 21445-84. Материалы растительные. Подготовка проб для анализа. М.: Издательство стандартов, 1984. 10 с.
- [8] TAPPI T222 om-98. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. TAPPI Press, 1998. 6 p.
- [9] Björkman A. Studies on finely divided wood. Part I. Extraction of lignin with neutral solvents // *Svensk Papperstidn*. 1956. Vol. 59, No. 13. P. 477-485.
- [10] ГОСТ 31866-2012. Фильтры и фильтрование. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.
- [11] ГОСТ 29129-91. Центрифуги лабораторные. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1991. 14 с.
- [12] Li J., Henriksson G., Gellerstedt G. Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion // *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 98, No. 16. P. 3061-3068. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.06.029.
- [13] ГОСТ 9990-74. Автоклав для гидротермальной обработки материалов. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1975. 8 с.
- [14] Sarkanen K.V. Lignin // *Methods in Lignin Chemistry* / Ed. by S.Y. Lin, C.W. Dence. Berlin: Springer, 1980. P. 12-34.
- [15] ГОСТ 11022-95. Топливо твёрдое минеральное. Методы определения зольности. М.: Издательство стандартов, 1995. 12 с.
- [16] Elementar. Vario EL III - Operating Instructions. Hanau: Elementar Analysensysteme GmbH, 2018. 45 p.
- [17] Mansouri N.E., Salvadó J. Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins // *Industrial Crops and Products*. 2006. Vol. 24, No. 1. P. 8-16. DOI: 10.1016/j.indcrop.2005.10.002.
- [18] Agilent Technologies. Agilent 1260 Infinity GPC/SEC System - User Guide. Santa Clara: Agilent Technologies, 2015. 82 p.
- [19] Thermo Fisher Scientific. Nicolet iS5 FTIR Spectrometer - User Guide. Madison: Thermo Fisher Scientific, 2015. 68 p.
- [20] Bruker Corporation. Avance III 400 MHz NMR Spectrometer - Operation Manual. Billerica: Bruker, 2014. 56 p.
- [21] NETZSCH. STA 449 F3 Jupiter - Operating Manual. Selb: NETZSCH Gerätebau GmbH, 2014. 52 p.

UO‘K: 697.1:621.577:519.876:631.544

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.04>

GELIOISSIQXONA UCHUN TUPROQ ISSIQLIK NASOSLI ISITISH TIZIMINING MATEMATIK MODELI VA ENERGETIK TAHLILI

Uzoqov G‘ulom Norboyevich - texnika fanlari doktori, professor,

E-mail: uzoqov66@mail.ru, ORCID: 0009-0005-7386-8075, Science ID: DQD-0225-0002

Ibragimov Umidjon Xikmatullayevich - texnika fanlari doktori, professor,

E-mail: ibragimov_u@rambler.ru, ORCID: 0009-0008-0582-6713, Science ID: DQD-0226-0005

Xusenov Aslam Aktam o‘g‘li - assistent, E-mail: xusenovaslan@gmail.com,

ORCID: 0009-0008-1906-3577, Science ID: PQD-0726-0001

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Geliolissiqxonalarda energiya sarfini kamaytirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish dolzarb masala hisoblanadi. Ushbu tadqiqotda tuproq issiqlik nasosli (TIN) isitish tizimining matematik modeli ishlab chiqildi hamda uning issiqlik-energetik ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Hisoblash natijalari asosida tizimning optimal parametrlari va energetik samaradorligi baholandi.

Tadqiqotda geliolissiqxona uchun TINli isitish tizimining prinsipial sxemasi ishlab chiqilib, issiqlik almashinuvi jarayonlari differensial tenglamalar asosida modellashirildi. Tuproq muhitida issiqlik tarqalishi silindrik koordinatalarda ko‘rib chiqildi va sonli hisoblashlar amalga oshirildi. Hisoblashlarda tuproqning issiqlik-fizik xossalari hamda issiqxonaning maksimal issiqlik yuklamasi hisobga olindi.

Natijalarga ko‘ra, quvur uzunligining bir birligiga to‘g‘ri keluvchi issiqlik oqimi 21,4 Vt/m ni tashkil etdi. Geliolissiqxonaning maksimal issiqlik yuklamasi 15,12 kVt bo‘lib, COP=4,0 bo‘lgan real ish rejimida zarur quvur uzunligi taxminan 530 m ekanligi aniqlandi. TINning kompressori iste‘mol qiladigan elektr quvvati 3,78 kVt ni tashkil etib, tizimning yuqori energetik samaradorligi tasdiqlandi.

Tadqiqot natijalari geliolissiqxonalarda TINdan foydalanish energiya tejankor va ekologik samarali yechim ekanligini ko‘rsatdi. Ishlab chiqilgan matematik model isitish tizimining optimal parametrlarini aniqlash va energetik samaradorligini baholashda samarali vosita hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: geliolissiqxona, tuproq issiqlik nasosi, isitish tizimi, issiqlik almashinuvi, matematik model, energiya samaradorligi, issiqlik yuklamasi, qayta tiklanuvchi energiya.

УДК 697.1:621.577:519.876:631.544

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ С ГРУНТОВЫМ ТЕПЛОВОМ НАСОСОМ

Узаков Гулом Норбоевич - доктор технических наук, профессор

Ибрагимов Умиджон Хикматуллаевич - доктор технических наук, профессор

Хусенов Аслам Актам угли – ассистент.

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Снижение энергопотребления в гелиотеплицах и эффективное использование возобновляемых источников энергии являются актуальными задачами. В данном исследовании была разработана математическая модель системы отопления с грунтовым тепловым насосом (ГТН) и проведён анализ её теплоэнергетических показателей. На основе результатов расчётов были оценены оптимальные параметры системы и её энергетическая эффективность.

В исследовании была разработана принципиальная схема системы отопления с ГТН для гелиотеплицы, а процессы теплообмена были смоделированы на основе дифференциальных уравнений. Распространение тепла в грунтовой среде рассматривалось в цилиндрических координатах и были выполнены численные расчёты. В расчётах учитывались теплофизические свойства грунта и максимальная тепловая нагрузка теплицы.

Согласно результатам, тепловой поток, приходящийся на единицу длины трубы, составил 21,4 Вт/м. Максимальная тепловая нагрузка гелиотеплицы составила 15,12 кВт, а при реальном рабочем режиме с COP=4,0 необходимая длина трубопровода составила примерно 530 м. Электрическая мощность, потребляемая компрессором ГТН, составила 3,78 кВт, что подтвердило высокую энергетическую эффективность системы.

Результаты исследования показали, что использование ГТН в гелиотеплицах является энергосберегающим и экологически эффективным решением. Разработанная математическая модель является эффективным инструментом для определения оптимальных параметров системы отопления и оценки её энергетической эффективности.

Ключевые слова: гелиотеплица, грунтовый тепловой насос, система отопления, теплообмен, математическая модель, энергетическая эффективность, тепловая нагрузка, возобновляемая энергия.

UDC 697.1:621.577:519.876:631.544

MATHEMATICAL MODEL AND ENERGETIC ANALYSIS OF A GROUND-SOURCE HEAT PUMP HEATING SYSTEM FOR A SOLAR GREENHOUSE

Gulam Uzakov, doctor of technical sciences, professor
Umidjon Ibragimov, doctor of technical sciences, professor
Aslam Xusenov, assistant

Karshi State Texnical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Reducing energy consumption in solar greenhouses and the efficient use of renewable energy sources are important current issues. In this study, a mathematical model of a ground source heat pump (GSHP) heating system was developed and its thermal-energy performance was analyzed. Based on the calculation results, the optimal system parameters and its energy efficiency were evaluated.

In the study, a schematic diagram of a GSHP heating system for a solar greenhouse was developed, and the heat transfer processes were modeled using differential equations. Heat propagation in the soil medium was considered in cylindrical coordinates and numerical calculations were carried out. The calculations considered the thermophysical properties of the soil and the maximum heating load of the greenhouse.

According to the results, the heat flux per unit pipe length was 21.4 W/m. The maximum heating load of the solar greenhouse was 15.12 kW, and under real operating conditions with COP=4.0, the required pipe length was approximately 530 m. The electrical power consumed by the GSHP compressor was 3.78 kW, indicating the high energy efficiency of the proposed system.

The results of the study showed that the use of GSHP systems in solar greenhouses is an energy-saving and environmentally efficient solution. The developed mathematical model is an effective tool for determining the optimal parameters of the heating system and evaluating its energy efficiency.

Keywords: solar greenhouse, ground source heat pump, heating system, heat transfer, mathematical model, energy efficiency, heating load, renewable energy.

Kirish

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish va issiqxonalarda energiya sarfini kamaytirish bugungi kunda qishloq xo'jaligi va energetika sohasining dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Gelioissiqxonalarda tuproq issiqlik nasosli (TIN) isitish tizimlarini qo'llash past potentsialli tuproq issiqligidan foydalanish orqali isitish tizimi samaradorligini oshirish va elektr energiyasi iste'molini kamaytirish imkonini beradi. Shu sababli, TINli isitish tizimining matematik modelini ishlab chiqish hamda uning issiqlik-energetik ko'rsatkichlarini tadqiq etish energiya tejankor va ekologik barqaror issiqxona texnologiyalarini yaratishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. TIN isitish tizimidan foydalanish bo'yicha ko'p sonli ilmiy tadqiqotlar olib borilgan va ijobiy natijalarga erishilgan. Sanaye va boshqalar [1] Eronda turli iqlim sharoitlari uchun tuproq manbali issiqlik nasosiga asoslangan binoning isitish va sovitish yuklamalarini tahlil qilgan. Tadqiqot

natijalariga ko'ra, tizimning isitish va sovitish rejimlaridagi samaradorlik koeffitsiyenti (COP) 3,9 dan 5,4 gacha bo'lib, quvvat oraliq'i 8-32 kVt ni tashkil etgan. Shuningdek, nam loy tuproq eng yuqori issiqlik uzatish koeffitsiyentiga ega bo'lib, bunday tizimlar uchun eng maqbul grunt turi ekani aniqlangan. Tong va boshqalar [2] Yaponiyada o'tkazilgan tajriba asosida yanvardan mart oyigacha bo'lgan davrda issiqxonalarda issiqlik nasosi orqali isitish uchun sarflanadigan soatlik energiya miqdorini baholagan. Natijalarga ko'ra, issiqlik nasosi orqali isitishda energiya sarfi 0,22-0,56 MJ/m^2 oralig'ida bo'lgan bo'lsa, kerosin yoqilg'isiga asoslangan isitkichlar bilan bu ko'rsatkich 0,42-0,76 MJ/m^2 ni tashkil etgan. Shu bilan birga, yuqori COP ga ega bo'lgan elektr issiqlik nasoslari qo'llanilgan issiqxonalarda soatlik CO_2 chiqindilari 9,5-24 g/m^2 bo'lgan, kerosin isitkichlari ishlatilgan hollarda esa bu ko'rsatkich 31-55 g/m^2 ga yetgan. Tadqiqot xulosalariga ko'ra, issiqxonani isitishda issiqlik nasosi tizimi iqtisodiy va ekologik jihatdan kerosinli tizimga nisbatan ustun hisoblanadi. Masalan, havo-suv turidagi issiqlik nasosidan (HSIN) foydalanish suyuq gaz sarfini 16% gacha kamaytirishi va uning xarajatlarni qoplash muddati olti yildan kam bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan. Ozgener va Hepbasli [3] tomonidan olib borilgan tadqiqotlar natijalariga ko'ra, TINlar an'anaviy split tizimlarga nisbatan yuqori investitsiya talab qilsa-da, ularning foyda/xarajat nisbatlari yuqoriroq hisoblanadi. Shuningdek, quyosh energiyasi bilan qo'llab-quvvatlangan TIN tizimlari Turkiyaning O'rta Yer dengizi va Egey mintaqalarida issiqxonani isitish uchun samarali yechim sifatida tavsiya etilgan. Mehrpooya va boshqalar [4] issiqxona bilan birlashtirilgan quyosh yordamidagi TIN tizimini modellashtirgan va optimallashtirgan. Natijada optimallashtirilgan tizim uchun maksimal COP 4,14 ga teng, qoplash muddati esa 14 yil etib baholangan. Benli va Durmuş [5] issiqxona ichki muhitini tabiiy energiya hisobiga boshqarish maqsadida TIN va faza o'zgaruvchi materialga (TIN-PCM) asoslangan yashirin issiqlik saqlash tizimini ishlab chiqishgan. Tadqiqot davomida issiqlik nasosining ishlash koeffitsiyenti hamda PCMning zaryadlash va zaryadsizlanish bosqichlaridagi energiya sig'imi aniqlangan. Turkiyaning Elazığ shahrida 2005-yil 1-sentabrdan 2006-yil 30-aprelgacha bo'lgan isitish mavsumida o'tkazilgan o'lchovlar asosida TIN blokining o'rtacha COP qiymati 2,3-3,8 oralig'ida, butun tizimning umumiy samaradorlik koeffitsiyenti COP esa 2-3,5 oralig'ida ekanligi aniqlangan. Turli iqlim sharoitlarida o'tkazilgan tadqiqotlar issiqlik nasoslarining COP qiymatlari odatda 2,5-5,8 oralig'ida bo'lishini va bu ko'rsatkich an'anaviy qazilma yoqilg'iga asoslangan tizimlarga nisbatan sezilarli ustunlikni ta'minlashini ko'rsatadi. O'tkazilgan tadqiqotlar tahliliga ko'ra, gelioissiqxonalarda TINdan foydalanish isitish tizimining energiya samaradorligini oshirish, elektr energiyasi va qazilma yoqilg'i sarfini kamaytirish hamda ekologik ko'rsatkichlarni yaxshilashda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, tizim samaradorligi tuproqning issiqlik-fizik xossalari, iqlim sharoiti va issiqlik nasosining ish rejimiga bog'liq bo'lib, TINli isitish tizimlarini matematik modellashtirish va optimal parametrlarini aniqlash bo'yicha tadqiqotlarni yanada chuqurlashtirish zarurligini ko'rsatadi.

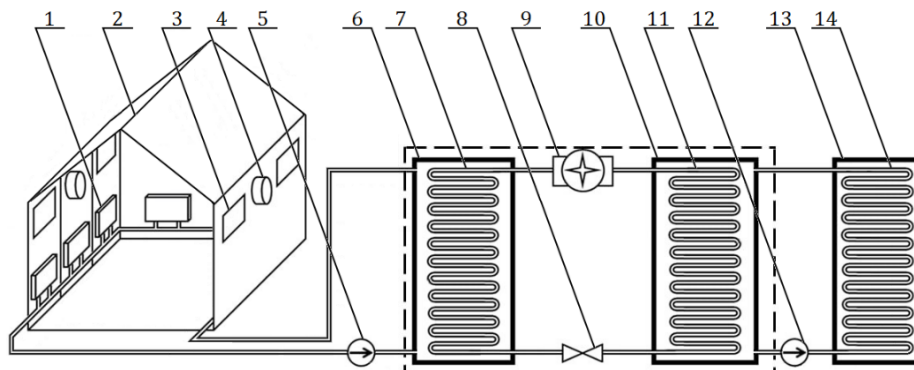
Materiallar va uslublar

Yuqorida keltirilgan adabiyotlar tahlilida keltirilgan muammolarni hal etish maqsadida gelioissiqxona uchun TIN isitish tizimining prinsipial sxemasi ishlab chiqildi. TIN isitish tizimiga ega gelioissiqxonaning matematik modelini ishlab chiqishda tizimda kechadigan issiqlik almashinuvi va energiya balansini tavsiflovchi asosiy tenglamalardan foydalanildi hamda tuzilgan model asosida sonli tadqiqotlar o'tkazilib, tizimning turli ish sharoitlaridagi energetik ko'rsatkichlari tahlil qilindi. Matematik modellashtirishni amalga oshirish uchun zarur tizimning prinsipial sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan.

Sxemaga muvofiq, tuproq muhiti cheksiz yoki yarim-cheksiz issiqlik manbai sifatida qaraladi va u o'rtacha T_t harorat bilan tavsiflanadi. Tuproq ichiga joylashtirilgan tuproq osti issiqlik almashinish quvurlari (IAQ) orqali issiqlik tashuvchi suyuqlik (suv-antifriz aralashmasi) aylanadi. Ushbu kontur orqali tuproqdan issiqlik oqimi Q_t ajratib olinib, TINning bug'latgichiga uzatiladi. Bug'latgichda past bosim va past haroratdagi ishchi modda tuproqdan olinayotgan issiqlik hisobiga bug'lanadi. Hosil bo'lgan bug' kompressorga uzatiladi va bu jarayonda tashqi elektr energiyasi W_k sarflanadi. Kompressor ishchi moddaning bosimi va haroratini oshirib, uni yuqori potensial holatga

keltiradi. Keyingi bosqichda yuqori bosimli va yuqori haroratli ishchi modda kondensatorga yo'naltiriladi. Kondensatorda ishchi modda o'z issiqligini isitish tizimiga uzatib, suyuqlanadi. Natijada foydali issiqlik oqimi Q_f hosil bo'lib, u gelioissiqxonaning radiatorli isitish tizimiga uzatiladi. So'ngra ishchi modda kengaytirish (drossel) klapani orqali bosimi pasaytirilgan holda yana bug'latgichga qaytariladi va jarayon yopiq sikl bo'yicha uzluksiz davom etadi. TINli isitish tizimi uchun asosiy energiya balansi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Q_f = Q_t + W_k . \quad (1)$$



- 1-radiatorli isitish tizimi; 2-gelioissiqxona; 3-shamollatish tuynugi; 4-ventilyator;
5, 12-sirkulyatsion nasos; 6-TIN kondensatori; 7, 11, 14-issiqlik almashinuv quvuri; 8-drossel ventilyator; 9-kompressor; 10-TIN bug'latgichi; 13-tuproq massivi

1-rasm. Tuproq issiqlik nasosli isitish tizimining sxemasi.

Mazkur tenglama tizimning fizik mohiyatini ifodalaydi, ya'ni isitish tizimiga uzatiladigan umumiy issiqlik miqdori tuproqdan olinadigan issiqlik oqimi va kompressorga sarflanadigan elektr energiyasi yig'indisiga teng bo'ladi. TINli isitish tizimining matematik modelini tuzishda fizik jarayonlarni analitik va sonli jihatdan tadqiq qilishni yengillashtirish maqsadida quyidagi soddalashtiruvchi farazlar qabul qilindi [6-10]:

1. Tuproq muhiti izotrop va bir jinsli.
2. Tuproq cheksiz yoki yarim-cheksiz issiqlik manbai sifatida qabul qilinadi va yer sathidan chuqurlik bo'yicha tuproqning boshlang'ich harorati T_t doimiy.
3. Tuproq osti IAQlari geometrik jihatdan to'g'ri va ideal silindrik shaklda bo'lib, ularning joylashuvi vaqt davomida o'zgarmaydi.
4. IAQlari devorining issiqlik qarshiligi tuproq va issiqlik tashuvchi suyuqlik qarshiliklariga nisbatan kichik bo'lgani sababli e'tiborga olinmaydi.
5. Issiqlik tashuvchi suyuqlikning fizik xossalari (zichlik, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik) o'zgarmas va haroratga bog'liqligi hisobga olinmaydi.
6. Issiqlik tashuvchi suyuqlik oqimi quvur ichida barqaror va bir o'lchamli deb qaraladi, oqim tezligi vaqt bo'yicha o'zgarmas deb olinadi.
7. Bug'latgich va kondensatorda issiqlik almashinuvi barqaror rejimda sodir bo'ladi, atrof-muhitga issiqlik yo'qotishlari e'tiborga olinmaydi.
8. Kompressor ideal deb qabul qilinadi, ya'ni mexanik va elektr yo'qotishlar umumlashtirilgan samaradorlik koeffitsiyenti orqali hisobga olinadi.
9. TINning ishchi sikli yopiq va uzluksiz bo'lib, o'tkinchi jarayonlar matematik modelda hisobga olinmaydi.
10. Tuproq-quvur-ishchi modda orasidagi issiqlik almashinuvi faqat issiqlik o'tkazuvchanlik va konveksiya hisobiga amalga oshadi.

Qabul qilingan farazlarga muvofiq, tuproq muhitida issiqlik almashinuvi asosan issiqlik o'tkazuvchanlik hisobiga sodir bo'ladi. Tuproq osti IAQlarining uzunligi ularning diametriga nisbatan ancha katta bo'lgani sababli, tuproq muhitidagi issiqlik tarqalishi silindrik koordinatalar tizimida ifodalanadi [8, 9]. Umumiy holda, o'zgaruvchan rejimda tuproq muhitida issiqlik tarqalishining differensial tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega [10]:

$$\frac{dT(r,z,t)}{dt} = a \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{d^2 T}{dz^2} \right], \quad (2)$$

bu yerda $T(r, z, t)$ -tuproqning vaqt va koordinatalarga bog'liq harorati, r va z -mos ravishda radial va vertikal koordinatalar; t -vaqt; a -tuproqning harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, m^2/s ; λ -tuproqning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $Vt/(m \cdot K)$; ρ -tuproq zichligi, kg/m^3 ; c -tuproqning solishtirma issiqlik sig'imi, $J/(kg \cdot K)$.

TINli isitish tizimi uzoq vaqt davomida ishlaganda, tuproq muhitidagi harorat maydoni kvazi-barqaror holatga yaqinlashadi. Shu sababli matematik modelni soddalashtirish maqsadida barqaror issiqlik almashinuvi rejimi qabul qilinadi, ya'ni $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ [9, 10]. Natijada tuproq muhitida issiqlik tarqalish tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{d^2 T}{dz^2} = 0. \quad (3)$$

Agar tuproq osti IAQlari bo'ylama yo'nalishda yetarlicha uzun bo'lib, haroratning vertikal yo'nalishdagi o'zgarishi e'tiborga olinmasa, masala bir o'lchamli radial issiqlik tarqalishiga keltiriladi [10]:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0. \quad (4)$$

Mazkur tenglama tuproq-quvur tizimidagi harorat maydonini aniqlash uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Uni yechish uchun quvur yuzasida va tuproq muhitining cheksiz sohasida tegishli chegara shartlari beriladi. Quvur devorida tuproq ichida issiqlik o'tkazuvchanlik natijasida hosil bo'ladigan issiqlik oqimi quvur ichidagi issiqlik tashuvchi suyuqlik bilan konvektiv issiqlik almashinuvi oqimiga tenglashtiriladi. Shu asosda quyidagi uchinchi tur (Robin) chegara sharti qabul qilinadi [8, 9]:

$$-\lambda \frac{dT}{dr} \Big|_{r=r_0} = u_{t-s}(T_t - T_s), \quad (5)$$

bu yerda T_t -quvur tashqi devoridagi tuproq harorati, $^{\circ}C$; T_s -quvur ichidagi issiqlik tashuvchi suyuqlikning o'rtacha harorati, $^{\circ}C$; r_0 -quvur tashqi radiusi, m ; u_{t-s} -tuproq-quvur-suyuqlik orasidagi issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $Vt/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$:

$$u_{t-s} = \frac{1}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{\lambda_q} + \frac{1}{\alpha_s r_1}}, \quad (6)$$

bu yerda r_1 va r_2 -quvurning ichki va tashqi radiuslari, m ; λ_q -quvur materiali issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $Vt/(m \cdot K)$; α_s -quvur ichidagi suyuqlik bilan konvektiv issiqlik almashinuvi koeffitsiyenti, $Vt/(m^2 \cdot K)$:

$$\alpha_s = \frac{Nu \lambda_s}{d_i}, \quad (7)$$

bu yerda d_i -quvur ichki diametri, m ; λ_s -issiqlik tashuvchi suyuqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $Vt/(m \cdot K)$.

Mazkur chegara sharti energiya balansini prinsipiga asoslangan bo'lib, quvur devorida tuproqdan quvurga uzatilayotgan issiqlik oqimi miqdori quvur ichidagi suyuqlikka berilayotgan konvektiv issiqlik oqimiga teng deb qabul qilinadi. Ushbu yondashuv quvur devori va ichki konveksiya qarshiliklarini yagona issiqlik uzatish koeffitsiyenti orqali hisobga olish imkonini beradi hamda matematik modelni soddalashtiradi. Shu bilan birga, tuproq muhiti cheksiz (yoki yarim-cheksiz) issiqlik manbai sifatida qaralganligi sababli, quvurdan uzoq masofada tuproq harorati o'zining tabiiy, buzilmagan qiymatiga intiladi. Mazkur sharoitda ikkinchi chegara sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} T(r) = T_t \quad (8)$$

yoki ekvivalent shaklda $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{dT}{dr} = 0$.

Natijada (4) differensial tenglama Robin tipidagi chegara sharti (5) va cheksizlikdagi chegara sharti (8) bilan birgalikda tuproq-quvur tizimidagi harorat maydonini aniqlash uchun yopiq chegaraviy masalani tashkil etadi. Yuqorida keltirilgan (4) differensial tenglama radial koordinata bo'yicha integrallanadi. Tenglamani ikki marta integrallash natijasida tuproq muhitida haroratning umumiy taqsimot tenglamasi quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$T(r) = C_1 \ln r + C_2, \quad (9)$$

bu yerda C_1 va C_2 -integrallash o'zgarmlari bo'lib, ular chegara shartlari asosida aniqlanadi.

Cheksizlikdagi chegara shartidan kelib chiqib, harorat taqsimoti quvvur tashqi radiusiga nisbatan yoziladi va tuproq muhitida haroratning radial taqsimoti (10) ifoda bilan aniqlanadi:

$$T(r) = T_t - \frac{q_l}{2\pi\lambda} \ln \frac{r}{r_0}, \quad (10)$$

bu yerda q_l -quvvur uzunligining bir birligiga to'g'ri keluvchi issiqlik oqimi, Vt/m .

(10) ifodadan ko'rinadiki, tuproq muhitida harorat radial yo'nalishda logarifmik qonun bo'yicha kamayadi. Ushbu bog'lanish tuproq-quvvur tizimidagi issiqlik almashinuvi jarayonining fizik mohiyatini aks ettiradi. Quvvur yuzasida tuproqdan ajratib olinadigan issiqlik oqimi miqdori issiqlik o'tkazuvchanlik qonuniga muvofiq aniqlanadi:

$$q_l = -2\pi r_0 \lambda \left. \frac{dT}{dr} \right|_{r=r_0}. \quad (11)$$

Quvvur uzunligining bir birligiga to'g'ri keluvchi issiqlik oqimi q_l ni hisobga olgan holda, tuproq osti IAQlariga tuproqdan uzatiladigan umumiy issiqlik oqimi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Q_t = q_l \cdot L, \quad (12)$$

bu yerda L -tuproq osti IAQlarining umumiy uzunligi, m .

Olingan Q_t qiymati TINning energiya balans tenglamasiga qo'yiladi va tizimning foydali issiqlik oqimi (1) ifoda orqali aniqlanadi. TINli isitish tizimining energetik samaradorligi foydali ish koeffitsiyenti (COP) orqali baholanadi:

$$COP = \frac{Q_f}{W_k}. \quad (13)$$

Ushbu tadqiqot doirasida radiatorli isitish tizimi ideal issiqlik iste'molchisi sifatida qabul qilinadi va kondensatordan uzatiladigan issiqlik oqimi to'liq holda issiqxonani isitishga sarflanadi, ya'ni:

$$Q_f = Q_{rad}. \quad (14)$$

bu yerda Q_{rad} -radiatorli isitish tizimiga uzatiladigan issiqlik oqimi, Vt .

Demak, radiatorli isitish tizimining issiqlik yuklamasi issiqxonaning umumiy issiqlik yo'qotishlariga teng deb qabul qilinadi, ya'ni:

$$Q_{rad} = Q_{yo'q}. \quad (15)$$

Bu shart gelioissiqxona ichida belgilangan mikroiqlim parametrlarini ta'minlash uchun radiatorli isitish tizimi tomonidan uzatilishi lozim bo'lgan minimal issiqlik quvvatini ifodalaydi. Yuqorida ta'kidlangandek, TIN tomonidan hosil qilinadigan foydali issiqlik oqimi Q_f to'liq holda radiatorli isitish tizimiga uzatiladi. Shunday qilib, tizimning ishlash qobiliyati quyidagi shart orqali baholanadi:

$$Q_f \geq Q_{rad}. \quad (16)$$

Agar mazkur shart bajarilsa, TINli isitish tizimi gelioissiqxonaning issiqlik ehtiyojini to'liq qoplash imkoniyatiga ega deb hisoblanadi. Shunga asosan, keyingi hisoblashlar uchun qabul qilingan boshlang'ich parametrlar va ularning qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

Boshlang'ich parametrlar asosida tuproq osti IAQlari bilan jihozlangan TINli isitish tizimining asosiy issiqlik-energetik ko'rsatkichlarini sonli usulda aniqlash amalga oshirildi. Tuproq osti IAQlari atrofidagi tuproq muhitida haroratning radial taqsimotini aniqlash TINli isitish tizimining ishlash samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega. Yuqorida keltirilgan modelga muvofiq, barqaror rejimda va vertikal harorat gradientlari e'tiborga olinmagan holda, tuproq muhitida issiqlik tarqalishi bir o'lchamli radial masala sifatida qaraldi. Ushbu sharoitda tuproq haroratining radial taqsimoti (10) ifoda bilan aniqlanadi. 1-jadvalda keltirilgan boshlang'ich ma'lumotlarga muvofiq, tuproq harorati $T_t = 12^\circ C$, quvvur tashqi radiusi esa $r_0 = 0,018 m$ ga teng deb qabul qilindi. Tuproqdan quvvurga uzatiladigan issiqlik oqimi mavjud bo'lganda, quvvur yuzasiga yaqin hududda tuproq harorati pasayadi va quvvurdan uzoqlashgan sari tuproq harorati o'zining tabiiy qiymatiga yaqinlashadi. Quvvur uzunligining bir birligiga to'g'ri keluvchi issiqlik oqimi:

Robin chegara shartidan:

$$q_l = 2\pi r_0 u_{t-s}(T_t - T_s) = 2\pi \cdot 0,018 \cdot 27(12 - 5) = 21,4 Vt/m.$$

Natijalar TINli tizimlar uchun adabiyotlarda keltirilgan chiziqli issiqlik oqimining tipik diapazoniga (15-30 Vt/m) mos kelib, ishlab chiqilgan matematik modelning amaliy jihatdan asoslanganligini tasdiqlaydi [11].

1-jadval. TINli isitish tizimi uchun geometrik, issiqlik-fizik va iqlimiy parametrlar

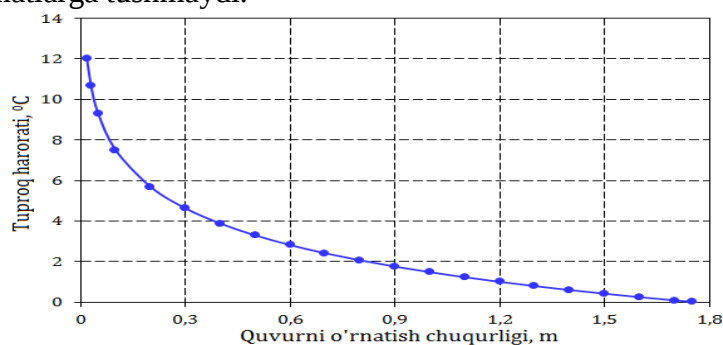
№	Parametr nomi	Belgilanishi	O'lchov birligi	Qiymati
Tuproq parametrlari				
1	Issiqlik o'tkazuvchanligi	λ	$Vt/(m \cdot K)$	1,5
2	Zichligi	ρ	kg/m^3	1600
3	Solishtirma issiqlik sig'imi	c_p	$J/(kg \cdot K)$	1200
4	Harorat o'tkazuvchanligi	a	m^2/s	$8,5 \cdot 10^{-7}$
5	Tuproq harorati (2-3 m chuqurlikda)	T_t	$^{\circ}C$	12
Issiqlik almashinuv quvuri parametrlari				
6	Quvurning tashqi radiusi	r_0	m	0,018
7	Tuproq-quvur-suyuqlik issiqlik uzatish koeffitsiyenti	u_{t-s}	$Vt/(m^2 \cdot K)$	27
8	Issiqlik tashuvchi o'rtacha harorati	T_s	$^{\circ}C$	5
9	Quvur ichki diametric	d_i	m	0,032
Issiqlik tashuvchi suyuqlik (suv-antifriz (30% glikol)) parametrlari				
10	Tezligi	w_s	m/s	0,4
11	Zichligi	ρ_s	kg/m^3	1030
12	Dinamik yopishqoqligi	μ_s	$Pa \cdot s$	0,004
13	Issiqlik o'tkazuvchanligi	λ_s	$Vt/(m \cdot K)$	0,45
14	Solishtirma issiqlik sig'imi	$c_{p,s}$	$J/(kg \cdot K)$	3800

Radial harorat taqsimoti:

$$T(r) = 12 - \frac{21,4}{2\pi \cdot 1,3} \ln \frac{r}{0,018} = 12 - 2,62 \ln \frac{r}{0,018} \quad (17)$$

Natijalar va muhokama

Yuqoridagi (17) ifoda bo'yicha aniqlangan tuproq haroratining radial taqsimoti natijalari 2-rasmda keltirilgan. 2-rasmda keltirilgan natijalarda tuproq muhiti cheksiz issiqlik manbai sifatida qabul qilinganligi sababli, quvurdan uzoq masofalarda tuproq haroratining manfiy qiymatlari nazariy jihatdan kuzatiladi. Mazkur holat matematik modelning ideal sharoitlarga asoslanganligi bilan izohlanadi. Amaliy sharoitda esa tuproq harorati geotermik oqim va mavsumiy issiqlik tiklanishi hisobiga bunday qiymatlarga tushmaydi.



2-rasm. Tuproq haroratining radial taqsimoti natijalari.

Mazkur holatdan kelib chiqib, model natijalari quvur atrofidagi samarali issiqlik almashinuvi zonasi bilan chegaralandi, bunda samarali radius $r_{sam} \approx 1,8 m$ deb qabul qilindi. Shu munosabat bilan, 2-rasmda tuproq haroratining radial taqsimoti faqat fizik jihatdan ahamiyatli zona ($r \leq 1,8 m$) uchun keltirildi. Ushbu masofadan keyin model ideal farazlar sababli real sharoitda kuzatilmaydigan past harorat qiymatlarini beradi. Shu bilan birga, gelioissiqxonaning isitish tizimi uchun talab etiladigan issiqlik quvvati ichki havo haroratini belgilangan qiymatda ushlab turish jarayonida yuzaga keladigan umumiy issiqlik yo'qotishlari bilan aniqlanadi. Ushbu tadqiqotda eng yuqori issiqlik yuklamasiga ega bo'lgan 2025-yil 11-fevral kuni eng noqulay ish sharoiti sifatida tanlab olinib,

geliyosiqxonaning soatlik maksimal issiqlik yuklamasi 15,12 kVt ekanligi aniqlandi. Demak, eng noqulay sharoitda geliyosiqxona ichida +18 °C haroratni ta'minlash uchun radiatorli isitish tizimi tomonidan kamida 15,12 kVt issiqlik quvvati uzatilishi talab etiladi. Ideal holda, ya'ni kompressorga sarflanadigan elektr energiyasi hisobiga tuproqdan olinadigan issiqlik yuqori potentsialli foydali issiqlikka aylantirilganda, tizimning ishlash qobiliyati (16) ifodadagi shart bilan baholanadi. Tuproqdan olinadigan umumiy issiqlik oqimi quvvur uzunligiga to'g'ridan-to'g'ri proporsional bo'lganligi sababli, issiqxonaning issiqlik ehtiyojini to'liq qoplash uchun zarur bo'lgan minimal quvvur uzunligini quyidagi ifoda orqali aniqlanishi mumkin:

$$L_{min} = \frac{Q_{rad}}{q_l} = \frac{15120}{21,4} \approx 706,5 \text{ m.}$$

Olingan natijalarga ko'ra, geliyosiqxonaning eng noqulay qishki sharoitdagi issiqlik ehtiyojini faqat tuproqdan olinadigan issiqlik hisobiga to'liq qoplash uchun tuproq osti IAQlarining umumiy uzunligi kamida 700-710 m bo'lishi talab etiladi. Yuqoridagi hisoblashlarda ideal holat qaraldi, biroq amaliy sharoitda TINning ishlashi foydali ish koeffitsiyenti (COP) bilan tavsiflanadi (3). Adabiyotlar va amaliy tajribalarga ko'ra, TINlari real ish sharoitida odatda $COP = 3,0 \div 5,0$ oraligida ishlaydi. Ushbu diapazon ichida eng ko'p uchraydigan qiymatlar 3,5-4,0 atrofida bo'lib [12], mazkur tadqiqotda o'rtacha real qiymat sifatida $COP = 4,0$ qabul qilindi. Energiya balans tenglamasi asosida tuproqdan olinishi lozim bo'lgan issiqlik oqimi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_t = Q_f \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 15,12 \left(1 - \frac{1}{4,0}\right) = 11,34 \text{ kVt}.$$

Endi real sharoit uchun zarur bo'lgan quvvur uzunligi:

$$L_{real} = \frac{Q_t}{q_l} = \frac{11340}{21,4} \approx 530 \text{ m.}$$

Shunday qilib, ideal holatda geliyosiqxonaning issiqlik ehtiyojini qoplash uchun tuproq osti IAQlarining umumiy uzunligi 700-710 m bo'lishi talab etilsa, real ish sharoitida $COP = 4,0$ bo'lgan TINdan foydalanilganda ushbu qiymat taxminan 530 m gacha kamayadi. Bu holat TINning yuqori energetik samaradorligi tuproq osti quvvur tizimi uzunligini sezilarli darajada qisqartirish imkonini berishini ko'rsatadi. Quyidagi hisoblash natijalariga tayangan holda, geliyosiqxona uchun TINni tanlash va uning energetik ko'rsatkichlarini baholash mumkin. Aniqlanganidek, eng noqulay ish sharoitida issiqxonaning radiatorli isitish tizimi orqali qoplanishi lozim bo'lgan soatlik maksimal issiqlik yuklamasi $Q_f = 15,12 \text{ kVt-soat}$ ni tashkil etadi. TINning ishlash samaradorligi $COP = 4,0$ bo'lganda, uning kompressori iste'mol qiladigan elektr quvvati quyidagicha:

$$W_k = \frac{Q_f}{COP} = \frac{15,12}{4} = 3,78 \text{ kVt}.$$

Natijaga ko'ra, TIN tomonidan ishlab chiqariladigan umumiy issiqlik oqimining asosiy qismi, ya'ni $Q_t = 11,34 \text{ kVt}$ tuproqdan olinadi, qolgan qismi esa elektr energiyasi hisobiga ta'minlanadi. Bu esa TINning yuqori energetik samaradorligini va past elektr iste'moli bilan katta issiqlik oqimini hosil qilish imkoniyatini tasdiqlaydi. Amaliy ekspluatatsiya sharoitlarini inobatga olgan holda, TINning ishonchli ishlashini ta'minlash maqsadida uning quvvatini ma'lum darajada zaxira bilan tanlash tavsiya etiladi. Odatda bu zaxira koeffitsiyenti 1,2-1,3 oralig'ida qabul qilinadi. Shunga ko'ra, tanlanadigan TINning elektr quvvati $W_k = 4,5 - 5 \text{ kVt}$, issiqlik quvvati esa $Q_f = 15 \text{ kVt}$ bo'lishi maqsadga muvofiqdir. Natijalar shuni ko'rsatadiki, geliyosiqxonada TINdan foydalanish tuproqning past potentsialli issiqlik energiyasini yuqori potentsialli foydali issiqlikka aylantirish orqali tizimning umumiy energetik samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Bu esa kombinatsiyalashgan isitish tizimlarida TINdan foydalanish texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa

1. Geliyosiqxona uchun ishlab chiqilgan TINli isitish tizimining matematik modeli tuproq-quvvur tizimidagi issiqlik almashinuvi jarayonlarini adekvat tavsiflash imkonini berdi. Hisoblash natijalariga ko'ra, quvvur uzunligining bir birligiga to'g'ri keluvchi issiqlik oqimi $q_1 = 21,4 \text{ Vt/m}$ ni tashkil etdi va bu qiymat adabiyotlarda keltirilgan 15-30 Vt/m diapazoniga mos keldi. Mazkur natija ishlab chiqilgan modelning fizik jihatdan asoslanganligi va amaliy qo'llash uchun yaroqli ekanligini tasdiqlaydi.

2. Tuproq muhitida haroratning radial taqsimoti logarifmik qonun asosida o'zgarishi aniqlandi hamda quvurdan uzoqlashgan sari harorat tabiiy qiymati $T_t = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga yaqinlashishi kuzatildi. Hisoblashlarda samarali issiqlik almashinuvi zonasi radiusi taxminan $r_{sam} \approx 1,8\text{ m}$ ekanligi belgilandi. Bu natija tuproq osti issiqlik almashinuv quvurlarini joylashtirish masofalarini optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega.

3. Tadqiqot davomida eng noqulay ish sharoitida gelioissiqxonaning maksimal issiqlik yuklamasi $Q_f = 15,12\text{ kVt}$ ekanligi aniqlandi. Ideal holatda ushbu yuklamani qoplash uchun tuproq osti IAQlarining umumiy uzunligi $L_{min} \approx 706,5\text{ m}$ bo'lishi talab qilinishi hisoblab topildi. Natijalar issiqxonaning qishki davrdagi issiqlik ehtiyojini baholash va TIN tizimining geometrik parametrlarini tanlash imkonini beradi.

4. TINning real ish rejimi uchun $COP = 4,0$ qabul qilinganda, tuproqdan olinadigan issiqlik oqimi $Q_t = 11,34\text{ kVt}$ ni tashkil etishi aniqlandi. Bunda zarur quvur uzunligi $L_{real} \approx 530\text{ m}$ gacha kamayishi kuzatildi, ya'ni ideal holatga nisbatan taxminan 25% qisqarish yuz berdi. Ushbu natija TINning yuqori energetik samaradorligi hisobiga tuproq osti quvur tizimi hajmini kamaytirish mumkinligini ko'rsatadi.

5. Hisoblash natijalariga ko'ra, $COP = 4,0$ bo'lgan TINning kompressori iste'mol qiladigan elektr quvvati $W_k = 3,78\text{ kVt}$ ni tashkil etdi. Amaliy ekspluatatsiya sharoitlarini hisobga olib, tizim uchun 1,2-1,3 zaxira koeffitsiyenti bilan 4,5-5 kVt elektr quvvatiga ega va 15 kVt issiqlik quvvatini ta'minlay oladigan TINni tanlash maqsadga muvofiq deb topildi. Olingan natijalar gelioissiqxonalarda TINdan foydalanish texnik-iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali yechim ekanligini tasdiqlaydi.

Adabiyotlar

- [1] Sanaye S., Niroomand B. Horizontal ground coupled heat pump: thermaleconomic modeling and optimization. *Energy Convers Manag* 2010, 51 (12). – p. 2600-2612.
- [2] Tong Y., Kozai T., Nishioka N., Ohyama K. Reductions in energy consumption and CO2 emissions for greenhouse heated with heat pumps. *Am Soc Agric Biol Eng* 2012, 28(3). – p. 401-406.
- [3] Ozgener O., Hepbasli A. Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study. *Build Environ* Aug. 2005, 40(8). – p. 1040-1050.
- [4] Mehrpooya M., Hemmatabady H., Ahmadi M.H. Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat Pump Systems to supply thermal load needed for heating greenhouses. *Energy Convers Manag* Jun. 2015, 97. – p. 382-392.
- [5] Benli H., Durmus A. Evaluation of ground-source heat pump combined latent heat storage system performance in greenhouse heating. *Energy Build* 2009, 41. – pp. 220-228.
- [6] Róžański A., Kaczmarek N. Empirical and theoretical models for prediction of soil thermal conductivity: a review and critical assessment. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 2020, vol. 42(4), - pp 330-340.
- [7] Mitchell M.S., Spitler J.D. An Enhanced Vertical Ground Heat Exchanger Model for Whole-Building Energy Simulation. *Energies*, 2020, vol. 13, p. 4058. <https://doi.org/10.3390/en13164058>.
- [8] Wang X., et al. Study on the Simplified Model of Vertical Double U-Pipe. *Thermal Science*, 2023, vol. 27, - pp. 4035-4048.
- [9] Jezierski W., Rynkowski P. Optimization of Parameters of a Vertical Ground Heat Exchanger in a Geothermal Heating System. *Buildings*, 2024, vol. 14, p. 3722. <https://doi.org/10.3390/buildings14123722>.
- [10] Salhein K., Salheen S.A., Annekaa A.M., Hawsawi M., Alhawsawi E.Y., Kobus C.J., Zohdy M. A Comprehensive Review of Geothermal Heat Pump Systems. *Processes*, 2025, vol. 13, p. 2142. <https://doi.org/10.3390/pr13072142>.
- [11] Yang H., Cui P., Fang Z. Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: A review of models and systems. *Applied Energy*, 2010, vol. 87(1), pp. 16-27. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.038>.
- [12] <https://www.heatpumppricesreviews.com/cop-of-heat-pump-formula>.

UO‘K: 628.316.12:66.081.3

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.05>

ORGANOBENTONIT QATLAMIDA DINAMIK (KOLONNALI) ADSORBSIYA VA TO‘YINISH EGRI CHIZIQLARINI MODELLASHTIRISH

Latipov Shahboz Alisher o‘g‘li¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, E-mail: shakhboz2016@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4237-9034, Science ID: FQD-1125-0066

Tog‘ayev Hasan Abdivohid o‘g‘li² – assistant, E-mail: togayevhasan1997@gmail.com, ORCID: 0009-0001-3292-5839, Science ID: MQD-0526-0330

Shukrullayev Doniyor Dilshodovich¹ – assistant, E-mail: doniyortop@gmail.com, ORCID: 0009-0000-1323-7929, Science ID: MQD-0626-0177

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada suv tarkibidagi neft mahsulotlarini samarali ajratib olish maqsadida organobentonit adsorbentining dinamik adsorbsiya jarayonlari tadqiq etilgan. Tajribalar uzluksiz ishlovchi kolonna sharoitida olib borilib, adsorbsiya samaradorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillar–adsorbent qatlamining balandligi, filtratsiya jarayonidagi hajmiy sarf hamda ifloslantiruvchi moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi kompleks ravishda baholangan. Olingan natijalar asosida breakthrough (to'yinish) egri chiziqlari qurilib, adsorbsiya jarayonining kinetik va massa almashinish qonuniyatlari tahlil qilingan. Tadqiqot davomida adsorbsiya kolonnasining ishlash samaradorligini prognozlash va tavsiflash uchun Thomas, Yoon–Nelson, Adams–Bohart hamda BDST (Bed Depth Service Time) matematik modellari qo'llanilgan. Modellar yordamida organobentonitning dinamik adsorbsiya sig'imi, kolonnaning xizmat muddati hamda optimal ekspluatatsion ko'rsatkichlari aniqlangan. Natijalar adsorbent qatlam balandligining ortishi bilan massa almashinish zonasining kengayishi va kolonnaning ishlash davomiyligi uzayishini, hajmiy sarfning oshishi esa adsorbsiya samaradorligining ma'lum darajada pasayishiga olib kelishini ko'rsatdi. Hisob-kitoblar va eksperimental ma'lumotlar asosida organobentonitning maksimal dinamik adsorbsiya sig'imi 57 mg/g ni tashkil etishi aniqlangan. Shu bilan birga, bo'sh qatlamda kontakt vaqti (EBCT) uchun optimal qiymat 20 daqiqa, filtrlash tezligi esa 5 m/soat deb belgilangan. Tadqiqot natijalari organobentonit asosidagi adsorbentlardan neft mahsulotlari bilan ifloslangan oqova suvlarni tozalash texnologiyalarida samarali foydalanish mumkinligini ko'rsatadi hamda sanoat miqyosidagi adsorbsion qurilmalarni loyihalash uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: dinamik adsorbsiya, to'yinish egri chizig'i, Thomas modeli, Yoon–Nelson, BDST, EBCT, organobentonit.

УДК: 628.316.12:66.081.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ (КОЛОННОЙ) АДСОРБЦИИ И КРИВЫХ НАСЫЩЕНИЯ В СЛОЕ ОРГАНОВЕНТОНИТА

Латипов Шахбоз Алишер угли¹ – доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

Тогаев Хасан Абдивохид угли² – ассистент

Шукруллаев Дониёр Дилшодович¹ – ассистент

¹Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

²Университет экономики и педагогики, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье исследованы процессы динамической адсорбции нефтепродуктов на органобентонитовом адсорбенте с целью эффективной очистки водных сред от нефтяных загрязнений. Экспериментальные исследования проводились в условиях непрерывной работы адсорбционной колонки. Комплексно изучено влияние основных технологических параметров, включая высоту слоя адсорбента, объемный расход фильтруемой жидкости и начальную концентрацию нефтепродуктов, на характер кривых проскока (breakthrough curves) и эффективность процесса адсорбции. На основе полученных

экспериментальных данных были построены кривые насыщения и проведен анализ кинетики массопереноса в адсорбционном слое. Для математического описания процесса и прогнозирования эксплуатационных характеристик колонки использованы модели Thomas, Yoon–Nelson, Adams–Bohart и BDST (Bed Depth Service Time). Применение указанных моделей позволило определить динамическую адсорбционную емкость органобентонита, продолжительность эффективной работы слоя и оптимальные условия эксплуатации адсорбционной системы. Результаты исследований показали, что увеличение высоты адсорбционного слоя способствует продлению времени проскока и повышению эффективности удаления нефтепродуктов, тогда как увеличение объемного расхода приводит к сокращению времени контакта и снижению степени очистки. Установлено, что максимальная динамическая адсорбционная емкость органобентонита составляет 57 мг/г. Оптимальное значение времени контакта в пустом слое (EBCT) составило 20 минут, а оптимальная скорость фильтрования – 5 м/ч. Полученные результаты подтверждают перспективность применения органобентонитовых адсорбентов для очистки нефтесодержащих сточных вод и могут быть использованы при проектировании и оптимизации промышленных адсорбционных установок.

Ключевые слова: динамическая адсорбция, кривая насыщения, модель Томаса, Юн-Нельсон, БДСТ, ЭБСТ, органобентонит.

UDC: 628.316.12:66.081.3

MODELING OF DYNAMIC (COLUMN) ADSORPTION AND BREAKTHROUGH CURVES IN AN ORGANOBEENTONITE BED

Shahboz Latipov¹, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Hasan Togayev², assistant

Doniyor Shukrullayev¹, assistant

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This study investigates the dynamic adsorption of petroleum hydrocarbons in an organobentonite adsorption bed for the effective treatment of oil-contaminated water. Experimental investigations were carried out in a continuous-flow fixed-bed column system. The effects of key operational parameters, including bed height, volumetric flow rate, and initial pollutant concentration, on the breakthrough behavior and adsorption performance were comprehensively evaluated. Based on the experimental results, breakthrough curves were constructed and the mass-transfer characteristics of the adsorption process were analyzed. To describe the adsorption dynamics and predict column performance, the Thomas, Yoon–Nelson, Adams–Bohart, and BDST (Bed Depth Service Time) models were applied. These models enabled the determination of the dynamic adsorption capacity of organobentonite, service time of the adsorption bed, and optimal operating conditions of the fixed-bed system. The results demonstrated that increasing the bed height prolonged the breakthrough time and enhanced pollutant removal efficiency, whereas increasing the volumetric flow rate reduced the contact time between the adsorbate and adsorbent, resulting in lower adsorption performance. The maximum dynamic adsorption capacity of organobentonite was determined to be 57 mg/g. The optimal empty bed contact time (EBCT) was found to be 20 minutes, while the optimal filtration velocity was established at 5 m/h. The findings indicate that organobentonite is a promising adsorbent for the treatment of petroleum-contaminated wastewater and provide a scientific basis for the design, optimization, and scale-up of industrial adsorption systems.

Keywords: dynamic adsorption, breakthrough curve, Thomas model, Yoon–Nelson, BDST, EBCT, organobentonit.

Kirish

Sanoat korxonalarida hosil bo'ladigan oqova suvlarning tarkibida neft mahsulotlari miqdori ko'pincha 20–500 mg/l, ayrim neftni qayta ishlash va neft-gaz sanoati korxonalarida esa 1000 mg/l gacha yetishi mumkin [1, 2]. Amaldagi ekologik me'yorlarga ko'ra, suv havzalariga tashlanadigan oqova suv tarkibidagi neft mahsulotlari miqdori odatda 0,05–0,3 mg/l dan oshmasligi talab etiladi. Shu sababli adsorbsiya usuli chuqur tozalash bosqichi sifatida keng qo'llanilib, neft mahsulotlarini 95–99% gacha kamaytirish imkonini beradi [3, 4]. Sanoat suv tozalash inshootlarida adsorbsiya jarayoni, asosan, diametri 0,3–3,0 m va balandligi 1–6 m bo'lgan uzluksiz ishlovchi kolonnali adsorberlarda amalga oshiriladi. Bunday qurilmalarda adsorbent qatlamining balandligi odatda 0,5–2,5 m, filtrlash tezligi esa 2–15 m/soat oralig'ida bo'ladi [3, 5]. Adsorbsiya samaradorligi adsorbent qatlamining ishlash muddati bilan baholanib, bu ko'rsatkich breakthrough (to'yinish) egri chizig'i orqali aniqlanadi. To'yinish egri chizig'i chiqish oqimidagi konsentratsiyaning kirish konsentratsiyasiga nisbati (C_t/C_0) ning vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalaydi. Amaliyotda breakthrough nuqtasi odatda $C_t/C_0=0,05-0,10$, to'liq to'yinish esa $C_t/C_0=0,90-0,95$ qiymatlarida qabul qilinadi [6, 7].

Ko'plab tadqiqotlar natijalariga ko'ra, adsorbent qatlamining balandligi 0,5 m dan 1,5 m gacha oshirilganda breakthrough vaqti 2–4 barobar uzayishi mumkin. Masalan, 25 sm balandlikdagi qatlamda breakthrough 120 daqiqada kuzatilsa, 75 sm balandlikdagi qatlamda ushbu ko'rsatkich 350–450 daqiqagacha yetadi. Filtrlash tezligi 3 m/soatdan 10 m/soatgacha oshirilganda esa adsorbsiya samaradorligi 15–30% ga kamayishi va adsorbentning ishlash muddati 2 martagacha qisqarishi mumkin. Shuningdek, boshlang'ich konsentratsiyaning 50 mg/l dan 200 mg/l gacha ortishi adsorbentning tezroq to'yinishiga olib kelib, breakthrough vaqtini 40–60% ga kamaytiradi [8, 9].

Dinamik adsorbsiya jarayonlarini matematik modellash tirish adsorberlarni loyihalash va sanoat sharoitida ekspluatatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega. Xususan, Thomas modeli adsorbentning maksimal dinamik sig'imini aniqlashda, Yoon–Nelson modeli 50% breakthrough vaqtini prognozlashda, Adams–Bohart modeli massa almashinish zonasining boshlang'ich bosqichini tavsiflashda, BDST modeli esa qatlam balandligi va xizmat muddati o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashda keng qo'llaniladi [6, 7, 9, 10]. Ushbu modellar yordamida adsorbentning dinamik sig'imi 30–150 mg/g diapazonda, bo'sh qatlamdagi kontakt vaqti (EBCT) 5–30 daqiqa oralig'ida hamda optimal filtrlash tezligi 3–8 m/soat chegarasida ekanligi aniqlangan [8, 10]. Shu bois neft mahsulotlari bilan ifloslangan oqova suvlarni adsorbsion tozalash jarayonlarida to'yinish egri chiziqlarini chuqur tahlil qilish, massa almashinish parametrlarini aniqlash hamda matematik modellar asosida adsorberlarning ishchi siklini prognozlash texnologik samaradorlikni 20–35% ga oshirish, adsorbent sarfini 15–25% ga kamaytirish va ekspluatatsiya xarajatlarini sezilarli darajada qisqartirish imkonini beradi.

Materiallar va uslublar

Tajribalar organobentonit bilan to'ldirilgan shisha kolonnada o'tkazildi. Qatlam balandligi 10–40 sm, filtrlash tezligi 3–7 m/soat, boshlang'ich konsentratsiya 50–150 mg/l oralig'ida o'zgartirildi. Kolonna chiqishidagi konsentratsiya vaqt bo'yicha o'lchanib, $C/C_0 \sim t$ ko'rinishidagi to'yinish egri chiziqlari qurildi. Bo'sh qatlam kontakt vaqti (EBCT) quyidagicha hisoblandi [11]:

$$EBCT = V_{\text{qatlam}} / Q = (A \cdot H) / Q. \quad (1)$$

To'yinish egri chizig'i Thomas va Yoon–Nelson modellari bilan tavsiflandi:

$$\ln(C_0/C_t - 1) = (k_{Th} \cdot q_0 \cdot m)/Q - k_{Th} \cdot C_0 \cdot t, \quad (2)$$

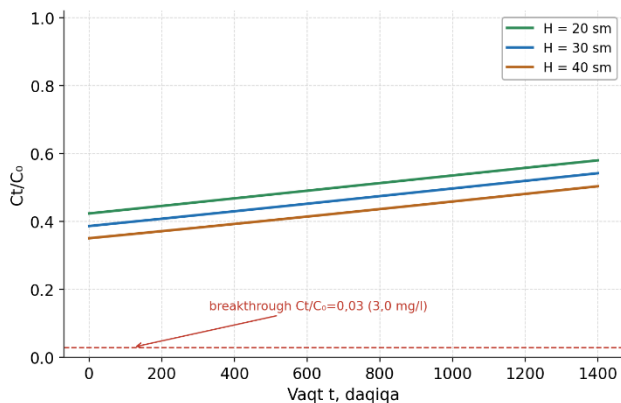
$$\ln(C_t/(C_0 - C_t)) = k_{YN} \cdot t - \tau \cdot k_{YN}. \quad (3)$$

Qatlam balandligi bo'yicha xizmat vaqti BDST modeli bilan tahlil qilindi:

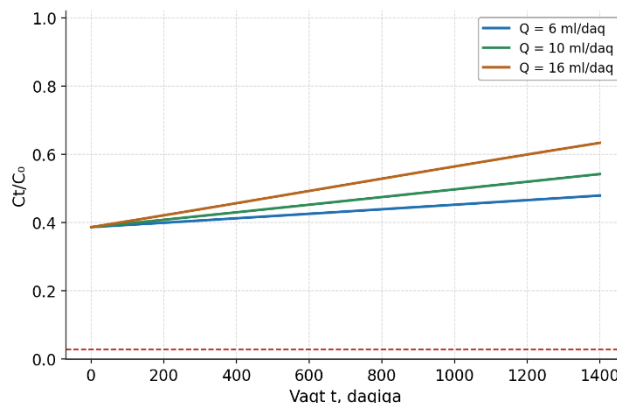
$$t = (N_0 \cdot Z)/(C_0 \cdot u) - (1/(k_b \cdot C_0)) \cdot \ln(C_0/C_b - 1). \quad (4)$$

Natijalar va muhokama

Qatlam balandligi va hajmiy sarfning to'yinish egri chizig'iga ta'siri 1a va 1b-rasmlarda keltirilgan. Qatlam balandligining oshishi breakthrough vaqtini uzaytiradi va qatlamlardan to'liqroq foydalanishni ta'minlaydi; hajmiy sarfning oshishi esa breakthroughni tezlashtiradi va massa almashinuv zonasini cho'zadi.

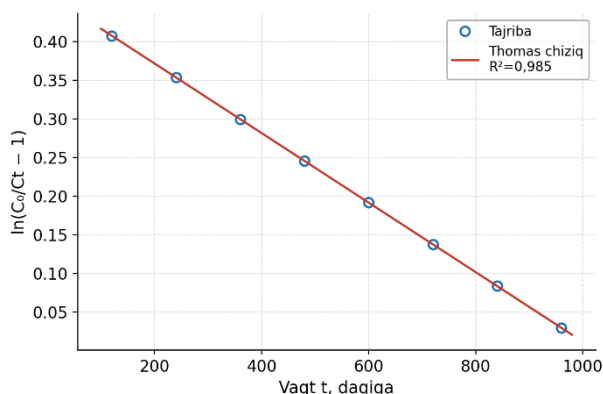


1a-rasm. Qatlam balandligining to'yinish egri chizig'iga ta'siri.

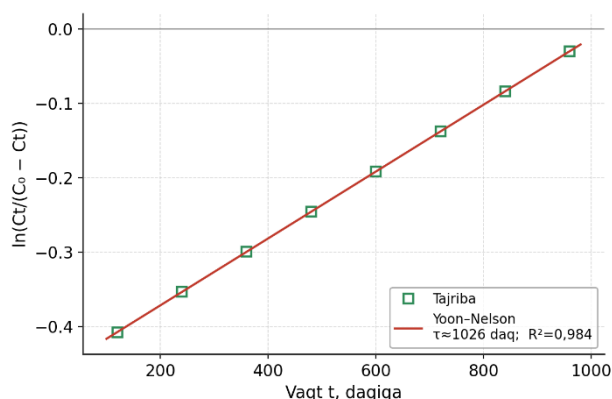


1b-rasm. Hajmiy sarfning to'yinish egri chizig'iga ta'siri.

Thomas va Yoon–Nelson modellari to'yinish egri chizig'ini yuqori aniqlik bilan ($R^2 > 0,985$) tavsifladi (2a, 2b-rasm). Thomas modelidan aniqlangan dinamik sig'im $q_d = 57$ mg/g bo'lib, bu statik maksimal sig'imning taxminan 60% ini tashkil etadi - bu dinamik jarayonlar uchun xos ko'rsatkich. Yoon–Nelson modeli 50% to'yinish vaqtini (τ) to'g'ridan-to'g'ri baholash imkonini berdi [12].



2a-rasm. Thomas modeli bo'yicha dinamik sig'imni aniqlash.



2b-rasm. Yoon–Nelson modeli bo'yicha τ ni aniqlash.

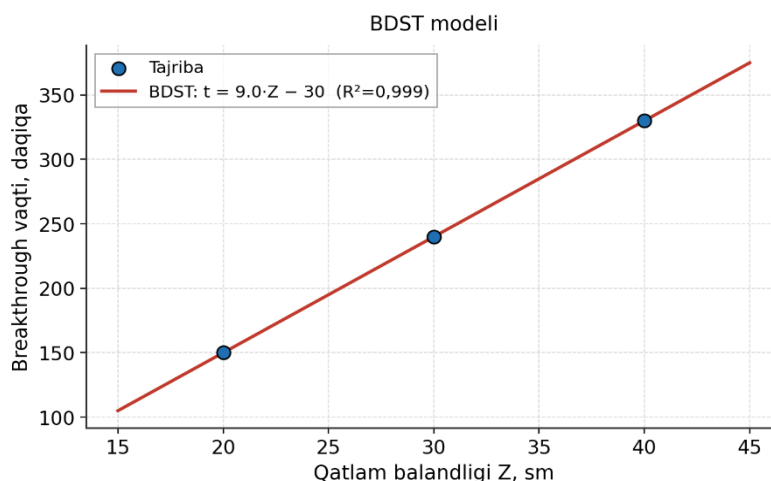
BDST (Bed Depth Service Time) modeli asosida o'tkazilgan tahlillar breakthrough vaqti hamda adsorbent qatlami balandligi o'rtasida kuchli chiziqli bog'liqlik mavjudligini ko'rsatdi. Olingan eksperimental ma'lumotlarning model bilan mosligi juda yuqori bo'lib, korrelyatsiya koeffitsiyenti $R^2 = 0,999$ ni tashkil etdi. Bu natija BDST modelining organobentonit qatlamida neft mahsulotlarining dinamik adsorbsiya jarayonini ishonchli tavsiflashini hamda sanoat adsorberlarini loyihalashda samarali vosita ekanligini tasdiqlaydi [14].

2a va 2b-rasmda keltirilgan bog'liqlikdan ko'rinib turibdiki, adsorbent qatlamining balandligi ortishi bilan breakthrough vaqti deyarli proporsional ravishda uzayadi. Bu esa adsorbent qatlamidagi faol markazlar sonining ko'payishi va adsorbat molekulalarining ushlanish ehtimoli ortishi bilan izohlanadi. Mazkur bog'liqlik yordamida adsorberning kerakli xizmat muddati uchun optimal qatlam balandligini oldindan aniqlash, shuningdek, mavjud qurilmalarni rekonstruksiya qilishda texnik-iqtisodiy jihatdan maqbul yechimlarni tanlash mumkin.

BDST modelining muhim afzalliklaridan biri kritik qatlam balandligi (Z_0) ni aniqlash imkoniyatini berishidir. Kritik qatlam balandligi adsorbent qatlamining breakthrough sodir

bo'lishidan oldin samarali ishlashini ta'minlaydigan minimal balandlikni tavsiflaydi. Agar qatlam balandligi Z_0 dan kichik bo'lsa, adsorbsiya jarayoni yetarli darajada amalga oshmaydi va tozalash samaradorligi pasayadi. Shu sababli Z_0 qiymati sanoat adsorberlarini loyihalashda asosiy konstruktiv parametr sifatida qaraladi. Bundan tashqari, massa almashinish zonasi (MTZ – Mass Transfer Zone) parametrlari ham tahlil qilindi. MTZ adsorbent qatlamining faol adsorbsiya sodir bo'layotgan qismini ifodalab, uning uzunligi adsorber samaradorligini baholashda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari optimal ishchi sharoitlarda massa almashinish zonasining nisbatan ixcham va barqaror shakllanishini ko'rsatdi. MTZ uzunligining qisqa bo'lishi adsorbent qatlamidan foydalanish darajasining yuqori ekanligini, adsorbent hajmining katta qismi samarali ishlayotganligini hamda breakthrough va to'liq to'yinish nuqtalari orasidagi vaqt oralig'ining optimal ekanligini bildiradi [12].

Olingan natijalar BDST modelidan foydalanib adsorberlarning xizmat muddatini prognozlash, turli qatlam balandliklari uchun breakthrough vaqtlarini oldindan hisoblash, adsorbent sarfini optimallashtirish hamda sanoat miqyosidagi neft mahsulotlari bilan ifloslangan oqova suvlarni tozalash inshootlarini ilmiy asosda loyihalash mumkinligini ko'rsatdi (3-rasm). Yuqori aniqlikdagi regressiya ko'rsatkichi ($R^2=0,999$) esa modelning amaliy qo'llash uchun yetarlicha ishonchli ekanligini tasdiqlaydi [14].



3-rasm. Qatlam balandligi bo'yicha xizmat vaqti (BDST) modeli.

Aniqlangan dinamik parametrlar sanoat miqyosidagi adsorbsion qurilmalarni loyihalashda muhim hisoblanib, adsorberlarning geometrik o'lchamlarini tanlash, adsorbent sarfini aniqlash hamda qurilmaning xizmat muddatini prognozlash uchun bevosita qo'llaniladi (1-jadval). Eksperimental va matematik modellash natijalari asosida organobentonitning dinamik adsorbsiya sig'imi $q_d = 57 \text{ mg/g}$ etib aniqlanib, ushbu qiymat sanoat adsorberlarini hisoblashda asosiy loyiha parametri sifatida qabul qilindi. Mazkur ko'rsatkich adsorbentning neft mahsulotlariga nisbatan yuqori sorbsion faollikka ega ekanligini tasdiqlaydi va adsorbent qatlamining ishlash samaradorligini baholashda muhim mezon bo'lib xizmat qiladi [6, 7, 9, 10].

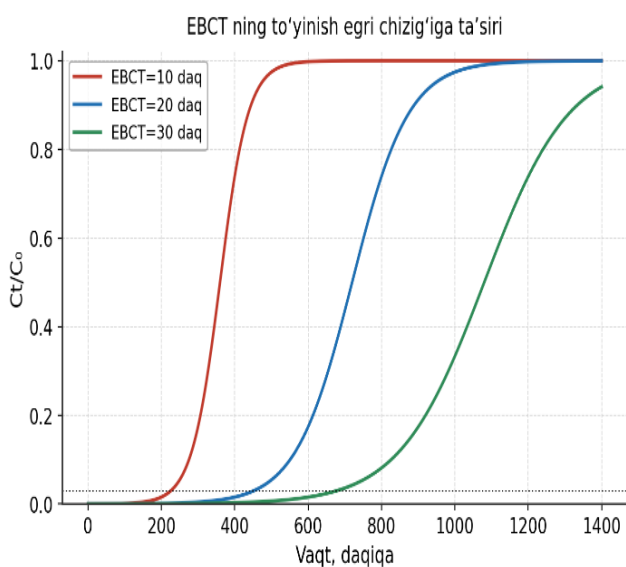
1-jadval. Dinamik adsorbsiyaning asosiy parametrlari

Parametr	Qiymat
Dinamik sig'im, q_d	57 mg/g
Qatlam balandligi, H	30 sm
Bo'sh qatlam kontakt vaqti, EBCT	20 daqiqa
Filtrlash tezligi, u	5 m/soat
Thomas/Yoon–Nelson modeli, R^2	0,985
BDST modeli, R^2	0,999

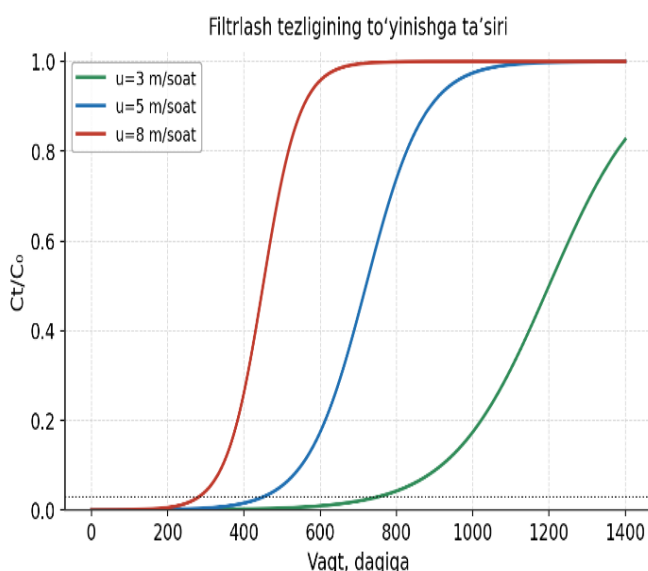
Bo'sh qatlam kontakt vaqti (EBCT) hamda filtrlash tezligining adsorbsiya jarayoniga ta'siri 4a va 4b-rasmlarda keltirilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, EBCT qiymatining 5 daqiqadan 20 daqiqagacha oshirilishi adsorbat molekularining adsorbent yuzasi bilan o'zaro ta'sir vaqtini uzaytirib, massa almashinish jarayonining yanada to'liq kechishini ta'minlaydi. Natijada breakthrough vaqti sezilarli ravishda ortadi, adsorbent qatlamining foydali sig'imidan foydalanish darajasi yaxshilanadi va umumiy tozalash samaradorligi oshadi. Xususan, EBCT ning ortishi bilan breakthrough nuqtasi 1,5–2,0 martagacha kechikishi kuzatildi [11, 15].

Aksincha, filtrlash tezligining oshishi oqimning adsorbent qatlamidan o'tish vaqtini qisqartirib, adsorbatning adsorbent faol markazlariga diffuziylanish imkoniyatini kamaytiradi. Natijada massa almashinish zonasi qisqaradi, breakthrough va to'yinish nuqtalari ertaroq yuzaga keladi hamda adsorbentning umumiy foydalanish darajasi pasayadi. Tadqiqot davomida filtrlash tezligi 3–8 m/soat diapazonda o'rganilib, tezlikning ortishi bilan breakthrough vaqtining 20–35% ga qisqarishi kuzatildi [1-4].

Tahlillar asosida EBCT=20 daqiqa va filtrlash tezligi $u=5$ m/soat optimal texnologik parametrlar sifatida tavsiya etildi. Ushbu rejimda adsorbsiya samaradorligi yuqori qiymatga erishib, adsorbent qatlamining ishlash muddati maksimal darajada uzayadi hamda qurilmaning konstruktiv o'lchamlari iqtisodiy jihatdan maqbul bo'lib qoladi. Shunday qilib, tanlangan optimal parametrlar adsorbsiya samaradorligi, adsorbent sarfi, energiya xarajatlari va inshootning umumiy o'lchamlari o'rtasida eng maqbul muvozanatni ta'minlaydi [11, 14, 15].

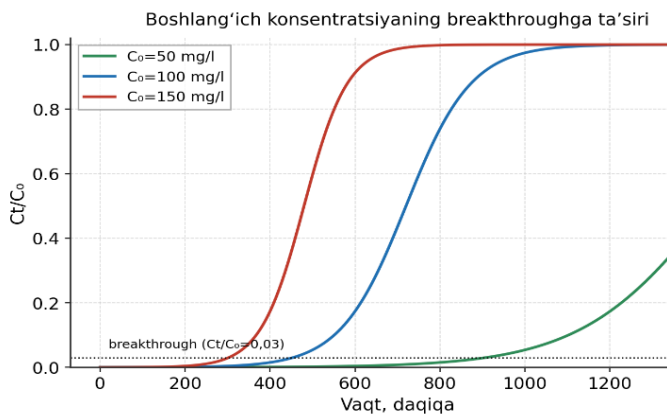


4a-rasm. EBCT ning to'yinish egri chizig'iga ta'siri.

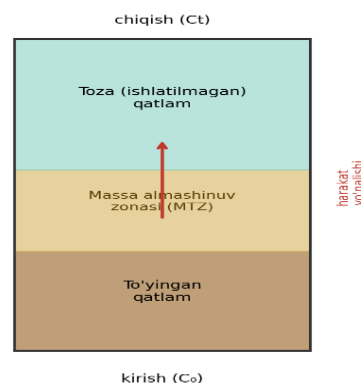


4b-rasm. Filtrlash tezligining to'yinish egri chizig'iga ta'siri.

Boshlang'ich konsentratsiyaning to'yinishga ta'siri va massa almashinuv zonasi (MTZ) sxemasi 5a va 5b-rasmlarda keltirilgan. Kirish konsentratsiyasining oshishi breakthroughni tezlashtiradi va ishchi sikl davomiyligini qisqartiradi; bu adsorbsion bosqichdan oldingi tozalashning barqaror ishlashi muhimligini tasdiqlaydi. Optimal sharoitda MTZ ning ixchamligi qatlamdan samarali foydalanishni anglatadi.



5a-rasm. Boshlang'ich konsentratsiyaning to'yinishga ta'siri.



5b-rasm. Massa almashinuv zonasi (MTZ) sxemasi

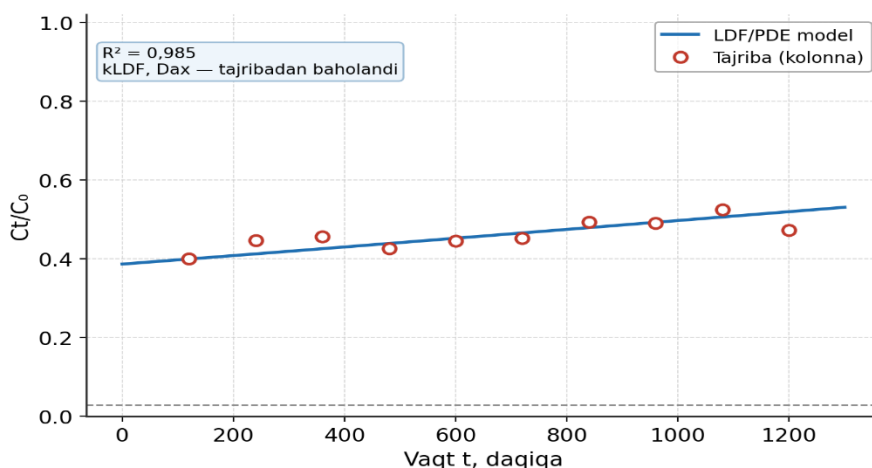
Uch dinamik modelning (Thomas, Yoon–Nelson, Adams–Bohart) qiyosi 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. Dinamik modellarning solishtirma ko'rsatkichlari

Model	Asosiy parametrlar	R ²
Thomas	$k_{Th} = 0,52 \text{ ml}/(\text{mg} \cdot \text{daq}); q_0 = 57 \text{ mg/g}$	0,987
Yoon–Nelson	$k_{YN} = 0,051 \text{ l}/\text{daq}; \tau = 246 \text{ daq}$	0,985
Adams–Bohart	$N_0 = 12,4 \text{ g/l}; k_{AB} = 0,0009 \text{ l}/(\text{mg} \cdot \text{daq})$	0,971

Thomas va Yoon–Nelson modellari butun egri chiziqni, Adams–Bohart modeli esa to'yinishning boshlang'ich qismini eng yaxshi tavsifladi. Modellarning birgalikdagi qo'llanilishi dinamik jarayonni har tomonlama tavsiflash imkonini berdi.

Model bashorati va tajriba to'yinish egri chizig'ining solishtirilishi (6-rasm) ishlab chiqilgan dinamik modelning yuqori ishonchliligini ko'rsatdi: bashorat qilingan va tajribada olingan egri chiziqlar bir-biriga yaqin joylashgan. Bu adsorberning ishchi sikl davomiyligini va regeneratsiya jadvalini ishonchli bashorat qilish imkonini beradi [5, 8].



6-rasm. Model bashorati va tajriba to'yinish egri chizig'ining solishtirilishi.

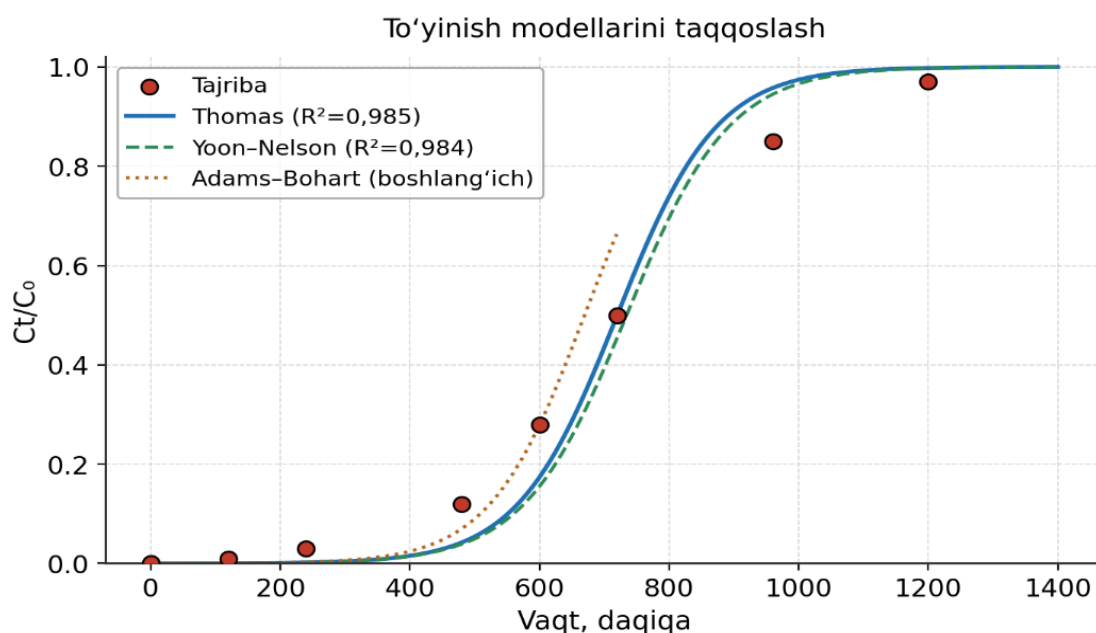
Dinamik sig'imning ($q_d = 57 \text{ mg/g}$) statik maksimal sig'imga ($q_{max} = 95 \text{ mg/g}$) nisbatan past bo'lishi - taxminan 60% - dinamik (kolonnali) jarayonlar uchun xos qonuniyat bo'lib, u kontakt vaqtining cheklanganligi va massa almashinuv qarshiligi bilan izohlanadi. Shuning uchun sanoat adsorberini loyihalashda aynan dinamik sig'im asos qilib olinishi zarur. Olingan natijalar mahalliy organobentonitning uzluksiz sanoat sharoitida barqaror ishlashini va katta hajmli oqava suvlarni samarali tozalashga qodirligini tasdiqlaydi.

To'yinish egri chizig'ini har tomonlama tavsiflash uchun uch dinamik model - Thomas, Yoon-Nelson va Adams-Bohart birgalikda qo'llanildi. Adams-Bohart modeli to'yinishning boshlang'ich qismi ($C_t/C_0 < 0,5$) uchun maxsus bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

$$\ln(C_t/C_0) = k_{AB} \cdot C_0 \cdot t - k_{AB} \cdot N_0 \cdot (Z/u), \quad (5)$$

bu yerda k_{AB} -Adams-Bohart tezlik konstantasi; N_0 - hajmiy sorbsion sig'im; Z -qatlam balandligi; u -chiziqli tezlik.

Uch modelning qiyosi (7-rasm) ularning bir-birini to'ldirishini ko'rsatdi: Thomas va Yoon-Nelson modellari butun egri chiziqni yuqori aniqlik bilan ($R^2 > 0,985$) tavsifladi, Adams-Bohart modeli esa to'yinishning boshlang'ich bosqichiga ($R^2 0,971$) eng yaxshi mos keldi. Bu modellarning birgalikdagi qo'llanishi dinamik jarayonni boshidan oxirigacha ishonchli tavsiflash imkonini beradi[13].



7-rasm. To'yinish modellarini (Thomas, Yoon-Nelson, Adams-Bohart) qiyoslash.

Thomas va Yoon-Nelson modellari asosida aniqlangan parametrlar o'zaro yuqori darajada mos kelib, adsorbsiya jarayonining kinetik va dinamik xususiyatlarini ishonchli tavsiflaydi. Xususan, Thomas modeli uchun tezlik konstantasi $k_{Th}=0,52 \text{ ml} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, maksimal dinamik adsorbsiya sig'imi $q_0=57 \text{ mg/g}$ hamda Yoon-Nelson modeli bo'yicha 50 % breakthrough vaqtiga mos keluvchi $\tau=246$ daqiqa qiymatlari olindi. Ushbu parametrlarning o'zaro muvofiqligi eksperimental ma'lumotlar bilan matematik modellar o'rtasida yuqori darajadagi moslik mavjudligini ko'rsatadi va organobentonitning neft mahsulotlariga nisbatan samarali adsorbent ekanligini tasdiqlaydi [11, 13].

Aniqlangan $q_0=57 \text{ mg/g}$ qiymati adsorbentning amaliy sig'imini tavsiflab, adsorberning sorbsion imkoniyatlarini baholashda asosiy loyiha parametri hisoblanadi. $k_{Th}=0,52 \text{ ml} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ qiymati esa adsorbsiya jarayonining intensivligini ifodalab, massa almashinish jarayonlarining yetarli darajada tez kechayotganligini ko'rsatadi. Yoon-Nelson modelida aniqlangan $\tau=246$ daqiqa qiymati adsorbent qatlamining xizmat muddatini tavsiflovchi muhim ko'rsatkich bo'lib, adsorberning ekspluatatsion samaradorligini baholash imkonini beradi. Mazkur parametrlar sanoat miqyosidagi adsorbsion qurilmalarni loyihalashda bevosita qo'llaniladi. Jumladan, dinamik sig'im qiymati asosida talab etiladigan adsorbent massasi va adsorbsiya qatlamining balandligi aniqlanadi, τ parametri yordamida adsorberning ishchi sikli davomiyligi hamda breakthrough sodir bo'lishigacha bo'lgan xavfsiz ishlash vaqti hisoblanadi. Shuningdek, ushbu ma'lumotlar regeneratsiya yoki adsorbentni almashtirish davriyligini belgilash, parallel ishlovchi adsorberlar sonini tanlash va uzluksiz texnologik jarayonni tashkil etishda muhim ahamiyatga ega [11, 13, 14, 15].

Xulosa

Tadqiqot natijalari organobentonit asosidagi adsorbentning neft mahsulotlarini oqava suvlardan ajratib olishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Dinamik adsorbsiya jarayoni uchun olingan eksperimental ma'lumotlar Thomas va Yoon–Nelson modellari bilan yuqori darajada mos tushib, korrelyatsiya koeffitsiyenti $R^2 > 0,985$ ni tashkil etdi. Bu esa ushbu modellar organobentonit qatlamida massa almashinish va adsorbsiya kinetikasini ishonchli tavsiflashini tasdiqlaydi. Hisoblashlar natijasida adsorbentning maksimal dinamik sig'imi 57 mg/g ekanligi aniqlanib, bu ko'rsatkich organobentonitning neft mahsulotlariga nisbatan yuqori sorbsion faollikka ega ekanligini ko'rsatadi.

Tajriba natijalariga ko'ra, bo'sh qatlamdagi optimal kontakt vaqti (EBCT) 20 daqiqa hamda filtrlash tezligi 5 m/soat etib belgilandi. Mazkur parametrlar sharoitida neft mahsulotlarini ushlab qolish samaradorligi maksimal qiymatga erishib, adsorbent qatlamining xizmat muddati uzaydi va breakthrough vaqti sezilarli darajada ortdi. Bundan tashqari, BDST (Bed Depth Service Time) modeli yordamida adsorbent qatlamining balandligi va xizmat muddati o'rtasidagi bog'liqlik baholanib, modelning aniqlik darajasi $R^2=0,999$ ni tashkil etdi. Ushbu natija BDST modelining sanoat adsorberlarini loyihalash, optimal qatlam balandligini tanlash hamda qurilmaning ishchi siklini prognozlashda yuqori ishonchlilikka ega ekanligini ko'rsatadi. Olingan natijalar organobentonitdan neft mahsulotlari bilan ifloslangan oqava suvlarni tozalashda samarali adsorbent sifatida foydalanish va adsorbsion qurilmalarni ilmiy asosda loyihalash uchun muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar

- [1] Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th Edition. McGraw-Hill.
- [2] [U.S. EPA – Petroleum Refining Effluent Guidelines](#)
- [3] Crittenden J.C. et al. *Water Treatment: Principles and Design*. 3rd Edition.
- [4] El-Naas M.H., Alhaija M.A., Al-Zuhair S. *Evaluation of an activated carbon packed bed for the adsorption of phenols from petroleum refinery wastewater*. Chemical Engineering Journal.
- [5] Bansal R.C., Goyal M. *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press.
- [6] Belat B., Veli S., Isgoren M. (2022). *Modeling of linear alkyl benzene sulphonic acid removal from aqueous solution with fixed bed adsorption column: Thomas and Yoon–Nelson methods*. DOI: 10.1002/jctb.7048.
- [7] Chu K.H., Hashim M.A. (2024). *Comparing different versions of the Yoon–Nelson model...* DOI: 10.1007/s11356-024-32450-7.
- [8] El-Naas M.H. et al. *Evaluation of an activated carbon packed bed for the adsorption of phenols from petroleum refinery wastewater*.
- [9] Li Y. et al. *Fixed Bed Adsorption Study on Phosphate Removal Using Nanosized FeOOH-Modified Anion Resin*. DOI: 10.1155/2013/736275.
- [10] *Novel combinatorial extensions to breakthrough curve modeling of an adsorption column*. DOI: 10.1016/j.jiec.2020.03.015.
- [11] Crittenden J.C., Trussell R.R., et al. *Water Treatment: Principles and Design*. Wiley, 2012.
- [12] Thomas H.C. (1944). *Heterogeneous Ion Exchange in a Flowing System*. Journal of the American Chemical Society, 66, 1664–1666.
- [13] Yoon Y.H., Nelson J.H. (1984). *Application of Gas Adsorption Kinetics*. American Industrial Hygiene Association Journal, 45, 509–516.
- [14] Hutchins R.A. (1973). *New Simplified Design of Activated Carbon Systems*. American Water Works Association.
- [15] Bansal R.C., Goyal M. *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press, 2005.
- [16] Ruthven D.M. *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. Wiley, 1984.

UO‘K: 622.691.4

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.06>

O‘ZGARUVCHAN KESIMGA EGA KANALDA SUYUQLIK OQIMINING NOSTATSIONAR MASALASI

Babajanov Yuldash Tilovovich¹- fizika-matematika fanlar nomzodi, dotsent,
E-mail: babajanov.y@mail.ru, ORCID: 0009-0001-1674-7163, Science ID: FQD-0626-0089

Babajanova Iroda Yuldashevna²- texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: babadjanova.i@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0466-5352, Science ID: FQD-0626-0085

¹Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

²O‘zbekiston Respublikasi Harbiy havfsizlik va Mudofaa universiteti Harbiy Aviatsiya instituti,
Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada o‘zgaruvchan kesim yuzali kanallarda suyuqlik oqimining statsionar va nostatsionar harakati matematik modellashirilgan. Tadqiqotda kichik g‘alayonlar usuli, Gurevich–Xaskind hamda Kuznetsov yondashuvlari asosida nostatsionar oqim parametrlarini aniqlash masalasi ko‘rib chiqilgan. Oqimning kompleks potentsiali, tezlik va bosim maydonlarini aniqlash uchun analitik formulalar keltirilgan hamda erkin chegara uchun kinematik va dinamik shartlar hosil qilingan. Torayuvchi kanalda pulsatsiyalanuvchi oqimlarning xossalari tahlil qilinib, bosim amplitudasi va fazasining Struxal soniga bog‘liqligi o‘rganilgan. Tadqiqot natijasida kanalning siqilish zonasida yuzaga keladigan uyurmaliq oqim parametrlarini hisoblashning analitik usuli ishlab chiqilgan hamda uyurmasiz oqimni ta‘minlaydigan kanal shaklini aniqlash usuli taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: o‘zgaruvchan kesimli kanal, nostatsionar oqim, statsionar oqim, kichik g‘alayonlar usuli, Gurevich–Xaskind usuli, kompleks potentsial, suyuqlik dinamikasi, erkin chegara, uyurmaliq oqim, bosim amplitudasi, Struxal soni, Keldish–Sedov formulasi, matematik model, kanal geometriyasi, analitik yechim.

УДК: 622.691.4

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Бабаджанов Юлдаш Тиловович¹-кандидат физико-математических наук, доцент
Бабаджанова Ирода Юлдашевна²- доктор философии по техническим наукам

¹Каршинский государственный университет, г. Карши, Узбекистан

²Институт военной авиации Университета военной безопасности и обороны Республики
Узбекистан, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье математически моделируется стационарное и нестационарное поведение течения жидкости в каналах с переменным поперечным сечением. Рассматривается задача определения параметров нестационарного течения на основе метода малых возмущений, подходов Гуревича–Хаскинда и Кузнецова. Представлены аналитические формулы для определения комплексных потенциальных, скоростных и давлений полей течения, а также выведены кинематические и динамические условия для свободной границы. Проанализированы свойства пульсирующих течений в сужающемся канале, изучена зависимость амплитуды и фазы давления от числа Струхале. В результате исследования разработан аналитический метод расчета параметров турбулентного течения, возникающего в зоне сжатия канала, и предложен метод определения формы канала, обеспечивающей турбулентное течение.

Ключевые слова: канал с переменным поперечным сечением, нестационарное течение, стационарное течение, метод малых возмущений, метод Гуревича–Хаскинда, комплексный потенциал, гидродинамика, свободная граница, турбулентное течение, амплитуда давления, число Струхала, формула Келдыша–Седова, математическая модель, геометрия канала, аналитическое решение.

UDC: 622.691.4

UNSTEADY PROBLEM OF FLUID FLOW IN A CHANNEL OF VARIABLE CROSS-SECTION

Yuldash Babadzhanov¹, candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor

Iroda Babadzhanova², doctor of philosophy in technical sciences

¹Karshi State University, Karshi, Uzbekistan

²Institute of Military Aviation of the University of Military Security and Defense of the Republic of Uzbekistan, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This article mathematically models the stationary and unsteady behavior of fluid flow in channels with variable cross-sections. The study considers the problem of determining unsteady flow parameters based on the method of small disturbances, Gurevich–Haskind and Kuznetsov approaches. Analytical formulas are presented for determining the complex potential, velocity and pressure fields of the flow, and kinematic and dynamic conditions for the free boundary are derived. The properties of pulsating flows in a narrowing channel are analyzed, and the dependence of the pressure amplitude and phase on the Struchal number is studied. As a result of the study, an analytical method for calculating the parameters of the turbulent flow that occurs in the compression zone of the channel is developed, and a method for determining the channel shape that ensures turbulent flow is proposed.*

Keywords: *channel with variable cross-section, unsteady flow, steady flow, small perturbation method, Gurevich–Haskind method, complex potential, fluid dynamics, free boundary, turbulent flow, pressure amplitude, Struchal number, Keldysh–Sedov formula, mathematical model, channel geometry, analytical solution.*

Kirish

Hozirgi kunda respublikamiz hududidagi o'zgaruvchan kesimli kanallarda suvning nostatsionar oqimi gidravlik va geometrik parametrlarini aniqlash masalalari yetarli darajada o'rganilmagan. Bunday kanallarda oqimning murakkab tuzilishi natijasida uyurmali va kavitatsion zonalar hosil bo'lib, ushbu sohalarida loyqa cho'kindilarining to'planishi oqim strukturasining buzilishiga hamda kanal devorlarining yemirilishiga sabab bo'ladi. Natijada gidrotexnik inshootlarda gidrodinamik bosim va tezlik pulsatsiyalari ortib, suv sathining pasayishi kuzatiladi, bu esa inshootlarning xavfsiz va ishonchli ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Shu munosabat bilan o'zgaruvchan kesimli kanallarda hosil bo'ladigan uyurmali maydonlarning o'lchamlarini aniqlash hamda nostatsionar oqim sharoitida gidravlik bosim va tezlik maydonlarini hisoblash usullarini takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Mazkur masala gidrotexnika inshootlari, irrigatsiya va melioratsiya tizimlari hamda gidroenergetika obyektlarining samarali va barqaror faoliyatini ta'minlashda dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zgaruvchan kesimga ega kanallarda suyuqlik oqimining stasionar masalalari siqilmaydigan ideal suyuqliklar nazariyasi doirasida keng o'rganilgan bo'lib, ular asosan Jukovskiy metodi asosida tadqiq etilgan.

Biroq nostatsionar oqim sharoitida yuzaga keladigan gidravlik jarayonlarni tavsiflash va ularning asosiy parametrlarini aniqlash masalalari yetarli darajada tadqiq qilinmagan. Shu bois ushbu tadqiqotning maqsadi o'zgaruvchan kesimli kanallarda nostatsionar oqim sharoitida gidravlik hisoblash usullarini takomillashtirishdan iborat.

Materiallar va uslublar

Mazkur kanaldagi suyuqlik oqimining nostatsionar masalasi esa kichik g'alayonlar usuliga asoslangan va Gurevich–Haskind usuli deb nomlanuvchi metod yordamida tadqiq etilgan [1; 2].

Ko'rilayotgan jarayon uchun nostatsionar masalaning formulasi quyidagicha ifodalanadi. Vaqtning boshlang'ich momentida suyuqlik egallagan D_0 soha aniq aniqlanadi. Ushbu chegaraning

bir qismi qattiq devor (kanal devori) bilan cheklangan, qolgan qismi esa erkin sathdan iborat bo‘ladi. Qattiq sirt sharti va erkin sathdagi bosim ma’lum bo‘lgani sababli, vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradigan oqim parametrlarini aniqlash vazifasi qo‘yiladi.

Kichik g‘alayonlar usulining umumiy tavsifini keltiramiz [3; 4].

Faraz qilaylik, $w(z)$ -stasionar oqimning kompleks potentsiali bo‘lsin. Amalda ushbu bog‘lanish quyidagi parametrik ko‘rinish orqali ifodalanadi:

$$w_0(u), \quad z = z_0(u), \quad (1)$$

bu yerda “u” - kanonik soha bo‘lib, unga fizik tekislik va boshqa sohalar konformal akslantiriladi.

Endi stasionar oqimga ε kichik parametrlar orqali ifodalangan quyidagi shakldagi kichik g‘alayon qo‘shamiz:

$$\left. \begin{aligned} z(t) &= z_0 + \varepsilon z_1(z_0, t), \\ w(z, t) &= w(z_0) + \varepsilon w_1(z_0, t), \\ v(z, t) &= \mathcal{G}_0(z_0) + \varepsilon \mathcal{G}_1(z_0, t), \\ P(z, t) &= P_0(z_0) + \varepsilon P_1(z_0, t) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

bu yerda: z - nostatsionar oqim sohasidagi fizik koordinata; w - nostatsionar oqimning kompleks potentsiali. $\overline{\mathcal{G}} = \mathcal{G}e^{i\theta}$ kompleks tezlik; θ - tezlik vektorining x o‘qi bilan hosil qilgan burchagi; P - bosim.

“u” parametrik o‘zgaruvchini hisobga olgan holda, nostatsionar masala yechimi xuddi stasionar masaladagi kabi quyidagi ikkita funksiya orqali aniqlanadi:

$$z = z(u, t), \quad w = w(u, t).$$

Ushbu funksiyalarni kichik g‘alayonlar usuliga ko‘ra quyidagicha ifodalash mumkin:

$$z = z_0(u) + \varepsilon z_1(u, t)$$

$$w = w_0(u) + \varepsilon w_1(u, t)$$

Xuddi shunday, suyuqlik oqimi tezligi va bosimini mos ravishda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\overline{v}(u, t) = \overline{\mathcal{G}}_0(u) + \varepsilon \overline{\mathcal{G}}_1(u, t)$$

$$P(u, t) = P_0(u) + \varepsilon P_1(u, t)$$

Ma’lumki, bosim Koshi–Lagranj integralidan aniqlanadi.

$$P + \rho \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} |\mathcal{G}|^2 \right) = c(t),$$

bu yerda: ρ -suyuqlik zichligi; φ - nostatsionar oqimning tezlik potentsiali; $c(t)$ - vaqtga bog‘liq funksiya.

Shunday qilib, $z_1, w_1, \mathcal{G}_1, p_1$ to‘rtta parametrdan faqat ikkitasi erkin o‘zgaruvchi bo‘lib, ular orqali qolgan parametrlarni hisoblash muhim ahamiyatga ega. Biz bu metodning kichik tafsilotlariga to‘xtalmay, A.V. Kuznetsov tomonidan rivojlantirilgan va soddalashtirilgan ko‘rinishidan foydalanishga harakat qilamiz [5;6].

Faraz qilaylik, bizda ma’lum bir masalaning stasionar yechimi mavjud bo‘lsin. Endi stasionar yechimdan katta farq qilmaydigan nostatsionar oqim masalasini ko‘rib chiqamiz. Bu yerda nostatsionarlik kanaldagi suyuqlik oqimi tezligining kichik g‘alayonli o‘zgarishlari natijasida yuzaga keladi.

Nostatsionar oqimning kompleks potentsiali quyidagicha ifodalanadi:

$$w = w_0 + w_1. \quad (3)$$

Endi esa $w(u, t) = \varepsilon w_1 = \varphi(u, t) + i\Psi(u, t)$ uchun chegaraviy masalani belgilaymiz. Biz $u = u_0$ ekanligini inobatga olib, doimiy deb hisoblaymiz (haqiqatdan ham kanal devori o'zgarmas deb qabul qilinadi). (3)-tenglamadan foydalanib, suyuqlik sohasida suyuqlik tezligini quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$\bar{\mathcal{G}}(\bar{r}, t) = \bar{\mathcal{G}}_0(\bar{r}) + \Delta\varphi(\bar{r}, t), \quad (4)$$

bu yerda; $\bar{r} = \bar{r}_0 + \bar{\delta} - D_t$ sohadagi ma'lum bir nuqtaning radius-vektori, ($\bar{\delta}$ -nuqtaning statsionar chegara nisbati bo'yicha siljishi, $\bar{r}_0$ -statsionar chegaraning radius-vektori) o'zgaruvchan chegaraning o'tmaslik sharti asosida, A.V. Kuznetsov tomonidan chegara sirtidagi normal tezlik quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\frac{\partial\varphi_1}{\partial\eta} = \frac{\partial\delta_\eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}(\mathcal{G}_\tau\delta_\eta), \quad (5)$$

bu yerda $\bar{r}, \bar{n} - D_0$ chegaradagi urunma va normal ortlar; $\delta_n = \bar{\delta} \cdot \bar{n} - \bar{\delta}$ vektorning normaldagi proeksiyasi; $S - D_0$ konturning yoy uzunligi; $\mathcal{G}_\tau - D_0$ chegaradagi urunma tezlik.

(5) shart erkin chegara uchun o'rinli, ammo undagi δ_n ni bundan buyon η bilan belgilaymiz, u noma'lum erkin chegarada $ds = ds_0 = \frac{d\varphi_0}{\mathcal{G}_k}$ bo'lgani uchun erkin chegaradagi kinematik shartni quyidagicha yozishimiz mumkin

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = \frac{\partial\eta}{\partial t} + \mathcal{G}_k^2 \frac{\partial\eta}{\partial\varphi_0} = D\eta. \quad (6)$$

(4)-tenglamadan foydalanib, Koshi–Lagranj integralidan $\bar{r} = \bar{r}_0 + \bar{\delta}$ nuqtada 0 gacha bo'lgan aniqlik darajasida suyuqlik bosimini hisoblashning tarkibiy ifodasi quyidagicha keltiriladi:

$$p(\bar{r}_0 + \bar{\delta}, t) = p_0(\bar{r}_0) - \rho\left(\frac{\partial\phi}{\partial t} + (\bar{\mathcal{G}} \cdot \Delta\varphi) + \mathcal{G}_n \frac{\partial\mathcal{G}}{\partial s} \delta_\tau\right). \quad (7)$$

(7)-tenglamadagi barcha hadlar statsionar chegaralarda hisoblanadi. Ushbu formula erkin chegarada dinamik shartni quyidagi shaklda ifodalash imkonini beradi:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \mathcal{G}_k^2 \frac{\partial\varphi}{\partial\varphi_0} + \mathcal{G}_k^2 x\eta = 0 \quad (8)$$

(6) va (8) dan η ni yo'qotsak,

$$\mathcal{G}_k^3 \frac{\partial\varphi}{\partial n} = D \left[\frac{\partial\varphi_0}{\partial\theta_0} D\varphi \right] \quad (9)$$

ni hosil qilamiz.

Bu yerda

$$D = \frac{\partial}{\partial t} + \mathcal{G}_k^2 \frac{\partial}{\partial\varphi_0},$$

θ_0 – statsionar oqimda tezlik vektorining x o'qi bilan hosil qilgan burchagi. M.I. Gurevich va M.D.

Xaskind keyingi hisob-kitoblarni soddalashtirish maqsadida (8) tenglamadan $\mathcal{G}_k^2 x\eta$ hadni chiqarib tashlab, quyidagi soddalashtirilgan ko'rinishga keldilar [3; 4]:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \mathcal{G}_k^2 \frac{\partial\varphi}{\partial\varphi_0} = 0 \quad (10)$$

53

Tashqi ta'sir ostida yuzaga kelgan oqimni ifodalash usuli $\frac{d\tilde{w}}{du}$ funksiyaning $u = 0$ nuqtada oddiy qutbga ega bo'lishini talab qiladi. Ushbu holatni, shuningdek (13) va (14) chegaraviy shartlarni e'tiborga olib, umumlashtirilgan Keldish–Sedov formulasidan foydalanish orqali aralash chegaraviy masalaning yechimini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin: [7;9]

$$\frac{d\tilde{w}}{du} = \frac{1}{\sqrt{u^2 - 1}} \left[\frac{C_1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{1-\xi}}{\sqrt{1+\xi}} \frac{(\xi+d)e^{-\frac{j\omega\lambda^2\varphi_0(\xi)}{Q}}}{(a-\xi)(\xi-u)} d\xi + \frac{C_2}{u-a} \right], \quad (15)$$

bu yerda $\lambda = \frac{U}{V_k}$; C_2 (11) dan aniqlanadi

$$C_2 = \frac{Q\mathcal{G}^* \cdot \sqrt{a^2 - 1}}{\pi U}. \quad (16)$$

C_1 - qiymati $\frac{d\tilde{w}}{du}$ funksiyaning $u = 1$ nuqtasida cheklangan bo'lishi shartidan aniqlanadi.

$$\frac{C_1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{1-\xi}}{\sqrt{1+\xi}} \frac{(\xi+d)e^{-\frac{j\omega\lambda^2\varphi_0(\xi)}{Q}}}{(a-\xi)} d\xi + \frac{C_2}{a-1} = 0.$$

Bu holat oqimning ajralish nuqtasida nostatsionar tezlikning cheklangan bo'lishini ko'rsatadi. Shundan kelib chiqib, oxirgi tenglamadan quyidagi ifoda aniqlanadi:

$$C_1 = \frac{Q\mathcal{G}^*}{U} \sqrt{\frac{a+1}{a-1}} \frac{1}{I(1, \omega)}, \quad (17)$$

bunda

$$I(1, \omega) = I(u, \omega) / u = 1$$

$$I(u, \omega) = \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{1-\xi}}{\sqrt{1+\xi}} \frac{(\xi+d)e^{-\frac{j\omega\lambda^2\varphi_0(\xi)}{Q}}}{(a-\xi)(u-\xi)} d\xi.$$

(16)va (17) formulalarini (15) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz

$$\frac{d\tilde{w}}{du} = \frac{Q\mathcal{G}^*}{\pi U(u-a)} \sqrt{\frac{a^2-1}{u^2-1}} \left[1 - \left(\frac{a-u}{a-1} \right) \frac{I(u, \omega)}{I(1, \omega)} \right] \quad (18)$$

$$\frac{dz}{du} = \frac{Q}{\pi V_k} \left[\frac{a+1}{a+d} \right] \frac{(u+d) \exp \left[\pi \left(\frac{1+\alpha}{F(-1)} F(u) - i\alpha \right) \right]}{(u-a)(u+1)}. \quad (19)$$

(19) va (18) formulalar yordamida biz nobarqaror tezlikni hisoblaymiz

$$\frac{dw}{dz} = \frac{du}{dz} \frac{d\tilde{w}}{du} e^{j\omega\tau} = \frac{Q\mathcal{G}^*}{\lambda q_E} \sqrt{\frac{a^2-1}{u^2-1}} \left[\frac{u+1}{u+d} \right] \left[1 - \left(\frac{a-u}{a-1} \right) \frac{I(u, \omega)}{I(1, \omega)} e^{-\pi \left[\frac{(1+\alpha)}{F(-1)} F(u) - i\alpha \right] + j\omega\tau} \right]. \quad (20)$$

Bo'shliqning nostatsionar chegarasini aniqlash uchun tezlik nolga teng bo'ladigan D nuqtaning absissasini aniqlash zarur. $\frac{\partial W}{\partial z} = 0$ shartidan esa quyidagi ifoda hosil qilinadi:

$$1 + \frac{du}{dw_0} \frac{d\tilde{w}}{du} e^{j\omega\tau} = 0, \quad (21)$$

ya'ni,

$$\sqrt{\left(\frac{a+1}{a-1}\right)\left(\frac{u-1}{u+1}\right)\left(\frac{u+d}{a+d}\right)} + \frac{\mathcal{G}^*}{U} \left[1 - \left(\frac{a-u}{a-1}\right) \frac{I(u, \omega)}{I(1, \omega)} \right] e^{j\omega\tau} = 0. \quad (22)$$

D nuqtaning absissasi

$$\frac{x_D}{H} = \frac{U}{\pi V_k} \left[\frac{a+1}{a+d} \right] \operatorname{Re} \int_{-d}^1 \frac{\left[1 + du + \sqrt{(d^2-1)(u^2-1)} \right] \left[gu - 1 + \sqrt{(g^2-1)(u^2-1)} \right]^\alpha}{(a-u)(u+1)(u-g)^\alpha} du. \quad (23)$$

(23) tenglama yordamida aniqlanadi, bunda integralning pastki chegarasi sifatida d qiymati (22) tenglamadan olinadi.

Oldingi masalada bo'lgani kabi, ko'rib chiqilayotgan kanalda suyuqlikning nostatsionar oqimi vaqtida bosimning ortishi (25) formula yordamida aniqlanadi. $\frac{\partial \varphi}{\partial \varphi_0}$ qiymati esa

$$\frac{dw_0}{du} = \frac{Q}{\pi} \left[\frac{a+1}{a+d} \right] \frac{(u+d)}{(u-a)(u+1)}. \quad (24)$$

(24) va (18) formulalar asosida hisoblanadi. $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ funksiyani (18) formuladan foydalanib aniqlash mumkin, ammo uni funksiyasi uchun aralash chegaraviy masalaning yechimini yozish orqali yanada soddagina topish mumkin:

$$\tilde{F}(u) = \frac{j\omega U}{H} \tilde{w} + V_0^2 \frac{d\tilde{w}}{dw_0}, \quad (25)$$

bu yerda V_0 - barqaror oqim tezligining moduli hisoblanadi.

Chunki

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} \tilde{F}(u) &= 0, & -\infty < u < -1, \\ \operatorname{Re} \tilde{F}(u) &= 0, & -1 \leq u \leq 1, \\ \operatorname{Im} \tilde{F}(u) &= \begin{cases} \frac{j\omega U}{H} \tilde{C}_1 & 1 < u < a, \\ 0, & a \leq u < \infty \end{cases} \end{aligned} \quad (26)$$

Doimiy $\tilde{C}_1$ kattalik suyuqlik oqimining qo'shimcha nostatsionar sarf koeffitsientini ifodalaydi.

$$C_1 = \tilde{C}_1 e^{j\omega\tau} = \frac{Q \mathcal{G}^*}{U} e^{j\omega\tau},$$

bundan

$$\tilde{C}_1 = \frac{Q}{U} \mathcal{G}^*.$$

Keyinchalik, ushbu shartlarga mos ravishda tuzilgan analitik funksiya quyidagi shaklga ega bo'ladi.

$$\tilde{F}(u) = \frac{j\omega U \mathcal{G}^*}{\pi} \sqrt{u^2-1} \int_1^a \frac{d\xi}{\sqrt{\xi^2-1}(\xi-u)}$$

yoki

$$\tilde{F}(u) = \frac{j\omega U \mathcal{G}^*}{\pi} \ln \left| \frac{a-u}{a u - 1 + \sqrt{(a^2-1)(u^2-1)}} \right|. \quad (27)$$

(27) dan va $\tilde{F}(u)$ ta'rifdan quyidagi kelib chiqadi

$$j \frac{\omega U}{H} \tilde{\varphi} = \frac{j\omega U \mathcal{G}^*}{\pi} \ln \left| \frac{a-u}{a u - 1 + \sqrt{(a^2-1)(u^2-1)}} \right|, |u| > 1$$

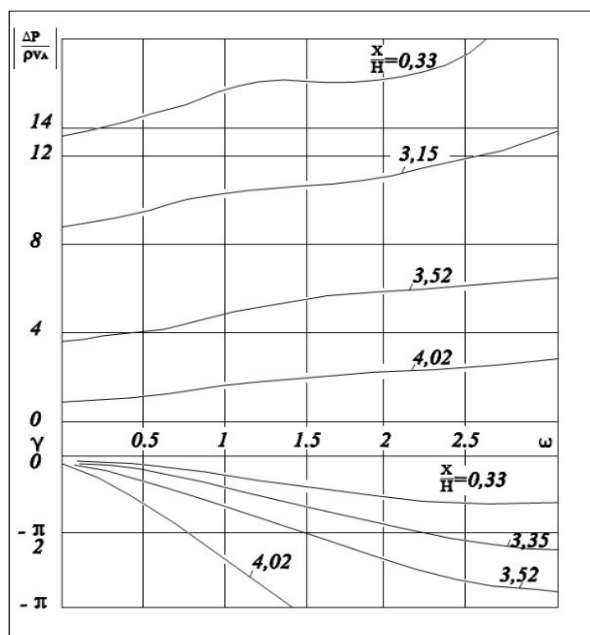
Olingan ifodalarni bosim formulaga qo'llash orqali quyidagi natijaga erishamiz:

$$\frac{\Delta P}{\rho V_k^2} = \frac{\mathcal{G}^* e^{j\omega\tau}}{U} \left[\frac{j\omega \lambda^2}{\pi} \ln \left| \frac{a-u}{a u - 1 + \sqrt{(a^2-1)(u^2-1)}} \right| - \right. \\ \left. - \left(1 - \frac{V_0^2}{V_k^2} \right) \sqrt{\frac{a-1}{a+1}} \sqrt{\frac{u+1}{u-1}} \left(\frac{a+d}{u+d} \right) \left[1 - \left(\frac{a-u}{a-1} \right) \frac{I(u, \omega)}{I(1, \omega)} \right] \right] \quad (28)$$

bunda $\lambda = \frac{U}{V_k}$ teng (28) formulani quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$\frac{\Delta P}{\rho V_k^2} = n_0 e^{j(\omega\tau + \gamma)}$$

Amplituda n_0 va fazaning o'zgarish burchagi γ ning Struxal soni ω ga bog'liqligi VDO kanal devoridagi turli nuqtalarda 2-rasmda tasvirlangan.



2-rasm. Nostatsionar harakatda bosim moduli va fazaning o'zgarish burchagi γ ning Struxal soni ω ga bog'liqligi.

Hisoblash grafiklaridan ko‘rinib turibdiki, teshikdan masofa $\frac{x}{H}$ oshgan sari bosim o‘zgarishi so‘nuvchi xususiyatga ega bo‘ladi [1; 2; 4; 11].

Xulosa

O‘zgaruvchan kesim yuzali kanalda suyuqlik oqimining matematik modeli taklif etildi. O‘zgaruvchan kesim yuzali kanalda suyuqlikning uyurmalik oqimi hisobga olgan holdagi statsionar va nostatsionar harakati masalasining analitik yechimi olindi. Kanalning siqilish zonasida yuzaga keladigan uyurmalik oqim geometrik o‘lchamlarini kanalning siqilish parametri x/H va oqim tezligiga bog‘liq ravishda hisoblashning analitik usuli keltirildi. O‘zgaruvchan kesim yuzali kanalning uyurmasiz oqimni ta‘minlaydigan shaklining kanal geometriyasiga va oqim tezligiga bog‘liq ravishda aniqlash usuli yaratildi.

Masalada olingan natijalar nasos stansiyalarining ekspluatatsiyasida va loyihalashda muhim ahamiyatga ega. Chunki uyurmalik zonaning geometrik o‘lchamlarini va ularni nostatsionar tezlikka bog‘liq holda o‘zgarishini aniqlash nasos stansiyalarining ish rejimiga ta‘sir qilishi aniqlangan.

Adabiyotlar

- [1] Das, A., Critical Channel Dimensions For Open-Channel Transition Design, Journal Of Irrigation And Drainage Engineering, 137(11) (2011) 735-742.
- [2] Drikakis, D. (1997). Bifurcation Phenomena In Incompressible Sudden Expansion Flows. Physics Of Fluids, 9(1), 76-87.
- [3] Glovatskiy O., Ergashev R., Kholbutaev B., Nasirova N., Rashidov J. Design Aspects Of Operation Of Water Supply Facilities Of Pumping Stations. E3s Web Of Conferences 274, 03008 (2021) Stcce–2021 <https://doi.org/10.1051/E3sconf/202127403008>
- [4] Guo X. M. Et Al. Numerical And Experimental Investigations On The Cavitation Characteristics Of A High-Speed Centrifugal Pump With A Splitter-Blade Inducer //Journal Of Mechanical Science And Technology. – 2015 –T. 29.–№.1. – С. 259-267.
- [5] Das, A., Critical Channel Dimensions For Open-Channel Transition Design, Journal Of Irrigation And Drainage Engineering, 137(11) (2011) 735-742.
- [6] Drikakis, D. (1997). Bifurcation Phenomena In Incompressible Sudden Expansion Flows. Physics Of Fluids, 9(1), 76-87.
- [7] Escudier, M. P., Oliveira, P. J., & Poole, R. J. (2002). Turbulent Flow Through A Plane Sudden Expansion Of Modest Aspect Ratio. Physics Of Fluids, 14(10), 3641-3654.
- [8] Feng Jiangang, Li Xin. Research On The Measures Of Improve The Flow Pattern Of The Forebay Of City Intake Water Pumping Stations [J]. Applied Mechanics And Materials, 2012,170-173:
- [9] Gan, L., Baqui, Y. B., & Maffioli, A. (2016). An Experimental Investigation Of Forced Steady Rotating Turbulence. European Journal Of Mechanics-B/Fluids, 58, 59-69.
- [10] Gandhi, S. (2024). Empirical Modeling Of Flow Characteristics In Suddenly Expanding Channels. Journal Of Applied Fluid Mechanics, 17(4), 857-869.
- [11] Зарипов, М. Б., & Муқимов, Ш. И. (2024). Безвихревое движение жидкости в сужающемся канале. Science And Innovation, 3(Special Issue 52), 436-440.
- [12] Ибрагимов А. Х. Сув омбори аванкамерасида тезлик майдонини Допплер аппарати орқали ўлчаш ва экспериментал оқим картасини тузиш // Гидравлика ва гидротехника илмий тадқиқотлари. – Тошкент, 2021. – №3. – С. 45–52.

UO‘K: 626.823:551.435.1

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.07>

AMU-BUXORO MASHINA KANALIDAGI O‘ZAN DEFORMATSIYASI JARAYONLARI VA UNI KELTIRIB CHIQUARUVCHI ASOSIY OMILLAR

Xazratov Alisher Normurodovich¹ – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),

E-mail: khazratov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1300-0547, Science ID: FQD-0225-0024

Raxmatov Maxmud Ismatovich² – texnika fanlari nomzodi, dotsent,

E-mail: rahmatov1959@mail.ru, ORCID: 0009-0008-0759-9841, Science ID: FQD-0426-0107

G‘ayimnazarov Israil Xoliqovich² – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: gayimnazarov@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0680-5174, Science ID: FQD-0226-0016

Abduahadov Sardorjon Axmadjon o‘g‘li² – magistrant, E-mail: sardorjonabduakhadov@gmail.com,
ORCID: 0009-0005-4638-6855

¹“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada Amu-Buxoro mashina kanalidagi o‘zan deformatsiyasi jarayonlari va uni keltirib chiqaruvchi asosiy omillar tabiiy-dala sharotidagi tadqiqotlar va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash usuli orqali aniqlandi. Tadqiqot natijalari bizga yanvar-iyun oylarida mazkur kanalga kirib kelayotgan muallaq oqiziqqlar konsentratsiyasi oqimning tashuvchanlik qobiliyatidan kichikligi sababli o‘zan yuvilishi jarayonlariga olib kelayotganini ko‘rsatdi. Iyul-dekabr oylarida esa o‘zanda bosqichma-bochqich loyqa to‘planishini kuzatishimiz mumkin. Tabiiy dala sharotidagi kuzatishlar kanalda loyqa bosishi asosan kanal bosh qismidan PK1520 pikegacha bo‘lgan qismida yuz berishini ko‘rsatdi. Bunda o‘lchangan muallaq oqiziq konsentratsiyasining kanal uzunligi bo‘yicha kamayib borishini, ya‘ni bosh inshootdan boshlab PK1520 gacha kanal uzunligi bo‘yicha bosgan loyqa hajmi kamayib borishini kuzatishimiz mumkin.

Kalit so‘zlar: o‘zan deformatsiyasi, muallaq oqiziqqlar, oqimning tashuvchanlik qobiliyati, oqiziq konsentratsiyasi, HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash.

УДК: 626.823:551.435.1

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РУСЛА В АМУ-БУХАРСКОМ МАШИННОМ КАНАЛЕ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ИХ

Хазратов Алишер Нормуродович¹ – доктор философии по техническим наукам (PhD)

Рахматов Махмуд Исмаатович² – кандидат технических наук, доцент;

Гаимназаров Исраил Холикович² – доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент

Абдуахадов Сардоржон Ахмаджон угли² – магистрант

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г.Ташкент, Узбекистан

²Каршинский государственный технический университет, г.Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье на основе натурных исследований и гидравлического моделирования с использованием программы HEC-RAS были определены процессы деформации русла в Аму-Бухарском машинном канале и основные факторы, вызывающие эти процессы. Результаты исследования показали, что в январе-июне концентрация взвешенных частиц, поступающих в русло, меньше пропускной способности потока, что приводит к размыванию русла. В июле-декабре наблюдается постепенное накопление седиментации в русле. Наблюдения в натурных условиях показали, что заиление в русле происходит главным образом на участке от устья до пикета PK1520. Здесь наблюдается уменьшение измеренной концентрации взвешенных частиц вдоль русла, то есть уменьшается объем седиментации, отложившейся вдоль русла от главного сооружения до пикета PK1520.

Ключевые слова: деформация русел, взвешенные частицы, транспортирующая способность потока, концентрация взвешенных частиц, гидравлическое моделирование с использованием программы HEC-RAS.

UDC: 626.823:551.435.1

CHANNEL DEFORMATION PROCESSES IN THE AMU-BUKHARA MACHINE CANAL AND THE MAIN FACTORS CAUSING THEM

Alisher Khazratov¹, doctor of philosophy in technical sciences

Makhmud Rakhmatov², candidate of technical sciences, associate professor

Israil Gayimnazarov², doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Sardorjon Abduahadov², master's student

¹National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", Tashkent, Uzbekistan

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. In this article, the channel deformation processes in the Amu-Bukhara Machine Canal and the main factors causing them were identified through field investigations and hydraulic modeling. The research results showed that during the period from January to June, the concentration of suspended sediments entering the canal is lower than the sediment transport capacity of the flow, which leads to channel erosion processes. From July to December, however, gradual sediment deposition can be observed within the channel. Field observations indicated that sediment accumulation in the canal mainly occurs in the section extending from the canal headworks to survey station PK1520. The measured suspended sediment concentration was found to decrease along the canal length, demonstrating that the volume of deposited sediment gradually decreases from the headworks toward PK1520.

Keywords: channel deformation, suspended sediments, flow transport capacity, sediment concentration, hydraulic modeling using the HEC-RAS software.

Kirish

"O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020-2030 yillarga mo'ljallangan konsepsiyasi" mamlakatimizda suv xo'jaligi sohasini rivojlantirish uchun o'n yillik reja sifatida qabul qilingan bo'lib, unga ko'ra 2030-yilgacha mamlakatimizdagi irrigatsiya tarmoqlarining foydali ish ko'effitsiyentini 0,63 dan 0,73 ga ko'tarish rejalashtirilgan [1]. Ushbu vazifalarni bajarishda mavjud irrigatsiya tarmoqlarida yuz berayotgan deformatsiya jarayonlari va ularni keltirib chiqaradigan asosiy omillarni aniqlash dolzarb masala hisoblanadi [2-3]. Shaharsozlik normalari va qoidalari bo'yicha irrigatsiya kanallari o'zani statik mustahkam bo'lishi zarur bo'lsa ham oqim va oqiziq parametrlari yil davomida o'zgaruvchan bo'lganligi uchun aksariyat irrigatsiya tarmoqlarida agar kanal maxsus qoplamaga ega bo'lmasa kanal o'zani ma'lum bir deformatsiyaga uchraydi [4]. Bunday jarayonlar esa o'zi shundoq ham o'tkir suv tanqisligini boshdan o'tkazayotgan respublikamizning janubiy viloyatlarida irrigatsiya kanallaridan suv isrofining oshishiga, kanallar texnik ishonchliligi darajasining kamayishiga, kanallarni ekspluatatsiya qilish xarajatlarining oshishiga olib keladi [5, 6].

Hozirgi paytda Amudaryodan suv oladigan yirik magistral kanallarida oqim tarkibida muallaq oqiziqqlar konsentratsiyasi yuqoriligi tufayli o'zan deformatsiyasi jarayonlari kuzatiladi. Amu-Buxoro mashina kanalining ba'zi uchastkalarida yuvilish jarayonlari kuzatilsa, ba'zi uchastkalarida loyqa bosishi jarayonlarini kuzatish mumkin [7]. Ushbu jarayonlarga ilmiy baho berish, o'zan deformatsiyasi jarayonlarini keltirib chiqaruvchi omillarni aniqlash uchun ushbu kanalda o'lchash-kuzatish ishlarini va kanal ba'zi uchastkalari holati uchun HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash ishlarini amalga oshirdik [8, 9].

Materiallar va uslublar

HEC-RAS dasturi yordamida ochiq oʻzanli kanallarda oqiziq transportini modellash orqali oʻzan deformatsiyasini prognozlash dunyo boʻyicha eng keng qoʻllanilib kelinayotgan usullardan biri boʻlib odatda modellash natijalari tabiiy dala sharoitida oʻlchangan maʼlumotlar bilan mosligi tekshirib koʻriladi [10].

Amudaryodan Amu-Buxoro mashina kanaliga 2023-yilda olingan umumiy oylik oʻrtacha suv sarfi oʻzgarishi boʻyicha maʼlumotlarni tahlil qiladigan boʻlsak eng koʻp suv sarflari iyun-avgust oylarida 330-360 m³/s atrofida, eng kam suv sarflari esa oktabr-noyabr oylarida 95-110 m³/s atrofida boʻlishini koʻrishimiz mumkin (1-rasm).

Tabiiy-dala sharoitida Amu-Buxoro mashina kanalining baʼzi uchastkalarida oʻzan deformatsiyasi yuz berayotganligini kuzatiladi (2-rasm).

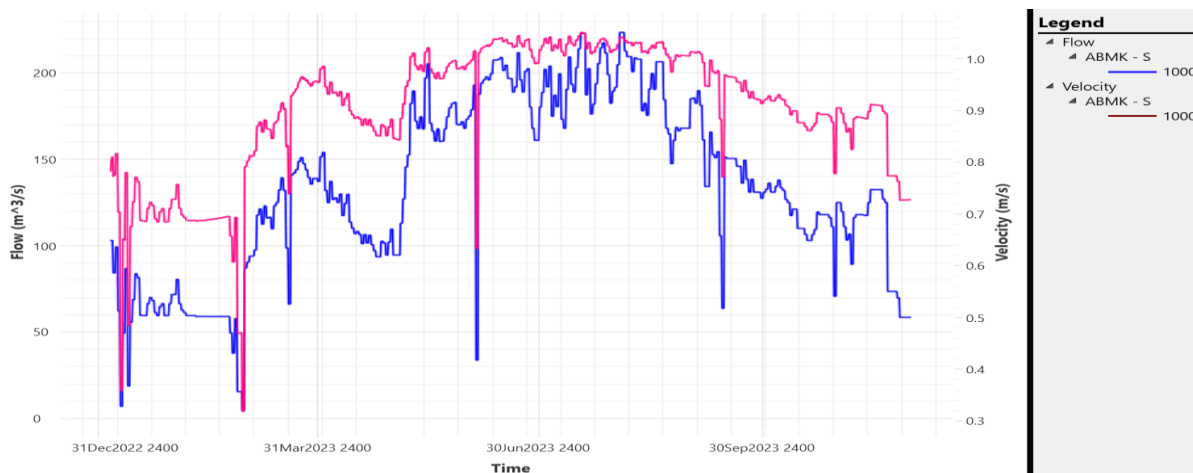


1-rasm. Amudaryodan 2023-yilda Amu-Buxoro mashina kanaliga olingan umumiy oylik oʻrtacha suv sarfi oʻzgarishi diagrammasi.



2-rasm. Amu-Buxoro mashina kanali PK1099 piketida yuvilish holati.

ABMK PK1170 piketida 2023-yil davomida suv sarfi va HEC-RAS dasturi yordamida mos hisoblangan oqim tezligi grafigidan ushbu parametrlarning mavsumiy ravishda sezilarli o'zgarib turganligini ko'rishimiz mumkin (3-rasm).

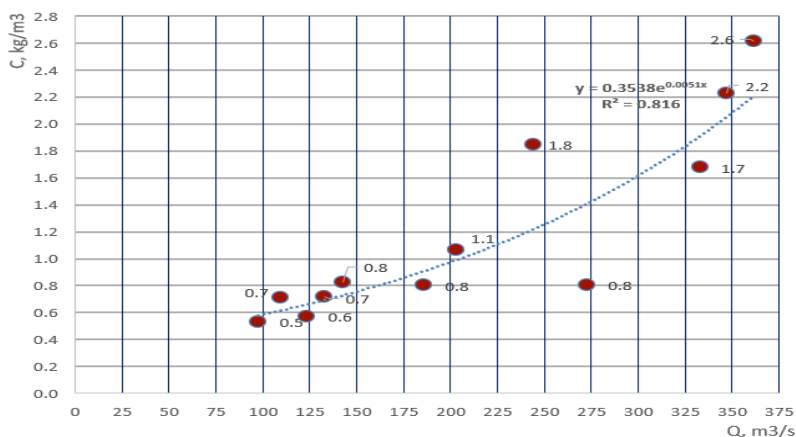


3-rasm. Amu-Buxoro mashina kanali PK1170 da kuzatilgan oqim sarfi va tezligining 2023-yil davomida o'zgarishi.

Qish oylarida suv sarfi asosan 50–120 m³/s, oqim tezligi esa 0,55–0,75 m/s atrofida kuzatilgan. Mart oyidan boshlab suv sarfi ortib borgan va aprel–avgust oylarida 200–220 m³/s gacha yetgan, oqim tezligi esa 0,95–1,05 m/s atrofida bo'lgan. Grafikda ayrim vaqtlarda suv sarfi va tezlikning keskin pasayishi ham kuzatiladi, sentabr oyidan keyin esa suv sarfi va tezlik bosqichma-bosqich kamaygan.

Natijalar va muhokama

Amu-Buxoro mashina kanaliga Amudaryodan 2023-yil davomida olingan turli suv sarflarida o'lchangan oqiziq konsentratsiyasi bo'yicha ma'lumotlar tahliliga qaraydigan suv sarflari oshishi bilan muallaq oqiziq konsentratsiyasi ham mos ravishda oshib borishini ko'rishimiz mumkin (4-rasm).



4-rasm. ABMKga 2023-yil davomida olingan turli suv sarflarida o'lchangan oqiziq konsentratsiyasi bo'yicha ma'lumotlar.

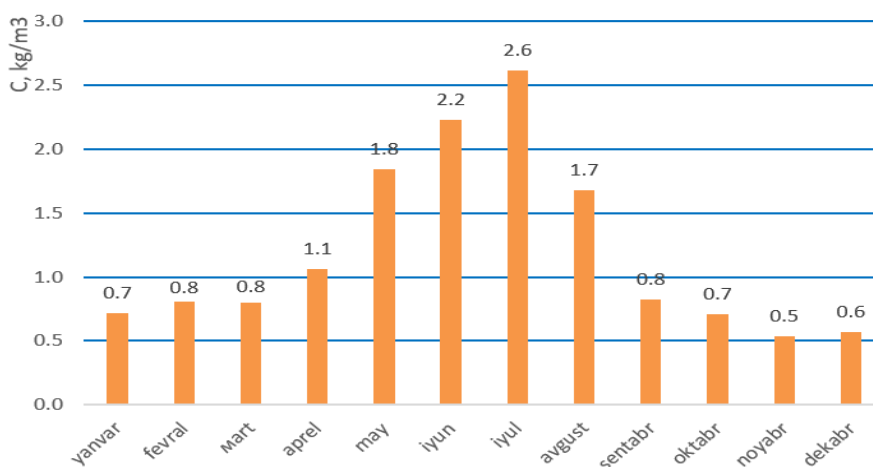
Amu-Buxoro mashina kanalidan foydalanish boshqarmasidan olingan ma'lumotlar ko'ra Amudaryodan Amy-Buxoro mashina kanaliga kirib kelgan va kanalning turli uchastkalarida cho'kkan oqiziq miqdori oylar kesimida 1-jadvalda keltirilgan. Ma'lumotlarga ko'ra, 2023-yil davomida kanal tizimida jami 11 799 712 m³ oqiziq cho'kkan. Eng katta loyqa cho'kish miqdori iyun va iyul oylarida kuzatilib, mos ravishda 2 467 284 m³ va 2 711 025 m³ ni tashkil etgan. Bu holat mazkur davrda suv sarfi va oqiziq konsentratsiyasining yuqori bo'lganini ko'rsatadi.

1-jadval. Amu-Buxoro mashina kanaliga Amudaryodan 2023-yil davomida umumiy oqiziqlarning uchastkalar bo'yicha cho'kkan miqdori to'g'risida ma'lumot, ABMK boshqarmasi ma'lumotlari (m^3)

T/r	Oylar	Amu-daryodan Bosh inshoot-gacha (PK28+00), (m^3)	Bosh inshoot PK28+00 dan PK137+00 gacha (Ikkilik STI)	PK137+70 dan PK492+00 gacha AB-1, (m^3)	PK00+00 dan PK311+00 gacha AB-2, (m^3)	AB1-AB2 dan PK1520+00 gacha Uchlik STI (m^3)	PK1520 dan Q.Mozor n/st.gacha, (m^3)	PK1520 dan Q.Tepa n/st.gacha, (m^3)	Jami (m^3)
1	Yanvar	164767	22343	23789	104638	11781	0	0	327318
2	Fevral	308326	41283	21575	20136	33181	4749	0	429250
3	Mart	336054	57479	24066	15310	51672	3384	0	487965
4	Aprel	506541	151849	64919	43066	74356	3023	0	843754
5	May	998456	230100	110765	83521	173244	9481	8189	1613756
6	Iyun	1594627	311639	175076	128510	217030	18665	21737	2467284
7	Iyul	1711130	346530	168913	94569	320979	27802	41102	2711025
8	Avgust	1254224	246113	96093	82223	144473	13841	21155	1858122
9	Sentabr	258208	46442	18958	18709	49510	4796	4646	401271
10	Oktabr	155941	21158	11318	15811	40225	3064	2064	249581
11	Noyabr	105783	17599	7609	10074	22946	1164	528	165703
12	Dekabr	159568	18909	44269	0	19865	2072	0	244683
Jami:		7553625	1511444	767350	616567	1159262	92041	99421	11799712

1-jadval ma'lumotlari tahlili shuni ko'rsatadiki, kanal bosh qismida loyqa bosishi miqdori juda yuqori bo'lib, kanal uzunligi bo'ylab pastga tomon kamayib borgan. Ayniqsa Amudaryodan bosh inshootgacha bo'lgan qismida va bosh inshootdan keyingi dastlabki uchastkalarda loyqa bosishi hajmi katta qiymatlarga ega.

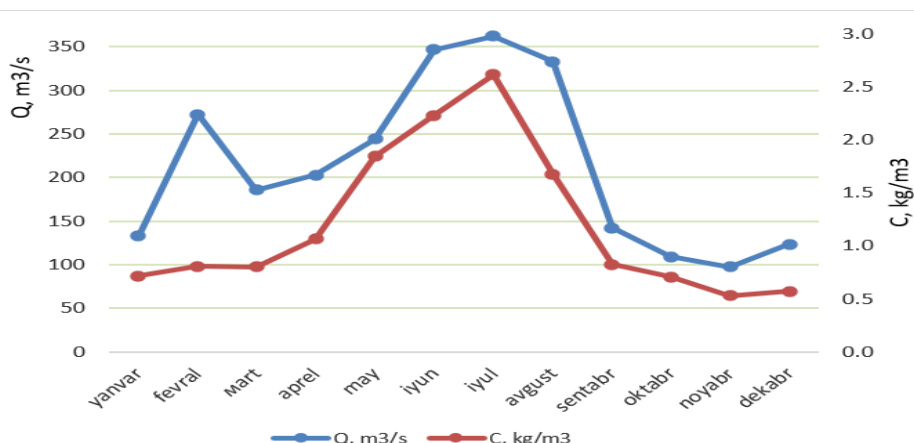
Keyingi uchastkalarga o'tgan sari oqim tarkibidagi yirik va nisbatan og'ir zarrachalar avvalgi qismlarda cho'kib qolishi hisobiga loyqa bosishi miqdori pasayib borgan. Kanalning oxirgi qismlarida esa asosan mayda dispers zarrachalar saqlanib qolganligi sababli cho'kish hajmi nisbatan kichik qiymatlarda kuzatilgan.



5-rasm. AB-1 PK492+00 dan PK1520+00 gacha bo'lgan qismga 2023-yilda kirib kelgan muallaq oqiziqlar konsentratsiyasi, kg/m^3 .

1-jadvaldan kanalning 1520-piketidan keyingi qismida loyqa bosishi kuzatilmayotganligini, kanal ushbu qismlarda allaqachon deyarli dinamik mustahkamlikka erishganligini, ammo may-

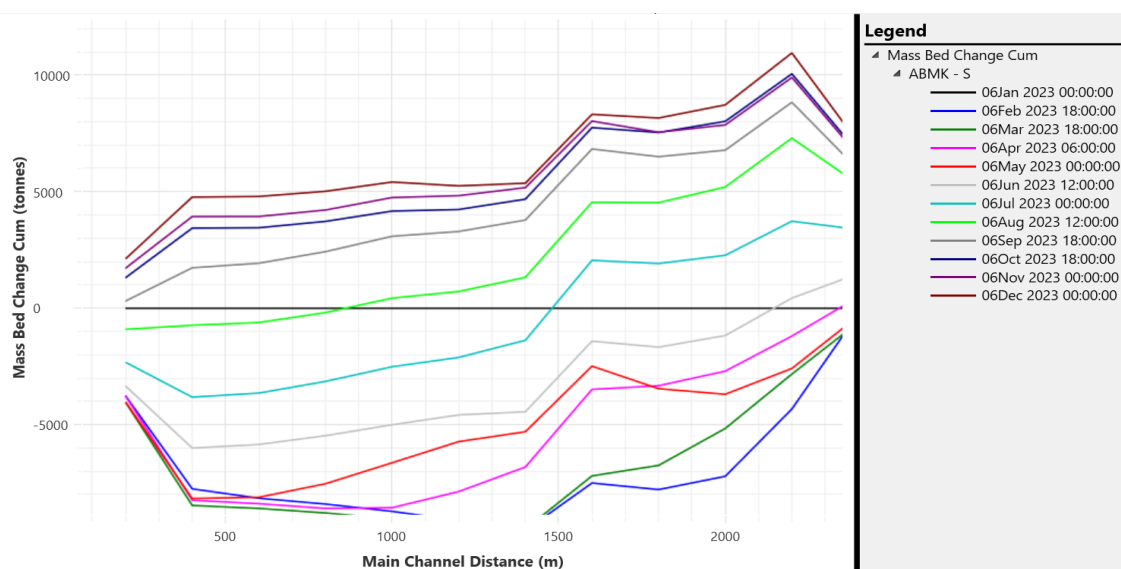
oktabrdagi oqim sarflaridagina ushbu qismlarga cho'kadigan darajadagi katta diametrli loyqa zarralari yetib kelayotganini va loyqa bosayotganini ko'rishimiz mumkin.



6-rasm. AB-1 PK492+00 dan PK1520+00 gacha bo'lgan qismga 2023-yilda kuzatilgan oqim sarfi va oqizqlar konsentratsiyasi qiymatlari.

5- va 6-rasmlar tahlili shuni ko'rsatadiki, yil boshida kanalda suv sarfi nisbatan yuqori bo'lgan bo'lsa-da, oqizqlar konsentratsiyasi past kuzatilgan. Xususan, fevral oyida suv sarfi 273 m³/s gacha yetgan holda, oqizqlar konsentratsiyasi atigi 0,8 kg/m³ ni tashkil etgan. Xuddi shunday holat mart oyida ham kuzatilib, suv sarfi 186 m³/s bo'lganida konsentratsiya 0,8 kg/m³ darajasida saqlangan.

Bu holat oqimning tashuvchanlik qobiliyati bilan kanalga kirib kelayotgan muallaq oqiziq miqdori o'rtasida nomuvofiqlikni yuzaga keltirgan. Ya'ni yuqori suv sarfi natijasida oqimning energiyasi va tashuvchanlik qobiliyati oshgan, ammo oqim tarkibidagi oqiziq miqdori bu qobiliyatni to'ldirish uchun yetarli bo'lmagan. Natijada oqim muvozanat holatini saqlash uchun kanal tubi va qirg'oqlaridan material yuvib ketishga harakat qilgan.



7-rasm. Laursen (Copeland) usuli bo'yicha Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi uzunligi bo'ylab 2023-yil davomida umumiy massa o'zgarishi.

HEC-RAS dasturi yordamida oqiziq transportini modellash natijalari ham bizning ushbu tabiiy-dala sharoitidagi kuzatishlarimizni tasdiqlagan. Oqimning tashuvchanlik qobiliyatini Laursen (Copeland) usuli bilan hisoblab modellash ishlarini bajarganimizda Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi uzunligi bo'ylab 2023-yil ning yanvar-may oylarida yuvilishni avgust-dekabr oylarida esa bosqichma – bosqich loyqa bosishi jarayonini kuzatishimiz mumkin (7-rasm).

Xulosa

1. Tabiiy-dala sharoitidagi tadqiqotlar va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash natijalari bizga Amu-Buxoro mashina kanalidagi o‘zan deformatsiyasi jarayonlarini keltirib chiqaruvchi asosiy omillar ya’ni oqim va oqiziq sarfining o‘zgaruvchanligi, kanalga kirib kelayotgan oqiziq konsentratsiyasi va oqimning tashuvchanlik qobiliyati o‘rtasidagi mavsumiy nomuvofiqlik ekanligini ko‘rsatdi.

2. Yil boshida kuzatilgan yuqori suv sarfi va nisbatan past konsentratsiya sharoiti kanalda mahalliy yuvilish jarayonlarini kuchaytirgan. Yoz oylarida esa aksincha, suv sarfi bilan birga oqiziq konsentratsiyasi ham keskin oshgan bo‘lib, bu holat kanalda cho‘kish jarayonlarining faollashishiga olib kelgan. Shu sababli Amu-Buxoro mashina kanalida yil davomida yuvilish va cho‘kish jarayonlari mavsumiy ravishda almashinib turgani kuzatilgan, ya’ni 2023-yil ning yanvar-may oylarida o‘zanda yuvilish, avgust-dekabr oylarida esa bosqichma-bosqich loyqa bosishi jarayonlari yuz bergan.

3. Tadqiqot natijalari mazkur irrigatsiya kanalidagi o‘zan deformatsiyasiga sabab bo‘layotgan omillar to‘g‘risida aniq ma’lumotlar olish, bu bilan kanalni maqbul ekspluatatsiya qilish uchun to‘g‘ri qarorlar qabul qilish imkonini beradi. Bunda mavsumiy o‘zgarishlarni inobatga olib oqimdagi oqiziqni boshqarish ko‘zda tutiladi, ya’ni loyqa bosishi kuzatilayotgan avgust-dekabr oylarida tindirgichlarda muallaq oqiziqni faol cho‘ktirish, yuvilish kuzatilayotgan yanvar-may oylarida yuvilish mavjud uchastkalarda kanal yon devorlarini mustahkamlash, zarur bo‘lsa qoplamalar yotqizish chora-tadbirlarini amalga oshirish zarur bo‘ladi. Bu orqali kam xarajat orqali kanalning suv o‘tkazish qobiliyatini saqlab qolish, texnik ishonchliligini hamda foydali ish koeffitsiyentini oshirish imkoniyati yaratiladi.

Adabiyotlar

- [1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 10.07.2020-yildagi PF-6024-son “O‘zbekiston Respublikasi suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020–2030-yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Farmoni, <https://lex.uz/docs/-4892953>.
- [2] Sobirov, F. C., & Xazratov, A. N. (2024). IRRIGATSIYA KANALLARIDAGI QIRG‘OQ DEFORMATSIYASINI TADQIQ QILISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 4(10), 349-359.
- [3] Xazratov Alisher Normurodovich, Sobirov Feruz Choriyevich. Ochiq o‘zanli kanallarda yuvilish jarayonini baholash. “Development of Specialized Higher Education and Science in the Conditions of Globalization: Problems and Opportunities”, International Scientific Conference, April 9–10, 2025, Tashkent, Uzbekistan
- [4] Shaharsozlik normalari va qoidalari. Sug‘orish tizimlari loyihalash normalari. Toshkent-2012. Sh.N.Q 2.06.03-12
- [5] Eshev, S. S., Xazratov, A. N., G‘ayimnazarov, I. X., & Jumayev, A. R. O. G. L. (2023). QASHQADARYO VILOYATIDA SUV RESURSLARIDAN SAMARALI FOYDALANISH MASALALARI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(12), 406-414.
- [6] Xujakulov, R., Glovatskii, O., Kurbanov, A., Samandarova, G., & Islomov, I. (2025, June). Reliability and safety of cascades of irrigation pumping stations. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3286, No. 1, p. 040033). AIP Publishing LLC.
- [7] Khazratov A.N., Sobirov F.Ch; Study of Side Wall Deformation in Irrigation Channels; Miasto Przyszlosci Kielce 2024; Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X; 715-722-betlar
- [8] Brunner, G. W. (2001). HEC-RAS hydraulic reference manual. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- [9] Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS hydraulic reference manual, version 5.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- [10] Brunner, G. W., & Gibson, S. (2005). Sediment transport modeling in HEC RAS. In *Impacts of global climate change* (pp. 1-12).

UO‘K: 532.595.2

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.08>

HAJMIY KAVITATSIYANI INOBATGA OLIB QUVURLARNI GIDRAVLIK ZARBAGA HISOBLASH

Jonqobilov Ulugmurad Umbarovich¹ - texnika fanlari doktori, professor,
E-mail: ulugmurad@inbox.ru, ORCID: 0000-0003-0871-0317, Science ID: DQD-0626-0015

Jonqobilov Sobir Ulug‘murodovich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: jonkobilovsobir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0619-936X,
Science ID: FQD-0626-0092

Rajabov Ulug‘bek Mamashoyevich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: 020267@mail.ru, ORCID: 0009-0007-6110-1111, Science ID: FQD-0626-0094

Jonqobilov Bektemir Ulug‘muradovich¹ - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),
E-mail: bektemirzonkobilov@gmail.com, ORCID: 0009-0003-7523897X,
Science ID: FQD-0626-0093

Ruzimurodov Zoir Husniddinovich¹ - assistent, E-mail: ruzimurodovzoir1@gmail.com,
ORCID: 0009-0008-6317-5760, Science ID: MQD-0626-0133

Bahodirov Shohruh Baxodir o‘g‘li¹ - doktorant (PhD),
E-mail: bahodirovshohruh2613@gmail.com, ORCID: 0009-0000-6269-1220,
Science ID: MQD-0626-0131

Mamashoyev Umid Ulug‘bek o‘g‘li² - assistent, E-mail: umidmamashoyev@gmail.com,
ORCID: 0009-0005-9904-4728, Science ID: MQD-0626-0134

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

²Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada oqim uzluksizligining buzilishi va hajmiy kavitatsiya yuzaga keladigan sharoitlarda bosimli quvurlarda sodir bo‘ladigan gidravlik zarba jarayonini hisoblashning takomillashtirilgan sonli usuli ishlab chiqilgan. Gidravlik zarba jarayonining fizik mohiyati tahlil qilinib, hajmiy kavitatsiya zonasining hosil bo‘lishi va rivojlanishiga ta‘sir etuvchi asosiy omillar o‘rganilgan. Jarayonni tavsiflash uchun uzluksizlik va harakat tenglamalari asosida matematik model tuzilgan hamda uni yechish chekli ayirmalar usuli yordamida amalga oshirilgan. Oddiy bosimli quvur uchun hisoblash algoritmi ishlab chiqilib, elektron hisoblash mashinasi (EHM)da foydalanishga mo‘ljallangan dastur yaratilgan. Taklif etilgan metodika yordamida kavitatsiya zonasining hosil bo‘lish joyi, uning vaqt davomida siljishi, shuningdek, gidravlik zarba bosimining vaqt bo‘yicha o‘zgarish qonuniyatlari aniqlangan. Hisoblash natijalari mavjud eksperimental ma‘lumotlar bilan taqqoslanib, ularning o‘zaro yaxshi mos kelishi aniqlangan, bu esa ishlab chiqilgan metodikaning ishonchliligi va amaliy qo‘llash imkoniyatlarini tasdiqlaydi. Taklif etilgan hisoblash usuli nasos stansiyalari, magistral suv uzatish tizimlari hamda boshqa bosimli quvur tarmoqlarida gidravlik zarba va kavitatsiya hodisalarini oldindan baholash, quvurlarni mustahkamlikka tekshirish hamda gidravlik zarbadan himoya qilish qurilmalarini loyihalashda samarali qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: gidravlik zarba, quvur, kavitatsiya, chekli farq usuli, gidravlik zarbani hisoblashning sonli usuli.

УДК: 532.595.2

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР С УЧЕТОМ ОБЪЕМНОЙ КАВИТАЦИИ

Жонкобилов Улугмурад Умбарович¹ - доктор технических наук, профессор
Жонкобилов Собир Улугмуродович¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент

Ражабов Улугбек Мамашоевич¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент
Жонкобилов Бектемир Улугмуродович¹ - доктор философии по техническим наукам (PhD)

Рузимуродов Зоир Хусниддинович¹ - ассистент
Баходиров Шохрух Баходир угли¹ - докторант (PhD)
Мамашоев Умид Улугбек угли² – ассистент

¹Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

²Университет экономики и педагогики, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье разработан усовершенствованный численный метод расчета гидравлического удара, возникающего в напорных трубопроводах при нарушении сплошности потока и возникновении объемной кавитации. Проведен анализ физической сущности процесса гидравлического удара, а также исследованы основные факторы, влияющие на образование и развитие зоны объемной кавитации. Для описания рассматриваемого процесса построена математическая модель на основе уравнений неразрывности и движения, численная реализация которой выполнена методом конечных разностей. Для простого напорного трубопровода разработаны алгоритм расчета и программное обеспечение, предназначенное для использования на электронно-вычислительной машине (ЭВМ). С использованием предложенной методики определены место возникновения зоны кавитации, ее перемещение во времени, а также закономерности изменения ударного давления во времени. Результаты численных расчетов сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными, что подтвердило их хорошее соответствие и свидетельствует о достоверности разработанной методики, а также о возможности ее практического применения. Предлагаемый метод расчета может быть эффективно использован при анализе гидравлического удара и кавитационных явлений в насосных станциях, магистральных водоводах и других напорных трубопроводных системах, а также при проверке трубопроводов на прочность и проектировании устройств защиты от гидравлического удара.

Ключевые слова: гидравлический удар, трубопровод, кавитация, конечно-разностный метод, численный способ расчета гидравлического удара.

UDC: 532.595.2

CALCULATION OF WATER HAMMER IN PIPELINES CONSIDERING VOLUMETRIC CAVITATION

Ulugmurad Jonkobilov¹, doctor of technical sciences, professor
Sobir Jonkobilov¹, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor
Ulugbek Rajabov¹, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor
Bektemir Jonkobilov¹, doctor of philosophy in technical sciences
Zoir Ruzimurodov¹, assistant
Shohruh Bahodirov¹, doctoral student
Umид Mamashoyev², assistant

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²University of Economics and Pedagogy, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This paper presents an improved numerical method for calculating water hammer in pressurized pipelines under conditions of flow discontinuity and volumetric cavitation. The physical nature of the water hammer phenomenon is analyzed, and the main factors affecting the formation and development of the volumetric cavitation zone are investigated. A mathematical model describing the transient process is developed based on the continuity and momentum equations, and its numerical solution is obtained using the finite difference method. A computational algorithm and a computer program for a simple pressurized pipeline have been developed for implementation on a digital computer. The proposed methodology makes it possible to determine the location of the cavitation zone, its temporal evolution, and the variation of surge pressure with time. The numerical results are compared with available experimental data, demonstrating good agreement and

confirming the reliability and practical applicability of the proposed calculation method. The developed approach can be effectively applied to the analysis of water hammer and cavitation phenomena in pumping stations, main water transmission pipelines, and other pressurized pipeline systems. Furthermore, it can be used for evaluating the structural strength of pipelines and for designing protective devices against water hammer.

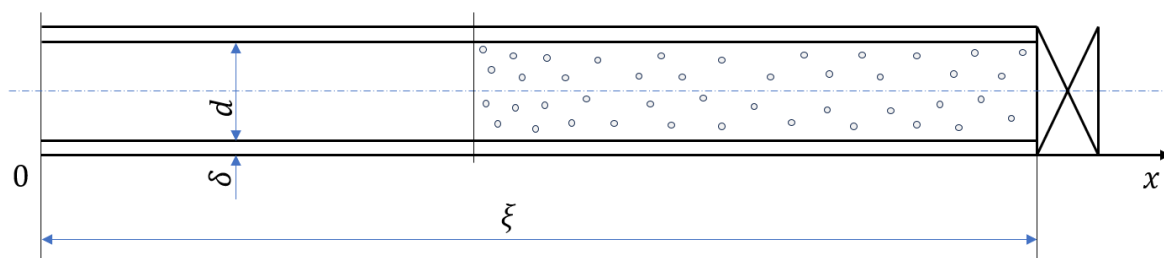
Key words: water hammer, pipeline, cavitation, finite difference method, numerical method for calculating water hammer.

Kirish

Bosimli quvur tizimlarida gidravlik zarba eng murakkab beqaror jarayonlardan biri hisoblanadi. U oqim tezligining keskin o'zgarishi natijasida yuzaga kelib, quvurlarda yuqori bosimlarning hosil bo'lishiga, armaturalar va boshqa gidrotexnik qurilmalarning shikastlanishiga sabab bo'lishi mumkin [1]. Ayniqsa, bosimning kritik qiymatgacha pasayishi natijasida oqim uzluksizligining buzilishi va hajmiy kavitatsiya hodisasi yuzaga kelganda gidravlik zarba jarayonining xarakteri sezilarli darajada murakkablashadi. Shu sababli hajmiy kavitatsiyani hisobga olgan holda gidravlik zarbani hisoblash usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega [3, 4, 5].

Keyingi yillarda oqim uzluksizligining buzilishi, kavitatsiya jarayonlari va gidravlik zarbani hisoblash bo'yicha bir qator ilmiy tadqiqotlar olib borilgan [2, 6, 8]. Biroq hajmiy kavitatsiyani hisobga olgan holda gidravlik zarba parametrlarini sonli usullar yordamida aniqlash va hisoblash algoritmlarini takomillashtirish masalalari hali ham dolzarb bo'lib qolmoqda [10].

Uzunligi l , diametri d va devor qalinligi δ bo'lgan, μ_t tezlik bilan bo'ylama tebranishlarga uchrayotgan quvurning ma'lum bir ξ kesimida oqim uzilishi holatini ko'rib chiqamiz (1-rasm) [1, 2, 3]. Frontning o'ng tomonida bosim suvning mazkur haroratdagi bug' bosimi P_k ga teng, bug' miqdori esa $\varphi = \varphi_s$ bo'ladi. Frontning chap tomonida bosim P ga teng, bug' miqdori esa $\varphi = 0$ bo'ladi.



1-rasm. Naporli quvurning hisobiy sxemasi.

Boshqa mualliflar [4, 5] singari, biz ham bosim kritik qiymat - P_k gacha pasayganda suyuqlik ichida bug' pufakchalarining deyarli bir zumdada hosil bo'lishi yoki yopilib qolishi, shuningdek, oqim uzluksizligining buzilishi natijasida zatvor oldida hamda suv o'tkazgich profili sinadigan joylarda kavitatsion bo'shliqlar (kavernalar) hosil bo'lishini qabul qilamiz [6, 7]. Bunda ko'rib chiqilayotgan suyuqlik bo'laklarining kritik bosimdagi hajmiy deformatsiyalari bosim P_k ning o'zgarishi hisobiga emas, balki bug' miqdori yoki kavernalar hajmining o'zgarishi hisobiga sodir bo'ladi.

Materiallar va uslublar

Frontning chap tomonida joylashgan quvur qismida suyuqlikning harakati gidravlik zarba tenglamalari bilan tavsiflanadi [1, 8, 9]

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + g(i_f - i_0) - \frac{\partial u_T}{\partial t} \right], \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\rho c^2 \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (2)$$

(1) va (2) tenglamalarga mos keluvchi xarakteristik tenglamalar chekli ayirmali shaklda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\Omega(x, t) = \Omega(x - \Delta x, t - \tau) - R'_{x, x - \Delta x} \tau, \quad (3)$$

$$\Pi(x, t) = \Pi(x + \Delta x, t - \tau) + R'_{x, x - \Delta x} \tau, \quad (4)$$

bu yerda x - koordinata o'qi (chapdan o'ngga yo'nalgan), t - vaqt, ρ - suyuqlik zichligi, $u = \frac{Q}{\omega}$ - oqimning nisbiy tezligi, Q - suv sarfi, ω - ko'ndalang kesim yuzasi, g - erkin tushish tezlanishi, $i_f = \frac{u^2}{c^2 R}$ - gidravlik qarshilik nishabligi (bunda C - Shezi koeffitsienti, R - gidravlik radius), i_0 - quvur nishabligi, c - quyidagi ma'lum bog'lanishlar asosida aniqlanadigan gidravlik zarba to'liqining tarqalish tezligidir [1, 8, 9]:

$$\Omega = \frac{p}{\gamma} + \frac{cu}{g}; \quad (5)$$

$$\Pi = \frac{p}{\gamma} - \frac{cu}{g}, \quad (6)$$

bu yerda Ω va Π - mos ravishda x o'qi yo'nalishi bo'ylab hamda unga qarama-qarshi yo'nalishda c tezlik bilan tarqaluvchi teskari va to'g'ri to'liqlar, γ - suyuqlikning solishtirma og'irligini ifodalaydi.

$$R' = \left[(i_f - i_0)c + \frac{c}{g} \frac{\partial u_T}{\partial t} \right] \tau. \quad (7)$$

x , $x - \Delta x$ indeksi R' ning x va $x - \Delta x$ kesimlari hamda t va $t - \tau$ vaqt momentlari bo'yicha o'rtachalashtirilgan qiymatini, x , $x + \Delta x$ indeksi esa R' ning x va $x + \Delta x$ kesimlari orasida shu vaqt oralig'idagi o'rtachalashtirilgan qiymatini ko'rsatadi.

Frontning o'ng tomonidagi, bosim o'zgarish bo'lib, p_K ga teng bo'lgan quvur uchastkasida harakat quyidagi tenglamalar bilan tavsiflanadi [1, 2, 10]:

$$\frac{\partial u_S}{\partial t} + (u_S + u_T) \frac{\partial u_S}{\partial x} = g(i_0 - i_f) - \frac{\partial u_T}{\partial t}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varphi_S}{\partial t} + u_S \frac{\partial \varphi_S}{\partial x} = (1 - \varphi_S) \frac{\partial u_S}{\partial x}, \quad (9)$$

bu yerda $u_S = \frac{Q_S}{\omega}$ - bug'-suv aralashmasi oqimining o'rtacha tezligi; Q_S - bug'-suv aralashmasining sarfi.

Uzilish frontida quyidagi shartlar bajariladi [2, 3, 4]:

$$u - c_S = (1 - \varphi_S)(u_S - c_S); \quad (10)$$

$$(u - c_S)^2 + \frac{p}{\rho} = (1 - \varphi_S)(u - c_S)^2 + \frac{p_K}{\rho}, \quad (11)$$

bu yerda c_S - oqim uzilishi frontining tarqalish tezligi. (10) va (11) tenglamalardan c_S ni aniqlash uchun quyidagi munosabatni osonlik bilan olish mumkin, ya'ni:

$$c_S = u_S - \frac{c}{2(1-\varphi_S)} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4A(1-\varphi_S)}{c^2 \cdot \varphi_S}} \right], \quad (12)$$

bu yerda

$$A = cu_S - g\left(\Omega_\xi - \frac{p_K}{\gamma}\right), \quad (13)$$

bu yerda Ω_ξ - uzilish frontidagi Ω ning qiymati bo'lib, u (3) munosabatdan aniqlanadigan vaqt momentiga tegishlidir.

Natijalar va muhokama

Uzunligi l bo'lgan quvur uchastkasi uchun chegaraviy shartlar ma'lum bo'lganda, (3)-(13) tenglamalar hajmiy kavitatsiyani hisobga olgan holda quvurdagi gidravlik zarbani sonli hisoblash algoritmini ishlab chiqish uchun yetarli bo'ladi. Shu bilan birga, (8) va (9) tenglamalar ham chekli ayirmali ko'rinishda yozilishi kerak [2, 3, 4]. Bunda quvur n ta hisobiy uchastkaga bo'linadi, har bir uchastkaning uzunligi $\Delta x = \frac{l}{n} \geq \tau$ bo'lib, bu yerda τ - vaqt bo'yicha qadam, Δx esa fazoviy (uzunlik bo'yicha) qadam hisoblanadi. Bundan tashqari, har bir vaqt momentida uzilish fronti mavjud bo'lmagan Δx uchastkasida Q va $\frac{p}{\gamma}$ kattaliklarining quvur uzunligi bo'ylab chiziqli qonun bo'yicha o'zgarishi faraz qilinadi. Demak, $\Delta x > c\tau$ bo'lganda, (3) va (4) tenglamalar bo'yicha j kesimdagi Ω va Π qiymatlarini aniqlash uchun avval j kesimidan $\delta x = \pm c\tau$ masofada joylashgan kesimlardagi uva $\frac{p}{\gamma}$ qiymatlari interpolatsiya yordamida topiladi. Keyinchalik (5) va (6) munosabatlar asosida

$\Omega(j - \delta x, t - \tau)$ va $\Pi(j + \delta x, t - \tau)$ aniqlanib, ularning yordamida $\Omega(j, t)$ hamda $\Pi(j, t)$ qiymatlari hisoblab chiqiladi.

j kesimda Ω va Π qiymatlari ma'lum bo'lganda, quyidagilarni aniqlaymiz:

$$H = \frac{\Omega + \Pi}{2}, \quad (14)$$

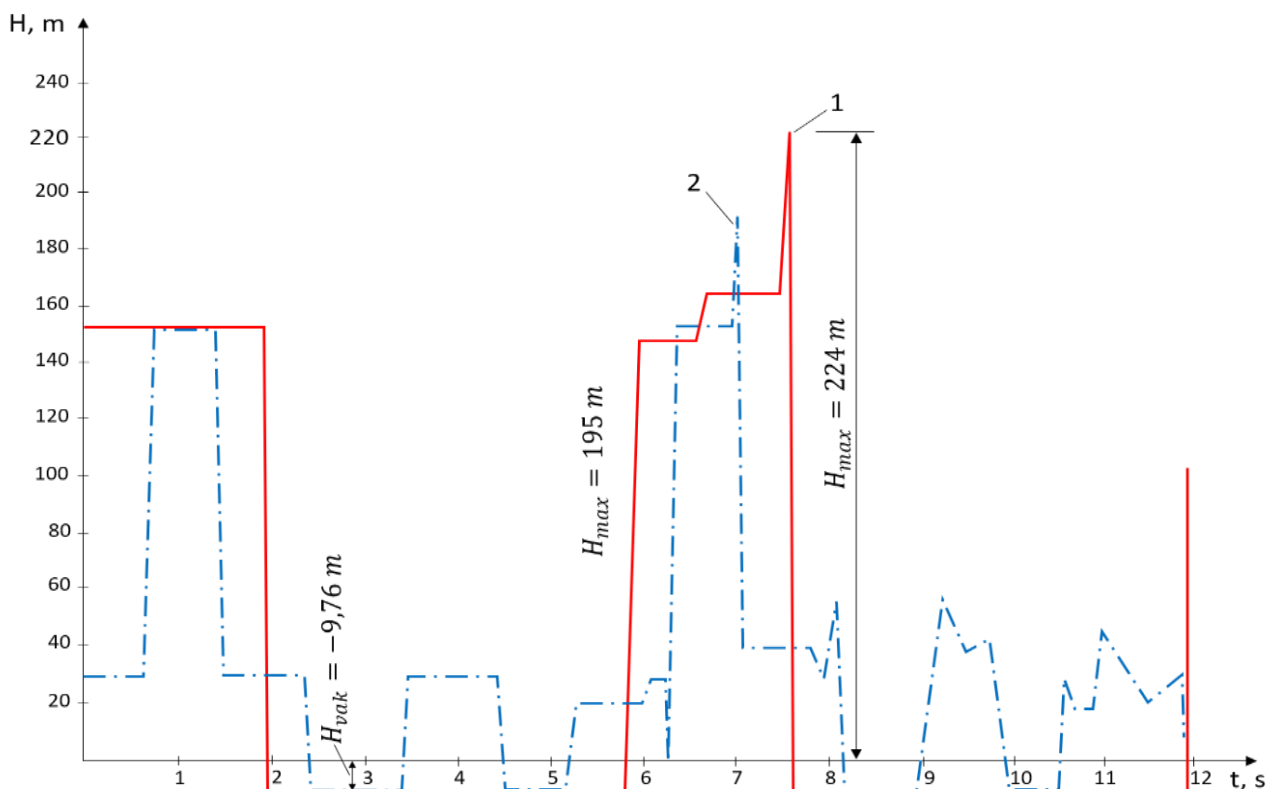
$$u = \frac{c}{g}(\Omega + \Pi). \quad (15)$$

Frontning o'ng tomonidagi $\frac{p_K}{Y} = \text{const}$ bo'lgan uchastkada hisoblashlar chekli ayirmali shaklda yozilgan (8) va (9) tenglamalar asosida amalga oshiriladi [2, 3, 4].

Uzilish frontining joylashuvi (12) munosabat asosida osongina aniqlanadi. Agar to'liq fronti j va $j + 1$ kesimlar orasida joylashgan bo'lsa, $\Omega(\xi - \delta x, t - \tau)$ qiymati $t - \tau$ vaqt momentida $j - 1$ va j kesimlaridagi u hamda $\frac{p}{Y}$ kattaliklarini interpolyatsiya qilish orqali aniqlanadi. Frontning bevosita o'ng tomonida, ya'ni $t - \tau$ vaqt momentiga mos keluvchi ξ kesimida φ_s va u_s qiymatlari front bilan undan keyin joylashgan $j + 1$ tugun orasidagi uchastkada interpolyatsiya usuli yordamida aniqlanadi.

Ta'kidlash joizki, u_T tezlik va $\omega_T = \frac{\partial u_T}{\partial t}$ tezlanish faqat vaqtning emas, balki x absissaning ham funksiyasi bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, taklif etilgan metodikada bosim kamayganda suvda erigan havoning ajralib chiqishi hamda bosim ortganda uning qayta erishi jarayonlari hisobga olinmagan bo'lib, bu amaliy nuqtai nazardan to'liq asosli hisoblanadi [2, 3, 4, 8, 9].

Oddiy quvur uchun EHMda hisoblash algoritmi va dasturi tuzildi. Misol tariqasida bosh qismida rezervuar, oxirida esa qulfak (zadvijka) joylashgan oddiy quvur ko'rib chiqildi. Quvur uzunligi 150 m ni, kirish kesimidagi napor 30 m ni tashkil etadi. Gidravlik zarba to'liqining tarqalish tezligi 1240 m/s deb, quvur diametri esa $d = 50\text{mm}$ deb qabul qilingan [8, 9, 10]. 2-rasmda qulfakning to'satdan yopilishi natijasida qulfak oldida hamda quvurning o'rta qismida hosil bo'ladigan zarb bosimining vaqt bo'yicha o'zgarish diagrammasi tasvirlangan. Olingan natijalarni [10] da keltirilgan eksperimental ma'lumotlar bilan taqqoslash ularning sifat jihatidan yaxshi mos kelishini ko'rsatadi.



1 - zadvijka oldida, 2 - quvurning o'rta qismida
2-rasm. Zarb bosimining vaqt bo'yicha o'zgarish diagrammasi.

Xulosa

Kavitatsiya zonasini hisobga olgan holda bosimli quvurlarda musbat gidravlik zarbani hisoblashning sonli metodikasi taklif etildi.

Bosimli quvurda kavitatsiya zonasining joylashuvini aniqlovchi bog‘lanish olindi. Bunda bosim pasayganda suvda erigan havoning ajralib chiqishi va bosim oshganda uning qayta erishi hisobga olinmagan bo‘lib, bu amaliy nuqtai nazardan to‘liq maqbul hisoblanadi.

Kavitatsiya zonasini hisobga olgan holda bosimli quvurlarda gidravlik zarbani EHM yordamida hisoblash algoritmi va dasturi ishlab chiqildi.

Taklif etilgan metodika bo‘yicha bajarilgan hisoblash natijalarini eksperimental ma’lumotlar bilan taqqoslash ularning yaxshi va qoniqarli mos kelishini ko‘rsatadi.

Adabiyotlar

- [1] Н.А.Картвелишвили. Динамика напорных трубопроводов. М., 1979, 224.
- [2] A.M.Arifjanov, A.M.Fatkhulloev, B.U.Jonkobilov, U.M.Rajabov, S.U.Jonkobilov. Calculation of a positive water hammer absorber // (2025) American Academic publishers, volume 05. Pages 618-623. <https://www.academicpublishers.org/journals/index.php/ijai>. (Impact Factor:12,23).
- [3] Jonkobilov U.U. Methodology of calculation and exploration of rupture at hydraulic impact. //European Science review Scientific journal Austria, Vienna. № 7-8. 2018-P.215-217.
- [4] J. Kalkwijk, Th. Kranenburg. J. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 97, № 10, 1971, 1585-1605.
- [5] Д.Н.Смирнов, Л.Б.Зубов. Труды Лаборатории инженерной гидравлики ВОДГЕО, 13, 1972, 138-158.
- [6] Jonkobilov, S. U., & Jonkobilov, U. U. (2022). Calculation of vacuum during hydraulic shock taking into account dissolved gas. Middle European Scientific Bulletin, 29, 14–17. <https://cejssr.academicjournal.io>.
- [7] Jonkobilov U., Dusmatov X., Jonkobilov S., Ruzikulov J., Jonkobilov B. Otritsatelnyy gidroudarnyy razryv nerazryvnosti potoka. O‘zbekiston Respublikasi Oliy harbiy aviatsiya bilim yurti, Samo qalqonlari ilmiy-axborot jurnali, 3(7) 2023 y. s.31-38. (OAK rayosatining 30.04.2022 yildagi qarori 315/1).
- [8] Jonkobilov U.U., Xushiyev Sh.P., Jonkobilov B.U., Ruzimuradov Z.H., Baxodirov Sh.B. Nasos stansiyasi naporli quvurlarida va tizimlarda suv zarbi va uning so‘ndirgichi hisoblari (Monografiya). Kar IEL., Intellect nashriyot. – K., 2024, 130 s.
- [9] Jonkobilov U.U., Jonkobilov S.U., Norinov F.K., Egamnazarov T.R., Jonkobilov K.U. Metodika i pribory dlya izmereniya naporных nestatsionarnых protsessov v laboratorных ustanovkax. “Neft va gaz sanoatida zamonaviy texnologiyalar va innovatsiyalar” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallar to‘plami, 22-23 aprel 2021 yil, -104-107 b.
- [10] Arifjanov A.M., Jonqobilov U.U., Jonqobilov S.U. Bir jinsli va gazli suyuqlik naporli oqimlarining gidravlik zarbaga hisobi. Monografiya, T.: Voris nashriyot. 2019, -155 b.

UO‘K: 626.82:532.543

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.09>

TRAPETSIYASIMON KANALDA TUB OSTI VA MUALLAQ OQIZIQ SARFINI HISOBLASHNING ZAMONAVIY USULLARI

Latipov Shahboz Alisher o‘g‘li - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: shakhboz2016@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4237-9034, Science ID: FQD-1125-0066

G‘ayimnazarov Israil Xoliqovich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: igayimnazarov@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0680-5174, Science ID: FQD-0226-0016

Jo‘rayeva Shahnoza Halim qizi – doktorant (PhD), ORCID: 0009-0009-6987-6717,

Science ID: MQD-0626-0175

Otakulov Uktam Xotamovich – dotsent, E-mail: otakulov61@mail.ru,

ORCID: 0009-0002-9358-3446, Science ID: FQD-0526-015

Egamov Mirshohid Xolmurodovich – pedagogika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,

E-mail: mirshohidegamov0116@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6192-5387,

Science ID: FQD-0625-0025

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada trapetsiyasimon ko‘ndalang kesimga ega bo‘lgan ochiq kanalda tub osti va muallaq oqiziq sarflarini hisoblashning zamonaviy nazariy asoslari va amaliy usullari bayon etilgan. Har xil qiyalikka ($m_1 \neq m_2$) ega bo‘lgan donador grunt asosidagi kanallar uchun Meyer-Peter va Müller (1948), Bagnold (1966), Engelund-Hansen (1967) hamda Rouse-Einstein va Van Rijn (1984) usullari qiyosiy tahlil qilingan. Manning tenglamasi asosida gidravlik hisob-kitoblar amalga oshirilgan, Shields parametri va Rouse sonining oqiziq harakatiga ta‘siri o‘rganilgan. Hisoblash algoritmi dasturiy vosita yordamida sinab ko‘rilgan va $b=15$ m, $h=5$ m, $m_1=m_2=3$, $i=0,0003$, $d=0,5$ mm bo‘lgan misolda jami oqiziq sarfi $6,81 \times 10^{-3}$ m³/s ekanligi aniqlangan.

Kalit so‘zlar: trapetsiyasimon kanal, oqiziq sarfi, Shields parametri, Meyer-Peter-Müller, Bagnold, Rouse parametri, gidravlik radius, Manning tenglamasi, muallaq oqiziq, tub osti oqizig‘i.

УДК: 626.82:532.543

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА РАСХОДА ДОННЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ В ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОМ КАНАЛЕ

Латипов Шахбоз Алишер угли - доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Гайимназаров Исраил Холикович – доктор философии (PhD) по техническим наукам,
доцент

Жураева Шахноза Халим кизи - докторант (PhD)

Отакулов Уктам Хотамович – доцент

Эгамов Миршохид Холмurodovich - доктор философии (PhD) по педагогическим наукам,
доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и практические методы расчёта расхода донных и взвешенных наносов в трапецеидальном канале с разнобокими откосами ($m_1 \neq m_2$) на несвязных грунтах. Проведён сравнительный анализ методов Мейера-Петера и Мюллера (1948), Багнольда (1966), Энгелунда-Хансена (1967) и Роуза-Эйнштейна—ван Рейна (1984). Выполнены гидравлические расчеты на основе уравнения Маннинга, исследовано влияние параметра Шилдса и числа Рауса на транспорт наносов. Расчетный алгоритм протестирован программно; для примера с $b=15$ м, $h=5$ м, $m_1=m_2=3$, $i=0,0003$, $d=0,5$ мм суммарный расход наносов составил $6,81 \times 10^{-3}$ м³/с.

Ключевые слова: трапецеидальный канал, расход наносов, параметр Шилдса, формула Мейера-Петера-Мюллера, метод Багнольда, параметр Роуза, гидравлический радиус; формула Маннинга.

UDC: 626.82:532.543

MODERN METHODS FOR CALCULATING BED LOAD AND SUSPENDED SEDIMENT DISCHARGE IN A TRAPEZOIDAL CHANNEL

Shakhboz Latipov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor
Israil Gaimnazarov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Shakhnoza Jorayeva, doctoral student

Uktam Otakulov, associate professor

Mirshohid Egamov, doctor of philosophy in pedagogical sciences, associate professor

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This paper presents the theoretical framework and practical computational methods for estimating bed-load and suspended-load sediment transport rates in a trapezoidal open channel with asymmetric side slopes ($m_1 \neq m_2$) on non-cohesive granular beds. Four classical formulae - Meyer-Peter & Müller (1948), Bagnold (1966), Engelund-Hansen (1967), and Rouse-Einstein with Van Rijn (1984) reference concentration - are systematically compared. Hydraulic parameters are derived via the Manning equation. For a reference case ($b=15$ m, $h=5$ m, $m_1=m_2=3$, $i=0.0003$, $d=0.5$ mm) the total sediment discharge is found to be 6.81×10^{-3} m³/s.

Keywords: trapezoidal channel, sediment transport, Shields parameter, Meyer-Peter-Müller formula, Bagnold method, Rouse parameter, hydraulic radius, Manning equation, suspended load, bed load.

Kirish

Sugʻorish kanallari va gidrotexnika inshootlarining barqaror ishlashini taʼminlashda oqiziq harakatini oʻrganish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Oqim tarkibidagi tub osti va muallaq oqiziqning transport jarayonlari kanalning gidravlik koʻrsatkichlariga, oʻzan deformatsiyasiga, loyqa bosish hodisalariga hamda suv xoʻjaligi inshootlarining ekspluatatsion samaradorligiga bevosita taʼsir koʻrsatadi. Ayniqsa, trapetsiyasimon kesimga ega kanallarda oqimning notekis taqsimlanishi, tub va qirgʻoq qismlarida yuzaga keladigan turli tezlik maydonlari oqiziq harakatining murakkab xarakter kasb etishiga sabab boʻladi.

Suv xoʻjaligi inshootlarini loyihalashda kanal oʻzanidan oʻtadigan oqiziq sarfini toʻgʻri aniqlash muhim ahamiyat kasb etadi. Sugʻorish kanallari, drenaj tizimlari va sel oʻzanlarida gruntning eroziyasi yoki choʻkish loyiha muddatini va ishlov berish xarajatlarini sezilarli darajada oshirishi mumkin [1, 2, 11, 12].

Trapetsiyasimon koʻndalang kesim oʻzining gidravlik samaradorligi va qurilish qulayligi tufayli sugʻorish tizimlari amaliyotida keng qoʻllaniladi. Biroq har xil qiyalikka ($m_1 \neq m_2$) ega boʻlgan kanallar uchun oqiziq hisoblashning maxsus algoritmlari talab etiladi, chunki tub tangensial kuch kesim boʻylab bir xil taqsimlanmaydi [3, 4, 11, 13].

Trapetsiyasimon kanallarda tub osti va muallaq oqiziq sarfini aniqlash masalasi hozirgi kunda ham dolzarbligicha qolmoqda, chunki mavjud formulalar turli gidravlik va sedimentologik sharoitlarda bir xil aniqlikni taʼminlay olmaydi. Shu sababli zamonaviy hisoblash usullarining imkoniyatlarini tahlil qilish, ularning afzallik va cheklovlarini aniqlash hamda amaliy hisob-kitoblarda qoʻllash boʻyicha tavsiyalar ishlab chiqish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Soʻnggi oʻn yilliklarda raqamli hisoblash usullarining rivojlanishi klassik empirik formulalar - Meyer-Peter va Müller [5], Bagnold [6], Van Rijn [7] - ni zamonaviy dasturiy muhitlarda amalga oshirish imkonini berdi. Ushbu maqolaning maqsadi mazkur usullarni qiyosiy tahlil qilish va trapetsiyasimon kanal uchun yagona hisoblash algoritmi ishlab chiqishdan iborat.

Materiallar va uslublar

Tadqiqot obyekti sifatida har xil qiyalikka ega trapetsiyasimon kanal tanlangan. Hisoblashlar quyidagi bosqichlarda amalga oshiriladi:

(1) gidravlik elementlar - kesim maydoni A, suv yuzasi kengligi B, ho'llangan perimetr χ , gidravlik radius R - geometrik munosabatlar asosida aniqlanadi; (2) oqim tezligi Manning tenglamasi orqali hisoblanadi; (3) tub tangensial kuch va Shields parametri topiladi; (4) tub osti va muallaq oqiziq sarflari turli empirik usullar bilan hisoblanadi va taqqoslanadi. Kirish parametrlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Hisoblashda qabul qilingan kirish parametrlar

Parametr	Belgi	Birlik	Qiymat
Tub kengligi	b	M	15,0
Suv chuqurligi	h	M	5,0
Chap qiyalik (H:V)	m_1	—	3
O'ng qiyalik (H:V)	m_2	—	3
Kanal qiyaligi	i	—	0,0003
Manning qo'polliqi	n	—	0,0003
Zarracha diametri	d	Mm	0,5
Grunt zichligi	ρ_s	kg/m ³	1800
Suv harorati	T	°C	20
Suv zichligi	ρ_w	kg/m ³	1000

1. Gidravlik elementlar.

Trapetsiyasimon kesim uchun gidravlik elementlar quyidagi formulalar orqali aniqlanadi [8]:

$$A = (b + \frac{1}{2}(m^1 + m^2) \cdot h) \cdot h, \quad (1)$$

$$B = b + (m^1 + m^2) \cdot h, \quad (2)$$

$$\chi = b + h \cdot (\sqrt{1 + m^{12}} + \sqrt{1 + m^{22}}), \quad (3)$$

$$R = A / \chi. \quad (4)$$

Manning tenglamasi bo'yicha o'rtacha oqim tezligi [9]:

$$u = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)}, \quad (5)$$

bu yerda n — Manning qo'polliqi koeffitsienti, i — kanal qiyaligi.

2. Shields parametri va kritik tangensial kuch.

Tub tangensial kuch (to'shak kuchi) quyidagicha hisoblanadi [3]:

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot i, \quad (6)$$

$$u^* = \sqrt{(\tau_0 / \rho_w)} \quad (\text{dinamik tezlik}). \quad (7)$$

Shields (1936) parametri grunt zarrachalarining harakatga kelishi uchun o'lchamsiz mezoni sifatida xizmat qiladi [10]:

$$\theta = \tau_0 / [(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d], \quad (8)$$

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d. \quad (9)$$

MPM usuli uchun $\theta_{cr} = 0,047$ Smart-Jaeggi usuli uchun $\theta_{cr} = 0,056$ qabul qilinadi.

3. Tub osti oqizig'ini hisoblash usullari.

Tub osti oqizig'ini (bed load) hisoblash uchun bir necha empirik formula mavjud bo'lib, ular turli gidravlik sharoitlarga mo'ljallangan.

Meyer-Peter va Müller (1948) formulas qumli va toshloq o'zanlarda keng qo'llaniladi [5, 11]:

$$qb = 8 \cdot (\theta - 0.047)^{1.5} \cdot \sqrt{\Delta s \cdot g \cdot d^3}, \quad (10)$$

bu yerda $\Delta s = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ — nisbiy zichlik farqi.

Engelund-Hansen (1967) formulas umumiy oqiziq sarfini (tub osti va muallaqni birga) hisoblaydi [11]:

$$\Phi = 0.1 \cdot \theta^{2.5}, \quad (11)$$

$$q_t = \Phi \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d^3)}. \quad (12)$$

Smart-Jaeggi (1983) formulas tik qiyalikli tog' daryolari va kanallar uchun mo'ljallangan [12]:

$$qb = 4 \cdot (\theta - 0.056)^{1.5} \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d^3)}. \quad (13)$$

4. Muallaq oqiziqni hisoblash usullari

Muallaq oqiziq (suspended load) hisoblashda birinchi navbatda zarrachaning erkin cho'kish tezligi aniqlanadi. Rubey (1933) formulasi [13]:

$$\omega = \left[\sqrt{\left(\frac{2}{3} + 36v^2/(g \cdot \Delta s \cdot d^3)\right)} - \sqrt{(36v^2/(g \cdot \Delta s \cdot d^3))} \right] \cdot \sqrt{(\Delta s \cdot g \cdot d)} . \quad (14)$$

Kinematik qovushqoqlik Andrade formulasi bilan haroratga bog'liq holda hisoblanadi [8]:

$$v = 1.792 \times 10^{-6} / (1 + 0.0337T + 0.000221T^2). \quad (15)$$

Bagnold (1966) usuli energetik yondashuv asosida qurilgan bo'lib, muallaq oqiziq sarfini stream power (solishtirma quvvat) orqali ifodalaydi [6]:

$$es = 0.01 \text{ (samaradorlik koeffitsienti)}, \quad (16)$$

$$qs = es \cdot (\tau_0 \cdot u) / (\rho w \cdot g \cdot \omega). \quad (17)$$

Rouse-Einstein va Van Rijn (1984) kombinatsiyalangan usulida [7] muallaq kontsentratsiya profili Rouse tenglamasi asosida quyidagicha aniqlanadi:

$$C(\eta) = Ca \cdot [(\eta a/\eta) \cdot (1 - \eta)/(1 - \eta a)]^Z, \quad (18)$$

bu yerda $Z = \omega/(\kappa \cdot u^*)$ - Rouse parametri, $\kappa = 0,41$ - Karman doimiysi, $\eta = z/h$ - normallashtirilgan balandlik. Van Rijn referens kontsentratsiyasi:

$$Ca = \frac{0.015 \cdot (d/a) T^{1.5}}{d^{0.3}}, \quad (19)$$

bu yerda $T^* = (\tau_0 - \tau_{cr})/\tau_{cr}$ - ortiqcha kuch parametri, $d^* = d \cdot \left[\frac{g \cdot \Delta s}{v^2} \right]^{1/3}$ - zarracha o'lchami parametri.

Yuqoridagi usullar qo'llanish doirasi va asosiy parametrlari bo'yicha quyidagi 2-jadvalda qiyosiy tahlil qilingan.

2-jadval. Oqiziq sarfini hisoblash usullarining qiyosiy tavsifi

Usul	Muallif(lar)	Qo'llanish sohasi	Asosiy parametr
Meyer-Peter & Müller	Meyer-Peter, Müller (1948)	Tub osti - tosh va qum	$\theta - \theta_{cr} = 0,047$
Engelund-Hansen	Engelund, Hansen (1967)	Umumiy oqiziq - qumli kanal	$\theta^{2,5}$
Bagnold	Bagnold (1966)	Muallaq- energiya yondashuvi	Stream power
Smart & Jaeggi	Smart, Jaeggi (1983)	Tog' daryolari, tik qiyalik	$\theta - \theta_{cr} = 0,056$
Rouse-Einstein + Van Rijn	Rouse (1937), Van Rijn (1984)	Muallaq - profil integrali	Rouse Z, Ca

Har bir usulning asosiy farqlari quyidagilarda namoyon bo'ladi. MPM usuli tajribaviy ma'lumotlar asosida tuzilgan bo'lib, $\theta > 0,047$ bo'lganda ishonchli natijalar beradi. Engelund-Hansen usuli umumiy oqiziq sarfini birma-bir hisoblamaydi, balki ularning yig'indisini topadi. Bagnold usuli energetik muvozanat tamoyiliga tayanadi va muallaq oqiziqni samaradorlik koeffitsienti orqali ifodalaydi. Van Rijn usuli vertikal kontsentratsiya profilini to'liq hisobga oladi, shu bois nazariy jihatdan eng mukammal hisoblanadi [7].

Natijalar va muhokama

Keltirilgan kirish parametrlari asosida hisoblash algoritmi qadamma-qadam bajarildi. Barcha oraliq va yakuniy natijalar quyidagi 3-jadvalda jamlangan.

Olingan natijalar quyidagi xulosalarga olib keladi. Birinchidan, Shields parametri $\theta = 0,161$, kritik qiymat $\theta_{cr} = 0,047$ dan sezilarli darajada yuqori bo'lib, zarrachalar intensiv harakatda ekanligi tasdiqlanadi. Biroq Froude soni $Fr = 0,18$ oqimning sekin (sub-kritik) rejimda ekanligini ko'rsatadi, bu esa sug'orish kanallari uchun qulay holdir.

3-jadval. Hisoblash natijalari ($b=15$ m, $h=5$ m, $m_1 = m_2 = 3$, $i=0.0003$, $d=0.5$ mm)

Ko'rsatkich	Belgi	Birlik	Formula	Natija
Kesim maydoni	A	m ²	$A = (b + \frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot h) \cdot h$	100,0
Suv yuzasi kengligi	B	m	$B = b + (m_1 + m_2) \cdot h$	45,0
Ho'l. perimetr	X	m	$\chi = b + h \cdot (\sqrt{(1 + m_1^2)} + \sqrt{(1 + m_2^2)})$	46,62
Gidravlik radius	R	m	$R = A / \chi$	2,145
O'rtacha tezlik	u	m/s	$u = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)}$	1,23
Suv sarfi	Q	m ³ /s	$Q = A \cdot u$	123,0
Froude soni	Fr	—	$Fr = u / \sqrt{(g \cdot A/B)}$	0,18
Tangensial kuch	τ_0	N/m ²	$\tau_0 = \rho w \cdot g \cdot R \cdot i$	6.31
Dinamik tezlik	u*	m/s	$u^* = \sqrt{(\tau_0 / \rho w)}$	0,0795
Shields parametri	θ	—	$\theta = \tau_0 / [(\rho s - \rho w) \cdot g \cdot d]$	0,161
Kritik Shields	θ_{cr}	—	$\theta_{cr} = 0.047$ (MPM)	0,047
Cho'kish tezligi	ω	m/s	Rubey (1933)	0,065
Rouse parametri	Z	—	$Z = \omega / (\kappa \cdot u^*)$, $\kappa = 0.41$	1,99
Tub osti oqiziq	Qb	m ³ /s	MPM: $Qb = 8(\theta - 0.047)^{1.5} \cdot \sqrt{(\Delta \cdot g \cdot d^3)} \cdot b$	$2,14 \times 10^{-3}$
Muallaq oqiziq	Qs	m ³ /s	Bagnold (1966)	$4,67 \times 10^{-3}$
Jami oqiziq	Qt	m³/s	$Qt = Qb + Qs$	$6,81 \times 10^{-3}$

Ikkinchidan, Rouse parametri $Z = 1,99$ bo'lib, u erkin cho'kish tezligi va dinamik tezlikning nisbatini ifodalaydi. $Z < 2,5$ bo'lganda zarrachalar sezilarli darajada muallaq holda oqadi, $Z > 5$ bo'lganda esa muallaq oqiziq amalda mavjud bo'lmaydi. Hisoblangan $Z=1,99$ qiymat zarrachalarning asosan muallaq holda tashilishini ko'rsatadi.

Uchinchidan, MPM usulida hisoblangan tub osti oqiziq sarfi $Qb = 2,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, Bagnold usulida hisoblangan muallaq oqiziq $Qs = 4,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ni tashkil etadi. Natijada jami oqiziq sarfi $Qt = 6,81 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ bo'lib, bu kanal loyihasida cho'kish va eroziya jarayonlarini baholashda muhim miqdordir.

Dasturiy amalga oshirish: maqolada tasvirlangan hisoblash algoritmi HTML5/JavaScript asosida interaktiv veb-kalkulyator shaklida amalga oshirilgan. Dastur quyidagi imkoniyatlarni ta'minlaydi:

har xil qiyalikli ($m_1 \neq m_2$) trapetsiyasimon kanallar uchun gidravlik elementlarni avtomatik hisoblash;

tub osti oqizig'i uchun MPM, Engelund-Hansen, Bagnold, Smart-Jaeggi usullaridan birini tanlash;

muallaq oqiziq uchun Rouse-Einstein+Van Rijn va Bagnold usullaridan foydalanish;

Manning tenglamasi asosida suv sarfini hisoblash;

Shields va Rouse parametrlarini real vaqt rejimida ko'rsatish;

barcha hisob-kitoblar bosqichini interaktiv jadval shaklida ifodalash.

Kanal geometriyasini vizualizatsiya qilish uchun SVG formatida dinamik chizma yaratilgan bo'lib, foydalanuvchi kirish parametrlarini o'zgartirishi bilan chizma yangilanadi. Dastur Andrade

formulasi yordamida kinematik qovushqoqlikni haroratga bog'liq holda, Rubey (1933) formulasi yordamida cho'kish tezligini avtomatik hisoblab beradi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1. Trapetsiyasimon kanalda oqiziq sarfini to'g'ri hisoblash uchun gidravlik elementlar (A , χ , R), Shields parametri va zarracha fizik xususiyatlarini birgalikda hisobga olish zarur.
2. Har xil qiyalikli ($m_1 \neq m_2$) kanal kesimi uchun tub tangensial kuch simmetrik kanalga nisbatan turlicha taqsimlanadi, bu esa hisoblashda alohida e'tiborni talab etadi.
3. Rouse parametri $Z = 1,99$ va Shields $\theta = 0,161$ qiymatlarida zarrachalar asosan muallaq holda tashiladi; tub osti oqizig'i jami sarfning taxminan 31% ni tashkil etadi.
4. MPM formulasi (1948) hisoblashning asosiy usuli sifatida, Bagnold (1966) esa muallaq oqiziqni hisoblashda ishonchli natijalar berdi. Van Rijn (1984) usuli nazariy jihatdan mukammalroq bo'lib, vertikal kontsentratsiya profilini to'liq ifodalaydi.
5. Ishlab chiqilgan interaktiv kalkulyator loyiha muhandislari va tadqiqotchilar uchun amaliy vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1] Raudkivi, A.J. (1998). Loose Boundary Hydraulics (4th ed.). A.A. Balkema, Rotterdam. 496 p.
- [2] Yalin, M.S., Ferreira da Silva, A.M. (2001). Fluvial Processes. IAHR Monograph, Delft. 197 p.
- [3] Julien, P.Y. (2010). Erosion and Sedimentation (2nd ed.). Cambridge University Press. 371 p.
- [4] Chanson, H. (2004). The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction (2nd ed.). Butterworth-Heinemann. 630 p.
- [5] Meyer-Peter, E., Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. Proc. 2nd IAHR Congress, Stockholm, 39–64.
- [6] Bagnold, R.A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Professional Paper 422-I. 37 p.
- [7] Van Rijn, L.C. (1984). Sediment transport, Part II: Suspended load transport. Journal of Hydraulic Engineering, 110(11), 1613–1641.
- [8] Chow, V.T. (1959). Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York. 680 p.
- [9] Manning, R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. Trans. Inst. Civil Engineers Ireland, 20, 161–207.
- [10] Shields, A. (1936). Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebepbewegung. Mitt. Preuss. Versuchsanst. Wasserbau Schiffbau, Berlin, 26. 26 p.
- [11] G'ayimnazarov I. X. UDC 532.543: 627.157: Calculation of the parameters of the base rows in a non-stationary flow //Innovatsion texnologiyalar. – 2025. – T. 59. – №. 3. – C. 62-66.
- [12] G'ayimnazarov, I., Eshev, S., Bazarov, O., Latipov, S., Rakhimov, A., & Guliyeva, S. (2025, July). Investigation of the initiation of sediment movement in mixed flows. InAIP Conference Proceedings (Vol. 3256, No. 1, p. 020041). AIP Publishing LLC.
- [13] G'ayimnazarov Israil, Xoliqovich, Mamarasulov Sobir Raxmonqul ogli, and Toshmurodov Jomurod Jahongir ogli. "O'ZAN TUBI BARQARORLIGINI BAHOLASH USULLARI" Sanoatda raqamli texnologiyalar // Цифровые технологии в промышленности, 4.1 (2026): 237-241.
- [14] Engelund, F., Hansen, E. (1967). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Forlag, Copenhagen. 65 p.
- [15] Smart, G.M., Jaeggi, M.N.R. (1983). Sediment transport on steep slopes. Mitt. Versuchsanst. Wasserbau Hydrol. Glaziologie ETH Zürich, 64. 191 p.
- [16] Rubey, W.W. (1933). Settling velocities of gravel, sand and silt particles. American Journal of Science, 225, 325–338.

UO‘K: 631.432.1

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.10>

SUV OMBORINING GIDROLOGIK KO‘RSATKICHLARI UNING TA’SIR ZONASIDAGI YERLAR MELIORATIV HOLATIGA TA’SIRINI O‘RGANISH (QASHQADARYO VILOYATI QAMASHI SUV OMBORI MISOLIDA)

Avlakulov Meyli - texnika fanlari doktori, professor, E-mail: mavlakulov@mail.ru,

ORCID: 0000-0002-8154-1153, Science ID: DQD 0925-0027

Egamberdiyev Johangir Haqberdi o‘g‘li– doktorant (PhD), ORCID: 0009-0008-8264-3785, Science ID: FDQ-0626-0027

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Mazkur maqolada Qamashi suv omborining gidrologik ko‘rsatkichlari va uning ta’sir zonasidagi yerlarning meliorativ holatiga ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqot davomida suv omborining suv sathi, suv hajmi, sizot suvlarining chuqurligi hamda yerlarning sho‘rlanish darajasi tahlil qilindi. Shuningdek, suv ombori atrofida sug‘oriladigan maydonlarda meliorativ holatning o‘zgarishiga ta’sir etuvchi omillar baholandi. Olingan natijalar suv omborining gidrologik rejimi yerlarning meliorativ holatiga bevosita ta’sir ko‘rsatishini, ayniqsa sizot suvlarining ko‘tarilishi va tuproq sho‘rlanishining ortishi ayrim hududlarda kuzatilishini ko‘rsatdi. Tadqiqot yakunida hudud yerlarining meliorativ holatini yaxshilash, suv resurslaridan oqilona foydalanish hamda drenaj tizimlari samaradorligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Kalit so‘zlar: suv ombori, gidrologik ko‘rsatkichlar, yer osti suvlari dinamikasi, sho‘rlanish jarayoni, meliorativ holat, infiltratsiya, gidrogeologik sharoit, suv resurslarini boshqarish, mavsumiy gidrologik o‘zgarishlar, ta’sir zonasi.

УДК: 631.432.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОХРАНИЛИЩА НА МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ В ЗОНЕ ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАМАШИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАШКАДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Авлакулов Мейли - доктор технических наук, профессор

Эгамбердиев Жахонгир Хакберди угли- докторант (PhD).

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье изучены гидрологические показатели Камашинского водохранилища и их влияние на мелиоративное состояние земель в зоне его действия. В ходе исследования были проанализированы уровень воды в водохранилище, объём воды, глубина залегания грунтовых вод, а также степень засоления земель. Кроме того, оценены факторы, влияющие на изменение мелиоративного состояния орошаемых земель, расположенных вокруг водохранилища. Полученные результаты показали, что гидрологический режим водохранилища оказывает непосредственное влияние на мелиоративное состояние земель, в частности, в отдельных районах наблюдаются подъём уровня грунтовых вод и усиление процессов засоления почв. По итогам исследования будут разработаны рекомендации по улучшению мелиоративного состояния земель региона, рациональному использованию водных ресурсов и повышению эффективности дренажных систем.

Ключевые слова: водохранилище, гидрологические показатели, динамика подземных вод, процесс засоления, мелиоративное состояние, инфильтрация, гидрогеологические условия, управление водными ресурсами, сезонные гидрологические изменения, зона воздействия.

UDC: 631.432.1

STUDY OF THE IMPACT OF RESERVOIR HYDROLOGICAL INDICATORS ON THE MELIORATIVE CONDITION OF LANDS WITHIN ITS ZONE OF INFLUENCE (A CASE STUDY OF THE KAMASHI RESERVOIR, KASHKADARYA REGION)

Meyli Avlakulov, doctor of technical sciences, professor

Johangir Egamberdiyev, doctoral student

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This article investigates the hydrological indicators of the Kamashi Reservoir and their impact on the meliorative condition of lands within its zone of influence. During the study, the reservoir water level, water storage volume, groundwater depth, and the soil salinity level were analyzed. In addition, factors affecting changes in the meliorative condition of irrigated lands surrounding the reservoir were evaluated. The obtained results demonstrated that the hydrological regime of the reservoir directly influences the meliorative condition of the lands, particularly through groundwater table rise and increased soil salinization observed in certain areas. Based on the findings, recommendations were developed to improve the meliorative condition of regional lands, ensure rational use of water resources, and enhance the efficiency of drainage systems.*

Keywords: *reservoir, hydrological indicators, groundwater dynamics, salinization process, meliorative condition, infiltration, hydrogeological conditions, water resources management, seasonal hydrological changes, zone of influence.*

Kirish

Global iqlim o'zgarishi va atmosfera yog'inlarining kamayishi oqibatida mamlakatimizda ham suv tanqisligi kuchaymoqda. Aholi sonining o'sishi va oziq-ovqatga bo'lgan talabning ortishi suv iste'molini yildan-yilga oshirmoqda. Bunday sharoitda suv resurslariga bo'lgan e'tiborni kuchaytirish hamda har bir tomchi suvni asrab-avaylash hayotiy zaruratga aylanmoqda [1- 3].

Bugungi kunda sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatini yaxshilash va suv resurslaridan samarali foydalanish masalalari qishloq xo'jaligi hamda gidrotexnika sohasining dolzarb yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, suv omborlarining gidrologik rejimi ularning ta'sir zonasida joylashgan yerlarning meliorativ holatiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi [4-8]. Suv omborlarida suv sathining o'zgarishi, filtratsiya jarayonlari hamda yer osti suvlari sathining ko'tarilishi natijasida tuproq sho'rlanishi, botqoqlanish va meliorativ holatning yomonlashuvi kuzatilishi mumkin. O'zbekiston Respublikasida mavjud suv omborlari sug'orish tizimlarini barqaror suv bilan ta'minlash, suv oqimini tartibga solish hamda qishloq xo'jaligi mahsuldorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu bilan birga, ayrim hududlarda suv omborlari ta'sirida sizot suvlarining ko'tarilishi va yerlarning meliorativ holatida salbiy o'zgarishlar yuzaga kelayotgani kuzatilmoqda. Bu esa suv omborlari faoliyatining gidrologik va meliorativ jihatlarini chuqur ilmiy tahlil qilish zaruratini yuzaga keltiradi [9-15]. Mazkur tadqiqotda Qamashi suv ombori misolida suv omborining asosiy gidrologik ko'rsatkichlari hamda uning ta'sir zonasidagi sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatiga ta'siri o'rganiladi. Tadqiqot davomida suv sathi dinamikasi, suv hajmi, sizot suvlarining joylashish chuqurligi, tuproq sho'rlanish darajasi va drenaj tizimlarining holati tahlil qilinadi. Shuningdek, hududdagi mavjud meliorativ muammolarni kamaytirish hamda yer va suv resurslaridan samarali foydalanish bo'yicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqish maqsad qilingan [16-19]. Tadqiqot natijalari suv omborlari ta'sir zonasidagi yerlarning meliorativ holatini baholash, ularning ekologik va xo'jalik ahamiyatini aniqlash hamda kelgusida meliorativ tadbirlarni rejalashtirishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Qamashi suv omborining ta'sir zonasida amalga oshirilgan gidrologik-meliorativ tahlillar hududiy suv xo'jaligi siyosatini takomillashtirish uchun amaliy va ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Materiallar va uslublar

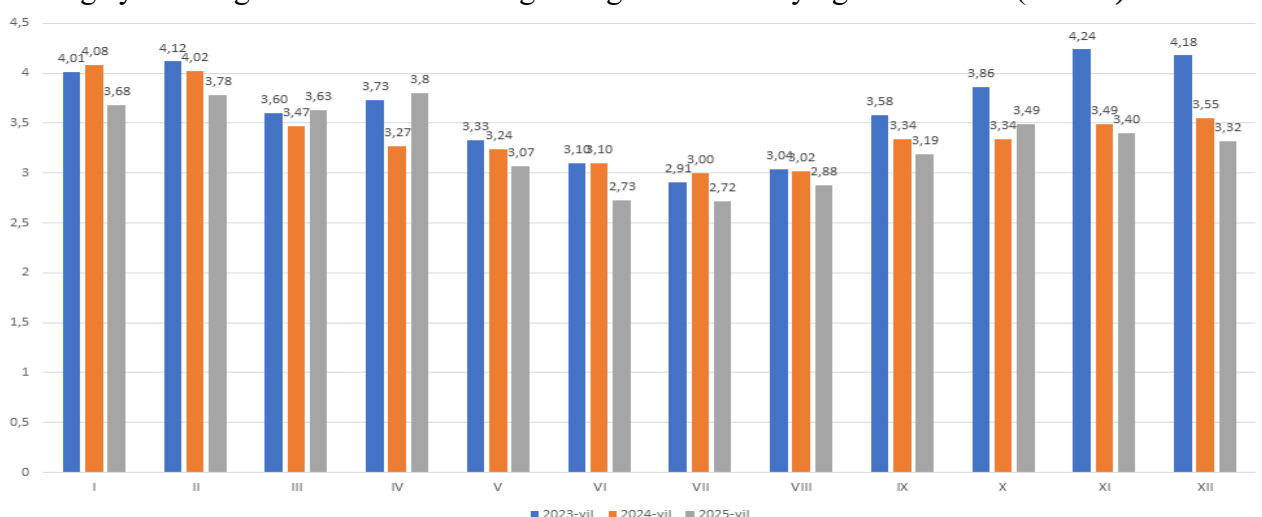
Qamashi suv ombori Amu-Qashqadaryo irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi huzuridagi Yakkabog'-G'uzor irrigatsiya tizimi boshqarmasi balansida bo'lib, suvni tartibga solishda muhim

strategik ahamiyatga ega bo'lgan gidrotexnik inshootlardan biri hisoblanadi. Tanlab olingan tadqiqot obyekti Qamashi tumani Oqguzar MFY Luxliko'l qo'rg'onida joylashgan Qamashi suv ombori 1987-yilda qurilib foydalanishga topshirilgan suv ombori 3-sinfga mansub bo'lib suv olish manbasi Zarafshon havzasi orqali Eskianhor kanaliga hamda Sandal kanali orqali to'ldiriladi. Suv omborining loyihaviy hajmi 25,0 mln.m³, shundan foydali hajmi esa 20,4 mln.m³ ni tashkil qiladi. Suv ombori Tumandagi farg'ona hududdagi qishloq xo'jaligida sug'oriladigan maydonlar: Jumladan fermer xo'jaliklari, dehqon xo'jaliklari va aholi tomorqa yer uchastka maydonlarining jami 4,28 ming gektar sug'oriladigan maydonni obi-hayot bilan ta'minlab keladi.

Qamashi suv omborida suv kelish holati tahlil qilinganda 2012-yil davomida 30,9 mln.m³, 2016-yilda 31,8 mln.m³, 2019-yilda 34,1 mln.m³, 2022-yilda 36,2 mln.m³, 2024-yilda 33,2 mln.m³ suv resurslari suv ombor havzasiga yig'ilgan bo'lib, suv omboriga bog'langan 4,28 ming gektar maydonni kafolatli suv bilan ta'minlagan.

Muhokama va natijalar

Tadqiqot davomida Qamashi suv omborining gidrologik ko'rsatkichlari hamda uning ta'sir zonasidagi sug'oriladigan yerlarning meliorativ holati o'rganildi. Olib borilgan kuzatuv va tahlillar natijasida suv omboridagi suv sathining mavsumiy o'zgarishi atrof hududlarning gidrogeologik holatiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Ayniqsa, suv omborida suv hajmining ortishi hamda vegetatsiya davrida sug'orishga berilgan suvlarning bir qismi sizot suvlar sathining ko'tarilishi hisobiga yerlarning meliorativ holati o'zgarishiga sabab bo'layotgani kuzatildi (1-rasm).



1-rasm. Qamashi tumani Farg'ona massiviga bog'langan maydonlarda sizot suvlari sathining o'zgarishi dinamikasi.

Oxirgi yillarda kuzatuv ma'lumotlari natijalariga ko'ra Qamashi suv ombori kuzatilgan suv sathining maksimal (eng yuqori) va minimal (eng past) belgilari topilib, Suv omborini to'ldirishda chegaralash chizig'ini tuzush va grafik asosida suv omborini bosqichma-bosqich suv sathini to'ldirish tezligi yuqori qatlamlar uchun sutkasiga 25-50 sm gacha va yuzaki 2-3 metr qatlam uchun 5-10 sm gacha amalga oshirilishi belgilangan.

Qamashi suv omborida 2012-2025-yillarda oraliq'ida suv omborga kirgan, chiqqan va hajm ko'rsatkichlari ushbu yillarning seryog'in va qirg'oqchil kelishi hisobiga oylar kesimida tahlil qilinganda quyidagilar aniqlandi.

Xususan, suv omborda 2017-yil davomida 14,9 mln.m³, 2018-yilda 14,9 mln.m³, 2021-yilda 13,3 mln.m³, 2023-yilda 12,3 mln.m³ va 2025-yilda 16,1 mln.m³ suv miqdori suv ombor havzasiga kirib kelgan bo'lsa qolgan yillarda bu miqdordan 2 barobar ko'proq suv suv ombor havzasiga yig'ilgan.

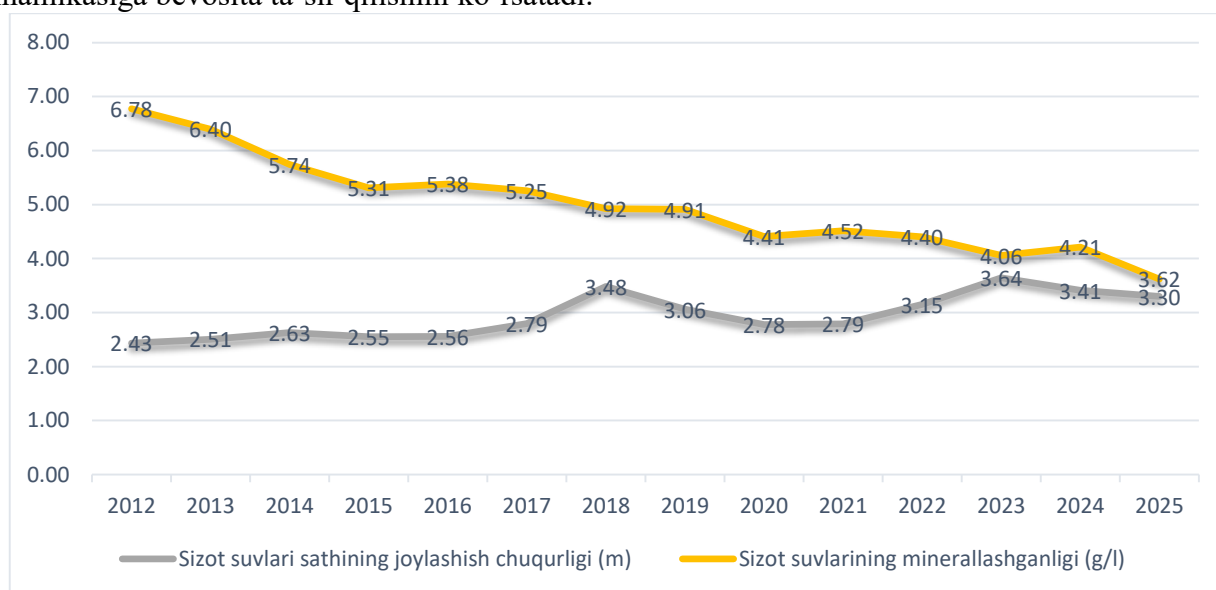
Qamashi suv omboriga bog'langan 4,28 ming gektar sug'oriladigan maydonlarga qishloq xo'jaligi mahsulot yetishtiruvchilar jumladan fermer, dehqon xo'jaliklari va aholi tomorqa egalariga obi-hayot bilan kafolatli ta'minlab keladi.

1-rasm ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, sizot suvlari sathi yil davomida mavsumiy o'zgarish xususiyatiga ega. Barcha yillarda yanvar–aprel oylarida sizot suvlari sathi nisbatan yuqori bo'lib, may–iyul oylariga kelib pasaygan. Eng past ko'rsatkichlar iyul oyida kuzatilgan bo'lib, 2023-yilda 2,90 m, 2024-yilda 3,00 m va 2025-yilda 2,72 m ni tashkil etgan.

Avqust oyidan boshlab sizot suvlari sathida qayta ko'tarilish jarayoni kuzatiladi. Ayniqsa, oktyabr–dekabr oylarida ko'rsatkichlar sezilarli oshgan. Eng yuqori qiymatlar noyabr–dekabr oylariga to'g'ri kelib, 2023-yilda noyabrda 4,24 m, dekabrda 4,18 m, 2024-yilda fevralda 4,02 m, 2025-yilda noyabrda 4,18 m ga yetgan.

Yillar kesimida taqqoslanganda, 2025-yilda ko'pchilik oylarda sizot suvlari sathi 2023- va 2024-yillarga nisbatan biroz pastroq joylashgan. Bu esa mazkur davrda suv chiqarish tarmoqlari va drenaj tizimlarining ma'lum darajada samarali ishlaganligini ko'rsatishi mumkin. Shu bilan birga, kuz-qish mavsumida suv omboridan filtratsiya va yer osti suvlari oqimining kuchayishi natijasida sizot suvlari sathining ko'tarilishi kuzatilgan.

Umuman olganda 1-rasm natijalari Qamashi suv ombori ta'sir zonasida sizot suvlari rejimi mavsumiy xarakterga ega ekanligini va suv omboridagi suv sathining o'zgarishi yer osti suvlari dinamikasiga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatadi.



2-rasm. Qamashi tumani Farg'ona massiviga bog'langan maydonlarda 2012-2025-yillar oralig'ida o'rtacha sizot suvlari chuqurligi va minerallashtiruvchanligi joylashuv grafiki.

2-rasm ma'lumotlari tahlili shuni ko'rsatadiki, 2012–2025 yillar mobaynida sizot suvlarining minerallashtiruv darajasi barqaror ravishda kamayish tendensiyasiga ega bo'lgan. Agar 2012-yilda minerallashtiruv 6,78 g/l bo'lgan bo'lsa, 2025-yilga kelib bu ko'rsatkich 3,62 g/l gacha pasaygan. Ya'ni tahlil qilingan davrda minerallashtiruv miqdori qariyb 46,6 % ga kamaygan.

Minerallashtiruvning pasayishi suv-tuz rejimining yaxshilanishi, yuvish ishlarining samaradorligi oshishi hamda suv resurslarini boshqarish tizimining takomillashganligi bilan izohlanishi mumkin.

Shu bilan bir vaqtda, sizot suvlarining joylashish chuqurligi 2012-yildagi 2,43 m dan 2018-yilda 3,48 m gacha chuqurlashgan. Bu davrda yerlarning meliorativ holati yaxshilanganligini ko'rsatadi. Keyingi yillarda mazkur ko'rsatkich ma'lum darajada o'zgarib turgan bo'lsa-da, asosan 2,8–3,6 m oralig'ida saqlanib qolgan. 2023-yilda 3,64 m bo'lgan chuqurlik 2025-yilga kelib 3,30 m ni tashkil etgan.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, sizot suvlari chuqurligi ortishi bilan minerallashtiruv kamayib borgan. Bu ikki ko'rsatkich o'rtasida teskari bog'liqlik mavjudligini anglatadi. Ya'ni sizot suvlari yer yuzasidan chuqurroq joylashganda tuproqning ikkilamchi sho'rlanish xavfi pasayadi va meliorativ holat yaxshilanadi.

Tadqiqot natijalari Qamashi suv ombori ta'sir zonasida olib borilgan meliorativ tadbirlar, drenaj tizimlarining faoliyati va suv resurslaridan oqilona foydalanish hisobiga yerlarning meliorativ holati

yaxshilanganligini ko'rsatadi. Biroq 2023–2025 yillarda sizot suvlari sathining biroz ko'tarilishi kuzatilganligi sababli drenaj tarmoqlarining texnik holatini muntazam nazorat qilish va ularning samaradorligini oshirish muhim ahamiyatga ega. O'rganishlar davomida suv omborining gidrologik rejimini muntazam monitoring qilish, sizot suvlar sathini nazorat ostida ushlab turish hamda mavjud drenaj tarmoqlarini rekonstruksiya qilish zarurligi asoslandi. Shuningdek, suvdan tejamkor foydalanish texnologiyalarini joriy etish va sug'orish me'yorlarini ilmiy asosda belgilash hudud yerlarining meliorativ holatini yaxshilashga xizmat qilishi ta'kidlandi.

Umuman olganda, Qamashi suv ombori ning gidrologik ko'rsatkichlari uning ta'sir zonasidagi yerlarning meliorativ holatiga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Tadqiqot natijalari asosida kelgusida hududda meliorativ tadbirlarni samarali tashkil etish, suv resurslaridan oqilona foydalanish va sug'oriladigan yerlar unumdorligini saqlashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, suv omboriga yaqin joylashgan sug'oriladigan maydonlarda sizot suvlarining yer yuzasiga yaqinlashuvi natijasida tuproqning ikkilamchi sho'rlanish darajasi oshgan. Ayrim hududlarda sizot suvlar chuqurligining me'yoriy ko'rsatkichlardan pasayishi natijasida yerlarning meliorativ holati yomonlashgani qayd etildi. Bu esa qishloq xo'jaligi ekinlari hosildorligiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida Qamashi suv omborining gidrologik rejimi uning ta'sir zonasidagi sug'oriladigan yerlarning meliorativ holatiga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Tahlillar suv omborida suv sathining mavsumiy o'zgarishi sizot suvlari rejimi va ularning minerallashuv darajasida sezilarli aks etishini ko'rsatdi.

2012–2025 yillar davomida sizot suvlarining minerallashuv darajasi 6,78 g/l dan 3,62 g/l gacha kamayib, qariyb 46,6 % ga pasayganligi qayd etildi. Bu holat hududda amalga oshirilgan meliorativ tadbirlar, drenaj tarmoqlarining samarali faoliyati hamda suv resurslarini boshqarish tizimining takomillashganligidan dalolat beradi. Shu bilan birga, sizot suvlari chuqurligi 2,43 m dan 3,64 m gacha oshgan bo'lib, yerlarning meliorativ holati yaxshilanganligini tasdiqlaydi.

Tadqiqotlar natijasida suv omboriga yaqin hududlarda kuz-qish mavsumida filtratsiya jarayonlari ta'sirida sizot suvlari sathining ko'tarilishi kuzatilishi, bu esa ayrim maydonlarda ikkilamchi sho'rlanish xavfini oshirishi aniqlandi. Shu sababli suv omborining gidrologik rejimi, sizot suvlari sathi va minerallashuv darajasini muntazam monitoring qilish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Qamashi suv ombori ta'sir zonasida yerlarning meliorativ barqarorligini ta'minlash maqsadida:

- drenaj tarmoqlarini rekonstruksiya qilish va ularning ishonchli faoliyatini ta'minlash;
- suv tejovchi sug'orish texnologiyalarini keng joriy etish;
- sug'orish me'yorlarini gidrogeologik sharoitlar asosida optimallashtirish;
- sizot suvlari sathi va tuproq sho'rlanishini raqamli monitoring tizimlari orqali nazorat qilish

maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Umuman olganda, Qamashi suv omborining gidrologik ko'rsatkichlari va ta'sir zonasidagi meliorativ jarayonlar o'rtasida uzviy bog'liqlik mavjudligi ilmiy jihatdan asoslandi. Olingan natijalar suv omborlari ta'sir zonasidagi yerlarning meliorativ holatini baholash, suv resurslaridan oqilona foydalanish hamda sug'oriladigan yerlar unumdorligini barqaror saqlash bo'yicha amaliy qarorlar qabul qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar

- [1] Алтунин С.Т. Заиление водохранилищ и размыв русел в нижнем бьефе плотин // Русловые процессы и гидротехническое строительство. -Т., 1957г. -336с.
- [2] Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. – С. 325.

- [3] Авакян А.Б. Водохранилища и окружающая среда. – М.: изд. общества «Знание», 1982. – С. 48.
- [4] Арифжанов А.М., Очиқ ўзанларда оқим динамикаси тадқиқотлари истикболлари. Ўзбекистон Республикасининг жанубий ҳудудида сув ресурсларидан самарали фойдаланишнинг муаммо ва ечимлари. Республика илмий-амалий анжумани. Қарши, 2016 йил, 12 март, С. 13-16.
- [5] Арифжанов А.М., Жураев Ш.Ш., Хошимов С.Н., Акрамов А.А. Сув сақлаш объектлари фойдали ҳажмига лойқаланиш жараёнларининг таъсирини баҳолаш. Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2020, Т.24, спец. вып. №3. 38-42 б).
- [6] Арифжанов А.М., Ахмедходжаева И.А., Водные ресурсы.-2011 г. -140с.
- [7] Ахмедходжаева И.А., Апахужаева Т.У. Сув омборлар гидравликаси. Т: 2016, 149-Б.
- [8] Ахмедходжаева И.А. Метод прогноза потери ёмкости русловых водохранилищ сезонного регулирования. Дис. на соискание учёной степени к.т.н., Ташкент, 2008. – С. 39-65.
- [9] T Apakhujaeva, S Melikuziyev Calculation of filtration in reservoirs ETESD-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112 (2022) 012126 doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012126.
- [10] Водохранилища мира. -М.: Наука, 1979. - 287 с.
- [11] Гаппаров Ф.А. Сув омборларини хавфсиз ва самарали ишлатишни ташкил этиш // «AGRO ILM» журналі.—Тошкент, 2007.—№4.—Б.32.
- [12] Икрамова М.Р. Сув омборлари гидрологияси. Ўқув қўлланма, Тошкент: Baktriya Press 2019. 176-б.
- [13] Икрамова М.Р., Ходжиев А.К. Мониторинг и прогноз применения потерь воды в водохранилища ТМГУ и объема чаши Руслового водохранилища при усовершенствовании режима их эксплуатации; (заключительный) // Отчет о НИР/САНИИРИ; Ташкент, 2008. 62 с.
- [14] Алланов К.А., Чориев А.К., Ашуров Ж.С. Значение Тупалангского водохранилища в социально-экономическом развитии Сурхандарьинской области Республики Узбекистан // Экономика и социум. — 2022. — № 3-1 (94).
- [15] Nazaraliyev D.V, Hamroqulov J.S , Bobojonova S.B “Global Iqlim O‘Zgarishi Sharoitida Chorvoq Suv Ombori Hidrologik Rejimining O‘Zgarishini Miqdoriy Baholash” Miasto Przyszłości Kielce 2024, ISSN-L: 2544-980X b.515-522.
- [16] Jasurjon Hamroqulov, Dilshod Nazaraliyev, Xudayberganov Ma'murjon “Iqlim o‘zgarishini Jizzax suv ombori girologik rejimining o‘zgarishiga ta’sirni baholash” Journal of Innova on in Volume: 2 Issue: 5 Year: 2024 Educa onal and Social Research ISSN: 2992-894X | <http://journals.proindex.uz>
- [17] Q. Ch. Ulashov, T. G. Abdiyev, F. A. Xidirov “Pachkamar suv omboridagi pezometrik ko’rsatkichlar” Academic Research in Educational Sciences VOLUME 2, ISSUE 11, 2021 ISSN: 2181-1385 Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723 Directory Indexing of International Research Journals-CiteFactor 2020-21: 0.89, DOI: 10.24412/2181-1385-2021-11-309-312
- [18] Ф. А. Гаппаров, А. Р. Хайдаров, Л. В. Когутенко, М. Ф. Фаффорова, «Сув омборлари гидробиологик режимини баҳолаш» //INTERNATIONAL JOURNAL OF AGROBIOTECHNOLOGY AND VETERINARY MEDICINE Volume: 02 Issue: 01|2023 15-21 б.
- [19] Arifjanov Aybek Muxamedjanovich, Samiyev Luqmon Nayimovich, Xoshimov Sardorbek Ne’matjon o’g’li, Ulashov Qudratilla Chori o’g’li, “SUV OMBORI DRENAJLARIDA DALA TADQIQOTLARI OLIB BORISH” // "ILM-FAN VA INNOVATION RIVOJLANISH" ilmiy-texnikaviy jurnal 7-jild / 5-2024 y. 103-111 б.

UO‘K: 681.3

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.11>

VEKTOR KVANTLANGAN VAQTINCHALIK ASSOTSIATIV XOTIRA ASOSIDA DINAMIK OBYEKT LARNI IDENTIFIKATSIYALASH ALGORITMI

Shukurova Oysara Pulatovna - texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
E-mail: oysarashukurova@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6357-6547,
Science ID: FQD-0626-0088

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Avtomatlashtirilgan boshqaruv obyektlarining texnologik parametrlari o'rtasidagi munosabatlarni identifikatsiyalash masalalarida neyron tarmoqlar imkoniyatlaridan foydalaniladi. Bunday identifikatsiyalash masalalarida qaraladigan muhim muammolardan biri modellashtirilayotgan dinamik obyektning neyron tarmog'i arxitekturasini tanlash hisoblanadi. Ushbu maqolada vektor kvantlangan vaqtinchalik assotsiativ xotira asosida dinamik obyektlarni identifikatsiyalash algoritmi qarab chiqilgan. Neyron tarmoqlarida kirish va chiqish parametrlari, identifikatsiyalash sxemasi, o'zini o'qitish tarmog'idagi berilgan funktsiya approksimatsiyasi masalasini hal qilish usuli berilgan. Identifikatsiyalash uchun o'zini o'qituvchi tarmoqni qo'llash sxemasi va foydalaniladigan Kohonen tarmog'i arxitekturasini keltirilgan. Tarmoq parametrlarini o'qitish algoritmi yozilgan.

Kalit so'zlar: o'zini o'qituvchi tarmoq, neyron tarmoq, Kohonen, vaqt momenti, model, parametr, vazn vektori, sinaptik koeffitsiyentlar vektori, g'olib-neyron, dinamik obyekt, identifikatsiyalash.

UDK: 681.3

ДИНАМИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОЙ КВАНТОВАННОЙ ВРЕМЕННОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Шукурова Ойсара Пулатовна - доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент.

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В задачах идентификации взаимосвязей между технологическими параметрами объектов автоматизированного управления используются возможности нейронных сетей. Одной из важных проблем, рассматриваемых в таких задачах идентификации, является выбор архитектуры нейронной сети моделируемого динамического объекта. В статье рассматривается использование нейронной сети на основе векторно-квантованной временной ассоциативной памяти для динамической идентификации объектов. Приведены входные и выходные параметры нейронных сетей, схема идентификации и метод решения задачи аппроксимации заданной функции в самообучающейся сети. Представлена схема использования самообучающейся сети для идентификации и архитектура используемой сети Кохонена. Написан алгоритм обучения параметров сети.

Ключевые слова: самообучающаяся сеть, нейронная сеть, Кохонен, момент времени, модель, параметр, весовой вектор, вектор синаптических коэффициентов, нейрон-победитель, динамический объект, идентификация.

UDC: 681.3

ALGORITHM FOR IDENTIFYING DYNAMIC OBJECTS BASED ON VECTOR- QUANTIZED TEMPORAL ASSOCIATIVE MEMORY

Oysara Shukurova, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. In tasks of identifying relationships between technological parameters of automated control objects, the capabilities of neural networks are used. One of the important problems considered in such identification tasks is the choice of the neural network architecture for the modeled dynamic object. The article discusses the use of a neural network based on vector-quantized temporal associative memory for dynamic object identification. The input and output parameters of neural networks, the identification scheme, and the method for solving the problem of approximating a given function in a self-learning network are presented. A scheme for using a self-learning network for identification and the architecture of the Kohonen network used are presented. An algorithm for training network parameters is written.

Keywords: self-learning network, neural network, Kohonen, time point, model, parameter, weight vector, vector of synaptic coefficients, winner neuron, dynamic object, identification.

Kirish

Dinamik tizimni boshqarish uchun birinchi navbatda tizim modelini qurish va parametrlarini baholash uchun ushbu tizimni identifikatsiyalash kerak. Identifikatsiyalash boshqarish nazariyasida muhim ahamiyatga ega. Tizimni identifikatsiyalash vazifasi uning kirish va chiqish parametrlarini tavsiflovchi modelini qurishdan iboratdir [1-3].

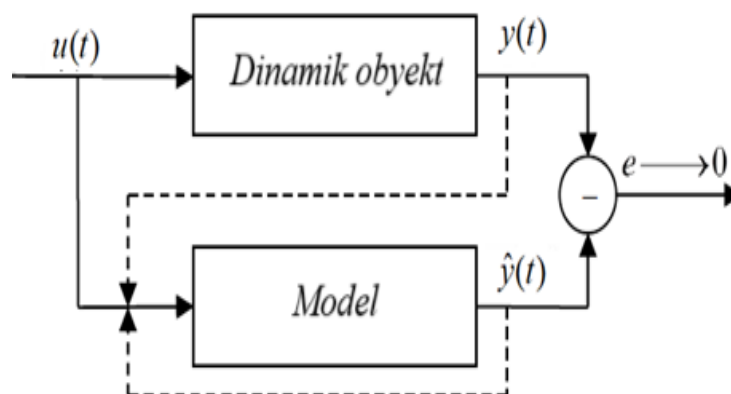
Sun'iy neyron tarmoqlar – tirik organizm nerv hujayralari tarmoqlarini tashkil etish va ishlash prinsipi asosida qurilgan matematik modellar, shuningdek ularning dasturiy yoki apparat ta'minotidir [4].

Neyron tarmoqlardan avtomatlashtirilgan obyektlarning texnologik o'zgaruvchilari o'rtasidagi munosabatlarni identifikatsiyalash vositasi sifatida foydalanish mumkin [5-7]. Neyron tarmoqni identifikatsiyalash masalasini hal qilishda duch kelinadigan asosiy muammo modellashtiradigan obyekt neyron tarmoq arxitekturasini tanlashdir. Bu muammoning aniq yechimi yo'q. Har bir aniq holatda identifikatsiyalash uchun matematik modellar sinfini tanlash sezgi va turli modellar aniqligini qiyosiy tahlil qilish natijalari bilan belgilanadi.

Ma'lumki, statik neyron tarmoqni dinamik obyekt modeli sifatida tanlash mumkin [8]. Shu bilan birga, xotira qandaydir tarzda tarmoqqa kiritilishi kerak. Odatda, bu maqsadda tarmoq kirish signalini kechiktirish liniyalari va/yoki obyekt chiqish signalini kechiktirish liniyalari (TDL, Time-Delayed Line) ishlatiladi. Ushbu yondashuvning to'g'riligi o'rnatish nazariyasi doirasida isbotlangan [9-11].

Materiallar va uslublar

t vaqt momentida kirish parametrlari $u(t)$ vektorini qabul qiluvchi va chiqishda $\hat{y}(t)$ vektorga ega bo'lgan dinamik obyekt identifikatsiyasini (1-rasm) ushbu obyektning $\hat{y}(t)$ chiqishiga ega bo'lgan model turini va ushbu modelning xatoni minimallashtirish $e = \|y(t) - \hat{y}(t)\|^2$ shartini qanoatlantiradigan ushbu model parametrlarini topish deb hisoblash mumkin.



1 – rasm. Dinamik obyektlarni identifikatsiyalash sxemasi.

Kirish xususiyati vektorlari ketma-ketligi $u(t)$, $t \in [0, T]$ va chiqish vektorlari ketma-ketligi $y(t)$, $t \in [0, T]$ berilgan bo'lsin, bu yerda T diskret hisoblar soni. Quyidagi ko'rinishdagi funktsiyani aniqlashda identifikatsiyalash masalasi yechimlari qaralsin:

$$\hat{y}(t) = f[y(t-1), \dots, y(t-n_y), u(t), u(t-1), \dots, u(t-n_u)], \quad (1)$$

bunda $\hat{y}(t)$ – model chiqishlari vektori, $n_y < T$, $n_u < T$.

Qaralayotgan identifikatsiya sxemasi ketma-ket-parallel deb ataladi, qachonki, har bir vaqt momentida model kirishiga obyektning kirish va chiqish signallarining ma'lum o'lchangan qiymatlari berilsa.

Natijalar va muhokama

Ushbu masala yechimini quyidagi ko'rinishda ham qarash mumkin:

$$\hat{y}(t) = f[\hat{y}(t-1), \dots, \hat{y}(t-n_y), u(t), u(t-1), \dots, u(t-n_u)],$$

bunda $\hat{y}(t) = y(0)$, $\hat{y}(t)$ – model chiqishlari vektori, $n_y < T$, $n_u < T$. Ushbu identifikatsiya sxemasi parallel deb ataladi, qachonki, har bir vaqt momentida obyekt kirish signalining o'lchangan qiymatlari modelning kirishiga va oldingi vaqt momentlarida o'lchangan qiymatlari modelning chiqishiga berilsa.

Vektor kvantlangan vaqtinchalik assotsiativ xotira (Vector quantized temporal associative memory-VQTAM) – bu dinamik tizimlarni identifikatsiyalash uchun qo'llanilishi mumkin bo'lgan Koxonenning o'zini tashkil etuvchi kartalari modifikatsiyasi hisoblanadi [12-15].

Ushbu tarmoqning kirish xususiyatlari vektori $u(t)$ ikki qismga bo'linadi: $x^{in}(t)$, $x^{out}(t)$.

Kirish funktsiyalarining birinchi qismi $x^{in}(t)$ dinamik obyektning kirishlari va uning oldingi chiqishlari haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Kirish xususiyati vektorining ikkinchi qismi $x^{out}(t)$ kirishlar $x^{in}(t)$ ga mos keladigan ushbu dinamik obyektning kutilayotgan chiqishi haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Vazn vektori xuddi shunday tarzda bo'linadi.

Shunday qilib, $x(t) = \begin{pmatrix} x^{in}(t) \\ x^{out}(t) \end{pmatrix}$ va $w_i(t) = \begin{pmatrix} w_i^{in}(t) \\ w_i^{out}(t) \end{pmatrix}$, bunda $w_i^{in}(t)$ i -neyronning vazn

vektori, $w_i(t)$ – jarayonning kirishlari haqidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olgan vazn vektorining qismi va $w_i^{out}(t)$ – jarayonning natijalari to'g'risidagi ma'lumotlarni o'z ichiga olgan vazn vektorining qismi.

O'zini o'qitish tarmog'iga (1) tenglamadagi F funktsiya approksimatsiyasi masalasini hal qilishga imkon beruvchi usul qaralsin. Bu usulning o'ziga xosligi shundaki, Koxonen tarmog'ining kirish vektori sifatida $x(t) = (x^{in}(t), x^{out}(t))^T$ vektor ishlatilsin, bunda:

$$x^{in}(t) = (y(t-1), \dots, y(t-n_y), u(t), u(t-1), \dots, u(t-n_u))^T, \\ x^{out}(t) = y(t), \quad (1)$$

ya'ni, F funktsiyasining kerakli qiymati tarmoq kirishiga beriladi. Shunday qilib, tarmoq uchun o'quv tanlovi misollar to'plamidan iborat $(x^{in}(t), x^{out}(t))$, $t = \overline{t_0, T}$, bunda $t_0 = \max(n_u, n_y) + 1$.

Koxonen qatlami i -neyronining sinaptik koeffitsientlar vektori $w_i(t) = (w_i^{in}(t), w_i^{out}(t))^T$, $i = \overline{1, N}$, orqali belgilansin, bunda $w_i^{in}(t) = (w_{i1}^{in}(t), \dots, w_{i n_y}^{in}(t))^T$ – $n = n_y + n_u + 1$ o'lchamdagi $x^{in}(t)$ kirishlardan sinaptik koeffitsiyentlar vektori, $w_i^{out}(t) = x_i^{out}(t)$

kirishdan sinaptik koeffitsiyent, N – qatlamdagi neyronlar soni. O‘zini o‘qitish jarayonida g‘olib-neyronni aniqlash uchun faqat $x_i^{in}(t)$ va $w_i^{in}(t)$ qiymatlari qo‘llaniladi:

$$i^*(t) = \arg \min_i \|x_i^{in}(t) - w_i^{in}(t)\|, \quad (2)$$

bunda $i^*(t)$ – t qadamdagi g‘olib-neyronlar raqami, $\|\cdot\|$ – qandaydir ko‘rsatkichlar, odatda evklid.

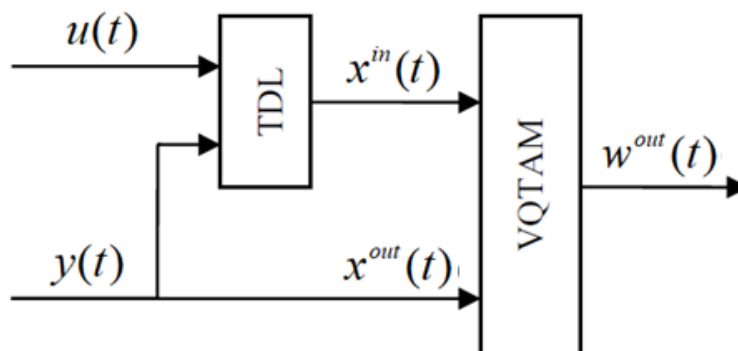
$w_i^{in}(t)$ va $w_i^{out}(t)$ qiymatlari o‘zini o‘zgartirish xaritalari uchun klassik algoritimga muvofiq o‘rnatiladi:

$$\Delta w_i(t) = \alpha(t) h(i^*, i, t) [x(t) - w_i(t)], \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

bunda $0 < \alpha(t) < 1$ – tarmoqni o‘rganish tezligi, h esa kartadagi qo‘shni i va i^* neyronlarning funksiyasi, i^* – g‘olib-neyron raqami. Masalan, Gauss funksiyasini qo‘shni $h(i^*, i, t)$ funksiya sifatida tanlash mumkin:

$$h(i^*, i, t) = \exp\left(-\frac{\|r_i(t) - r_{i^*}(t)\|^2}{2\sigma^2(t)}\right),$$

bunda $r_i(t)$ va $r_{i^*}(t)$ mos ravishda i va i^* neyronlarning kartadagi pozitsiyalar va $\sigma(t) > 0$ t – qadamda qo‘shnichilik funksiyasining radiusini aniqlaydi. G‘olib-neyron i^* ni tanlagandan so‘ng, bu neyronning chiqishi vektor $w_{i^*}^{out}(t)$ bilan aniqlanadi (2-rasm).



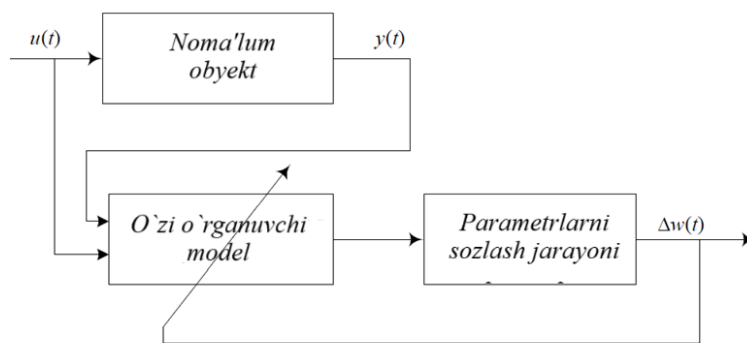
2-rasm. VQTAM o‘qitish sxemasi.

Ishlash rejimida vektor kvantlangan vaqtinchalik assotsiativ xotira kirishiga faqat $x^{in}(t)$ vektor beriladi, buning uchun g‘olib-neyron aniqlanadi va uning chiqishi $w_{i^*}^{out}(t)$ rangli bo‘ladi. $w_{i^*}^{out}(t)$ – vektorni obyekt jarayonining t vaqt momentidagi prognozli chiqishini $\hat{y}(t)$ deb talqin qilish mumkin. Chiqish signalini bir nechta $\hat{y}(t)$ ta eng mos neyronlar orasidagi o‘rtacha qiymat sifatida ham aniqlanadi.

Tarmoq o‘qitilgandan so‘ng, t vaqt momentidagi $\hat{y}(t)$ obyekt chiqishini baholash uchun undan foydalanish mumkin:

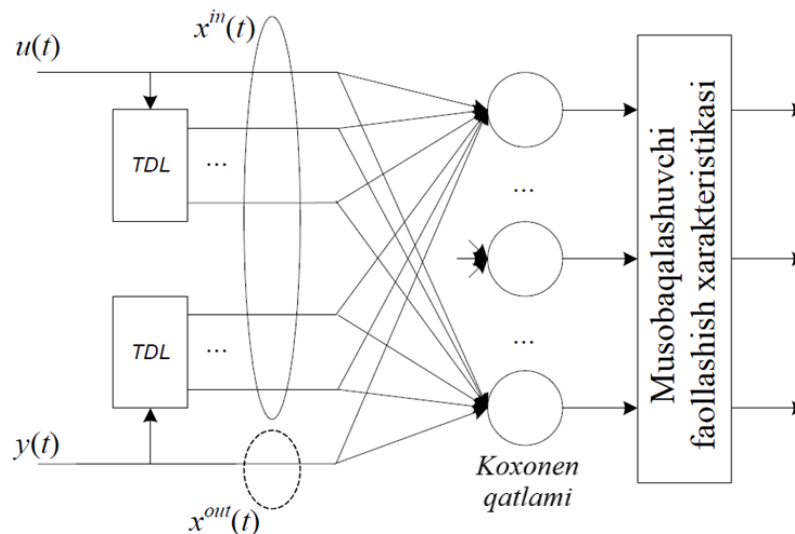
$$\hat{y}(t) = w_i^y(t), \quad i = \overline{1, T}.$$

Shunday qilib, o‘zini o‘rganadigan neyron tarmoqlardan foydalangan holda dinamik tizimlarni identifikatsiyalash masalasi, o‘qituvchi yordamida o‘qitilgan tarmoqlardan farqli o‘laroq, identifikatsiya xatolarini aniq hisoblamasdan, $x^{in}(t)$ va $x_i^{out}(t)$ vektorlari o‘rtasida assotsiativ bog‘lanishni o‘rnatishdan iborat bo‘lib, bu xatolikni minimallashtirishda F funksional bog‘liqligini (1) tenglashtirishni nazarda tutadi.



3-rasm. O'zi o'qituvchi modellar asosida identifikatsiyalash sxemasi.

Dinamik obyektlarni identifikatsiyalash uchun o'zi o'qituvchi tarmoqlarni qo'llash sxemasi 3-rasmda ko'rsatilgan, foydalaniladigan Kohonen tarmog'ining arxitekturasi 4-rasmda ko'rsatilgan.



4-rasm. Identifikatsiyalash uchun foydalaniladigan Koxonen tarmoq arxitekturasi (VQTAM yondashuvi).

Xulosa

Murakkabligi yuqori bo'lgan modulli neyron tarmoqlarning imkoniyatlarini o'rganish zarur. Shuningdek, prognoz xatosini kamaytirish uchun neyron tarmoqlar o'quv parametrlarini avtomatik tanlash algoritmini ishlab chiqish kerak bo'ladi. Ushbu maqolada dinamik obyektlarni identifikatsiyalash uchun muvaffaqiyatli ishlatilishi mumkin bo'lgan vektor kvantlangan xotira vaqtinchalik assotsiativ xotiraga asoslangan neyron tarmoq qarab chiqilgan.

Demak vektor kvantlangan vaqtinchalik assotsiativ xotira tarmog'ining parametrlarni o'qitish algoritmini quyidagicha yozish mumkin ekan:

vaznlar tasodifiy qiymatlar yoki o'quv parametrlarini tanlashdan olingan qiymatlar bilan initsializatsiyalanadi;

vektor tanlashlardan tarmoqqa taqdim etiladi va g'olib neyron (1) tenglama bo'yicha aniqlanadi;

vaznlar o'zgarishi (2) qoidaga muvofiq amalga oshiriladi;

tanlashlardagi har bir vektor uchun 2 va 3-qadamlar takrorlanadi;

2-4 qadamlar belgilangan davrlar soni o'tguncha yoki kerakli identifikatsiya aniqligiga erishilgunga qadar tanlashlar uchun bir necha marta takrorlanadi.

Shuni ham ta'kidlash joizki, ushbu algoritm chiqishi ham uzluksiz ham uzlukli funksiyalar yordamida tasvirlanishi mumkin bo'lgan obyektlarga nisbatan qo'llaniladi.

Adabiyotlar

- [1] Husan Z. Igamberdiyev, Azizbek N.Yusupbekov, Orıpcan O. Zaripov, Jasur U.Sevinov. Algorithms of adaptive identification of uncertain operated objects in dynamical models. 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception, ICSCCW 2017, 24-25 August 2017, Budapest, Hungary. Procedia Computer Science 120 (2017) 854–861 pp.
- [2] Zaripov O.O., Sevinov J.U., Shukurova O.P. Algorithms for identification of linear dynamic control objects based on the pseudo-concept concept. International Journal of Psychosocial Rehabilitation. Volume 24. Issue 3. 2020. 261-267 pp. DOI: [10.37200/IJPR/V24I3/PR200778](https://doi.org/10.37200/IJPR/V24I3/PR200778)
- [3] Shukurova O.P. Nochiziqli tizimlarni identifikatsiyalash va boshqarish. O'zbekiston agrar fani xabarnomasi. № 6 (18) 2024. 214-217 bet.
- [4]. Saraev P.V. Chislennyye metody intervalnogo analiza v obuchenii neyron-nykh setey [Numerical methods of interval analysis in learning neural network]. Autom. Remote Control, 2012, no. 11, pp. 129-143.
- [5]. Gabitov R.F. Mnogomernoe modelno-prediktornoe upravlenie prokalkoy katalizatorov krekinga, osnovannoe na algoritme s intervalnoy neopredelennostyu [Multivariate model-predictive control calcination cracking catalysts based on an algorithm with interval uncertainty]: abstract thesis of the candidate of technical sciences. Ufa, 2012. 19 pp.
- [6]. Zaripov O.O., Sevinov J.U., Shukurova O.P. Algorithms for recurrent identification of control objects by means of multiple models and adaptation of parameters. International Journal of Advanced Research In Science, Engineering And Technology. Vol. 6, Issue 3, Mar 2019. pp. 8479-8483.
- [7]. Shumikhin A.G., Boyarshinova A.S., Orekhov M.S. Primenenie neyro- setevykh modeley pri avtomatizirovannom upravlenii slozhnyimi khimiko- tekhnologicheskimi sistemami. Polzunovskiy vest- nik, 2012, no. 3/2, pp. 9-12.
- [8] Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002.
- [9] Sevinov, J.U., Boborayimov, O.K., Bobomurodov, N.H. (2024). Algorithms for Synthesis of Adaptive Neural Network Control Systems Based on the Velocity Gradient Method. In: Aliev, R.A., Kacprzyk, J., Pedrycz, W., Jamshidi, M., Babanli, M., Sadikoglu, F.M. (eds) 16th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools – ICAFS-2023. ICAFS 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1141. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76283-3_34
- [10]. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991.
- [11] Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. – Т.: ТашГТУ, 2014. - 160 с. (Igamberdiev H.Z., Sevinov Zh.U., Zaripov O.O. (2014). Reguljarnye metody i algoritmy sinteza adaptivnyh sistem upravleniya s nastraivaemymi modeljami. – T.: TashGTU, – 160 s. (in. Russian)).
- [12] T. Koskela. Neural network methods in analyzing and modeling time varying processes. Espoo. (2003), pp. 1-72.
- [13] Shukurova, O.P. (2025). Intellektual neyron tarmoqlar matematik modelini qurish algoritmi. Innovatsion texnologiyalar. Ilmiy-texnik jurnal. 2025/4(60). 103-108.
- [14] Yusupbekov, A.N., Sevinov, J.U., Mamirov, U.F., Botirov, T.V. (2021). Synthesis Algorithms for Neural Network Regulator of Dynamic System Control. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1306. pp. 723–730. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64058-3_90.
- [15] Shukurova, O.P., Bekmurodov A.X., Baratov A.K. (2022). Tabiiy gazni absorbsiyali quritish texnologik jarayonnini modellashtirish va boshqarish. Innovatsion texnologiyalar. Ilmiy-texnik jurnal – QMII. Maxsus son. 57-61.

UO‘K: 21474

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.12>

QARSHI SHAHRIDA JAMOAT TRANSPORTINI RIVOJLANTIRISH

Abduraxmonov Urol Nurmatovich- texnika fanlari nomzodi, professor v.b.

E-mail: u.abdurahmonov64@mail.ru, ORCID: 0009-0000-8994-9156, Science ID: FQD-0626-0051

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada Qarshi shahri aholisi sonining o‘sishi, hududining kengayishi, yangi turar-joy massivlarining barpo etilishi, urbanizatsiya jarayonlari tezlashayotgani, shaharga tutash hududlarda aholi harakati keskin ko‘paygani va sanoat, ijtimoiy va xizmat ko‘rsatish sohalarining rivojlanishi shahar transport infratuzilmasiga tushayotgan yuklamani sezilarli darajada orttirganligi haqidagi o‘rganish natijalari keltirilgan. Shuningdek, Qarshi shahri rivojlanishida jamoat transportining roli, uning ilmiy asosda tashkil etilishi- shaxsiy avtomobillardan foydalanish va tirbandliklarni kamaytirishi, atmosfera havosi ifloslanishini pasaytirishi, iqtisodiy samaradorlikni oshirishi va ijtimoiy tenglikni ta‘minlashga ham xizmat qilishi keltirilgan. Qarshi shahrida jamoat transporti tizimini to‘g‘ri rejalashtirish va yo‘nalishlarni optimallashtirish, yo‘nalishlar tarmog‘ini ilmiy asosda shakllantirish va tashkil etish yo‘llari bayon etilgan. Olingan natijalar asosida jamoat transporti yo‘nalishlarini optimallashtirish va zamonaviy jamoat transportini rivojlantirish bo‘yicha tavsiyalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: transport, jamoat transporti, transport yo‘nalishlari, transport oqimi, yo‘lovchilar oqimi, tirbandlik, harakat xavfsizligi, transport infratuzilmasi, ekologik toza jamoat transporti xizmati, brutto shartnomasi.

УДК: 21474

РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ КАРШИ

Абдурахмонов Урол Нурматович – кандидат технических наук, и.о.профессора

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования роста населения города Карши, расширения его территории, строительства новых жилых районов, ускорения процессов урбанизации, резкого увеличения миграции населения в пригородных районах, а также развития промышленного, социального и сервисного секторов, что значительно повысило нагрузку на транспортную инфраструктуру города. В нем также подчеркивается роль общественного транспорта в развитии города Карши и то, как его грамотная организация сокращает использование личных автомобилей и пробки, уменьшает загрязнение воздуха, повышает экономическую эффективность, а также способствует обеспечению социального равенства. В статье описываются способы правильного планирования системы общественного транспорта в городе Карши, оптимизации маршрутов, а также научного формирования и организации сети маршрутов. На основе полученных результатов даются рекомендации по оптимизации маршрутов общественного транспорта и развитию современной системы общественного транспорта.

Ключевые слова: транспорт, общественный транспорт, транспортные маршруты, транспортный поток, пассажиропоток, транспортные заторы, безопасность дорожного движения, транспортная инфраструктура, экологически чистый общественный транспорт, договор brutto.

UDC: 21474

DEVELOPMENT OF PUBLIC TRANSPORT IN THE CITY OF KARSHI

Urol Abdurakhmonov, candidate of technical sciences, acting professor

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This article presents the results of a study on the population growth of the city of Karshi, the expansion of its territory, the construction of new residential areas, the acceleration of urbanization processes, a sharp increase in population migration in suburban areas, as well as the development of the industrial, social and service sectors, which has significantly increased the load on the city's transport infrastructure. It also highlights the role of public transport in the development of the city of Karshi and how its proper organization reduces the use of private cars and traffic jams, reduces air pollution, improves economic efficiency, and promotes social equality. This article describes methods for properly planning the public transportation system in Karshi, optimizing routes, and scientifically designing and organizing the route network. Based on the findings, recommendations are provided for optimizing public transportation routes and developing a modern public transportation system.*

Key words: *transport, public transport, transport routes, traffic flow, passenger flow, traffic congestion, road safety, transport infrastructure, environmentally friendly public transport, gross contract.*

Kirish

So‘nggi yillarda yurtimizda aholiga qulay, xavfsiz va ekologik toza jamoat transporti xizmatini ko‘rsatish, jamoat transporti tizimini rivojlantirish hamda yo‘nalishlar tarmog‘ini kengaytirish bo‘yicha tizimli islohotlar amalga oshirilmoqda. Shu bilan bir qatorda, harakat tarkibini ekologik talablarga javob beradigan zamonaviy avtobuslar bilan yangilashga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Qarshi shahri Qashqadaryo viloyatining ma‘muriy va hududiy markazi hisoblanadi. Qarshi shahri aholisi sonining o‘sishi, hududining kengayishi, yangi turar-joy massivlarining barpo etilishi, urbanizatsiya jarayonlari tezlashayotgani, shaharga tutash hududlarda aholi harakati keskin ko‘paygani va sanoat, ijtimoiy va xizmat ko‘rsatish sohaslarining rivojlanishi shahar transport infratuzilmasiga tushayotgan yuklamani sezilarli darajada orttirdi. Shu munasabatdan, Qarshi shahrida jamoat transporti tizimini samarali tashkil etish, yo‘nalishlarni optimallashtirish va aholining transport xizmatiga bo‘lgan ehtiyojlarini to‘liq qondirish dolzarb muammolardan hisoblanadi. Qarshi shahri rivojlanishida jamoat transportining roli katta ahamiyat kasb etadi, u nafaqat aholi harakatini ta‘minlaydi, balki avtomobillardan foydalanishni va tirbandliklarni kamaytiradi, atmosfera havosi ifloslanishini pasaytiradi, iqtisodiy samaradorlikni oshiradi va ijtimoiy tenglikni ta‘minlashga ham xizmat qiladi. Jamoat transporti tizimini to‘g‘ri rejalashtirish va yo‘nalishlar tarmog‘ini ilmiy asosda shakllantirish va tashkil etish orqali yo‘lovchi transport tizimining samaradorligini oshirish hamda aholining transport xizmatiga bo‘lgan ehtiyojini to‘liq qondirish mumkin [3,4].

Qarshi shahrida mavjud jamoat transportida qatnovlarning barqaror emasligi, harakat xavfsizligi va xizmat sifati talablariga to‘liq rioya qilinmasligi, yo‘lkira tariflarining yetarlicha differensiallashmaganligi, jamoat transportiga ustuvorlik berish mexanizmlarining yetarli darajada joriy etilmaganligi, yo‘nalishlarning takrorlanishi, ayrim hududlarning yetarli darajada qamrab olinmaganligi, qatnov intervalining noaniqligi va transport vositalarining notekis taqsimlanishi kabi muammolar ushbu sohaning jozibadorligiga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi va bugungi zamonaviy talab va ehtiyojlarga to‘liq javob bermaydi. Bu esa aholining vaqt yo‘qotishiga, iqtisodiy samaradorlikning pasayishiga va yo‘lovchi transport tizimiga bo‘lgan ishonchning pasayishiga sabab bo‘ladi. Yo‘lovchi tashishdagi ilmiy-tadqiqot ishlari jamoat transporti yo‘nalishlarini takomillashtirishda raqamli texnologiyalar, geoaxborot tizimlar (GAT), sun‘iy intellekt asosidagi modellashtirish va katta ma‘lumotlar (big data) tahlilidan keng foydalanishga qaratilgan. Bunday zamonaviy ilmiy-texnik yondashuvlar transport oqimlarini real vaqt rejimida kuzatish, yo‘lovchilar talabini aniqlash va optimal yo‘nalishlarni ishlab chiqish imkonini beradi.

Qarshi shahrida jamoat transporti rivojlantirishning asosiy omillaridan biri mavjud yo‘nalishlarni takomillashtirish hisoblanadi. Bu masalasini o‘rganishda shaharning geografik tuzilishi, aholining joylashuvi, sanoat, ijtimoiy va xizmat ko‘rsatish obyektlarning joylashuvi o‘rganib chiqilishi va tahlil qilinishi lozim. Chunki jamoat transporti yo‘nalishlari ushbu obyektlarga bog‘liq holda shakllanadi. Shu bilan birga, yo‘lovchilar oqimini o‘rganish, ularning harakatlanish

odatlarini va ehtiyojlarini aniqlash ham muhim ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, jamoat transporti tizimini rivojlantirishda atrof-muhit havosining ifloslanish darajasi ham asosiy muammolardan biriga aylandi. Ko'pgina yirik shaharlarda ekologik toza transport vositalariga o'tilmoqda, bunda elektravtobuslar, gaz yoqilg'isida ishlovchi transport vositalari va velosiped infratuzilmasini rivojlantirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Qarshi shahri transport tizimini shakllantirishda atrof-muhit havosining ifloslanish darajasi muhim omillardan biri hisoblanadi. Shu bilan bir qatorda, jamoat transporti tizimini takomillashtirish boshqaruv va tashkiliy jihatlarni ham o'z ichiga oladi. Jamoat transport tizimini samarali boshqarish uchun aniq ustivor yo'nalish, me'yoriy-huquqiy hujjatlar va optimal boshqaruv-hamkorlik mexanizmlari zarur bo'ladi. So'nggi yillardagi me'yoriy hujjatlarda va ilmiy-tadqiqot ishlarida davlat-xususiy sheriklik asosida transport tizimini rivojlantirish, transport xizmatini ko'rsatish sifatini oshirish va investitsiyalarni jalb etish samarali vosita sifatida belgilanmoqda [2, 3, 4].

Yuqoridagilardan kelib chiqib, Qarshi shahri ko'chalarida jamoat transportini rivojlantirishda mahalliy sharoitlarni hisobga olgan holda zamonaviy ilmiy-texnik yondashuvlar va innovatsion texnologiyalar muhim ahamiyat kasb etadi.

Materiallar va uslublar

So'nggi yillarda aholiga sifatli jamoat transporti tizimlarini takomillashtirishga qaratilgan ilmiy ishlar transport sohasi muhandislari ilmiy tadqiqotlarining markaziy mavzularidan biriga aylandi. Shahar aholisi sonining o'sishi, hududining kengayishi, urbanizatsiya jarayonlarining tezlashuvi, shaharga tutash hududlarda aholi harakati keskin ko'payishi jamoat transporti yo'nalishlarini maqbullashtirish, tashish samaradorligini oshirish va tashuvlarni yo'lovchilar ehtiyojlariga moslashtirish kerakligini ko'rsatmoqda. Ilmiy adabiyotlarda jamoat transporti yo'nalishlarini shakllantirishda matematik modellashtrish usullari yordamida yo'nalishlar sonini, ularning masofasini va qatnov chastotasini optimal darajada belgilash mumkinligi asoslab berilgan. So'nggi ilmiy tadqiqotlarda jamoat transporti tizimlarini takomillashtirishda katta ma'lumotlar (big data) va sun'iy intellekt texnologiyalarining roli alohida e'tirof etilgan. Ilmiy adabiyotlarda GAT jamoat transporti tizimlarini tahlil qilish va rejalashtirishda muhim vosita sifatida ko'rib chiqiladi [6, 8].

Jamoat transporti tizimlarining samaradorligini baholash masalasi ham ilmiy adabiyotlarda keng yoritilmoqda. Ilmiy tadqiqotlar jamoat transportini rivojlantirish orqali shaxsiy avtomobillardan foydalanishni kamaytirish ekologik muammolarni hal etish masalalari ham keng yoritilmoqda [7].

Ilmiy adabiyotlarda jamoat transporti tizimlarini boshqarish va moliyalashtirish masalalari ham keng o'rganilmoqda.

Olib borilgan tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, jamoat transporti tizimini tashkil etish va yo'nalishlarni takomillashtirish masalalari bir qator mahalliy hamda xorijiy olimlar tomonidan o'rganilgan. Shu jumladan, yo'lovchi tashishni tashkil etish, transport oqimlarini boshqarish, shahar ko'cha-yo'l tarmog'ining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish, jamoat transporti harakati xavfsizligini ta'minlash va qatnov samaradorligini oshirish bo'yicha Q.X.Azizov, R.A. Abduraxmanov, B.A. Axmedov, U. Nurullayev, X.B. Ataxonov, E.Z. Fayzullayev, M. Tuxtabayev, N.J. Jo'rayev hamda boshqa tadqiqotchilar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

Mazkur tadqiqotlarda asosan shahar transport tizimini rivojlantirish, yo'nalishlar tarmog'ini optimallashtirish, avtobuslar harakat intervalini me'yorlashtirish, transport oqimlarini modellashtrish va aholining transport xizmatlariga bo'lgan talabini aniqlash masalalariga alohida e'tibor qaratilgan. Shuningdek, jamoat transporti faoliyatining iqtisodiy samaradorligi, yo'lovchilar oqimini bashorat qilish hamda zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanish orqali transport tizimini boshqarish masalalari ham tadqiq etilgan [6, 8, 9].

Jumladan, E.Z. Fayzullayev tomonidan jamoat transportini matematik modellashtrish, yo'nalishlarni optimallashtirish va GAT ni joriy etish bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilgan [7].

M. Tuxtabayev tomonidan olib borilgan ilmiy izlanishlar jamoat transporti harakatini raqamlashtirish, yo'lovchilar oqimini aniqlash va qatnov marshrutlarini xaritalashtirishda geoinformatsion texnologiyalarni qo'llash masalalariga qaratilgan [5].

Xorijlik olimlar И.В.Спирин, В.Я.Липенков, Ю.А.Кременец, В.В. Сильянов, В.А.Гудков, V.R.Vuchic, J.P.Rodrigue, A.Ceder, J.Black, J.Ortuzar tomonidan olib borilgan ilmiy ishlarda shahar jamoat transportini tashkil etish va optimallashtirish masalalariga e'tibor qaratilgan. Shuningdek, shahar jamoat transportini raqamlashtirish, "aqlii transport tizimlari"ni joriy etish, ekologik xavfsiz transport vositalaridan foydalanish hamda transport-logistika infratuzilmasini kompleks rivojlantirish masalalari keng yoritilgan [12-19].

Jumladan, И.В.Спирин tomonidan shahar va tumanlararo transport tizimlarini tashkil etish, optimallashtirish va boshqarishga qaratilgan shahar aholisining harakatlanish ehtiyojlarini o'rganish va yo'nalishlar tarmog'ini shakllantirish metodologiyasi ishlab chiqilgan [11].

Massachusetts texnologiya instituti (MIT) JTL-Transit Lab tadqiqotchilari *Jinhua Zhao, Haris Koutsopoulos* jamoat transportiga bo'lgan talabni boshqarish va yo'lovchilar tanlovini o'rganishgan. Ular katta ma'lumotlar (Big Data) va sun'iy intellekt orqali aholining qanday transport turini tanlashini tahlil qilishgan.

Cascetta va Mataslar jamoat transportini rivojlantirishning shahar iqtisodiyoti va atrof-muhitga ta'sirini baholashgan. Ular arzon va o'z vaqtida harakatlanadigan tizimlar xususiy avtomobillarga qaramlikni qanday kamaytirishi bo'yicha ekonometrik modellar yaratishgan.

Ammo olib borilgan tadqiqotlarning aksariyatida ko'cha-yo'l tarmog'ining o'ziga xos xususiyatlari, aholining hududlar bo'yicha transportga bo'lgan real talabi, yangi qurilayotgan turar joy massivlari va transport oqimlarining o'zgaruvchanligi yetarlicha tizimli tahlil qilinmagan. Shuningdek, mavjud jamoat transporti yo'nalishlarining amaldagi holati, bekatlar joylashuvi, qatnov muntazamligi hamda tirbandliklarning yo'nalishlar samaradorligiga ta'siri kompleks ravishda baholanmagan.

Yuqoridagi ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, jamoat transporti yo'nalishlarini takomillashtirish masalasi ko'p qirrali bo'lib, u texnik, iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy omillarni o'z ichiga oladi. Zamonaviy yondashuvlar ushbu omillarni kompleks ravishda hisobga olishni, innovatsion texnologiyalardan foydalanishni va yo'lovchi ehtiyojlarini markazga qo'yishni talab etadi. Shu asosda, Qarshi shahri sharoitida jamoat transporti tizimini takomillashtirish uchun ilg'or ilmiy tajribalardan foydalanish, ularni mahalliy sharoitlarga moslashtirish va amaliyotga joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi [9].

Tadqiqot ishida metodologik asos sifatida tizimli tahlil, kuzatuv usuli, transport oqimlarini o'rganish, yo'lovchilar oqimini aniqlash hamda mavjud va taklif etilayotgan yo'nalishlarni taqqoslash usullaridan foydalanildi. Shuningdek, Qarshi shahri jamoat transporti tizimining amaldagi holatini baholashda dala kuzatuvlari, so'rovnoma natijalari va transport harakati ko'rsatkichlari asosida tahlillar olib borildi. Shuningdek, tadqiqot davomida jamoat transporti yo'nalishlarini takomillashtirish bo'yicha amaliy taklif va tavsiyalar ishlab chiqildi.

Natijalar va muhokama

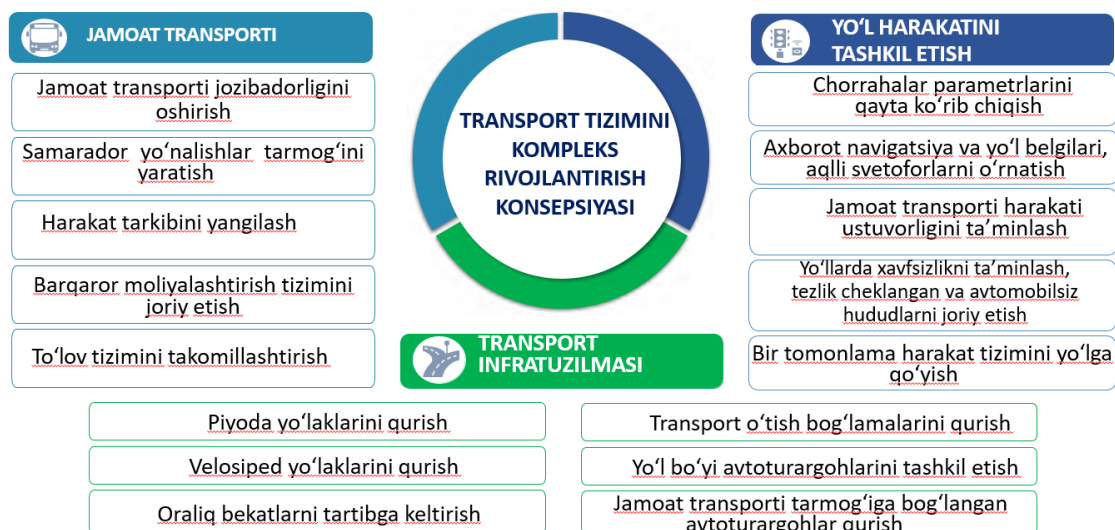
O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi "Jamoat transporti tizimini isloh qilish chora-tadbirlari to'g'risida" gi PQ-59-sonli qarorining 6-ilovasi Qarshi shahrida jamoat transporti tizimini rivojlantirishga oid "yo'l xaritasi" da qator chora-tadbirlar va vazifalar belgilab o'tilgan [1]. Unga muvofiq Toshkent transport universiteti va Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti (hozirgi Qarshi davlat texnika universiteti) professor-o'qituvchilari va talabalari tomonidan Qarshi shahrining transport va yo'l-transport infratuzilmasini rivojlantirish Bosh rejasini ishlab chiqildi.

Qarshi shahrining transport va yo'l-transporti infratuzilmasini rivojlantirish Bosh rejasini ishlab chiqish maqsadida dastlab shaharning demografik, geografik, ijtimoiy va iqtisodiy ma'lumotlari bazasi shakllantirildi.

Shuningdek, shaharga kiruvchi va chiquvchi transport vositalari oqimi va transport intensivligini hamda yo'lovchilar oqimi aniqlandi hamda Qarshi shahri markaziy ko'chalari kesishmalarida yo'l harakatining xususiyatlari, chorrahalarda o'rnatilgan svetoforlar fazalari simulyatsiyasi o'rganildi, shahar transport harakati samaradorligiga ta'sir qiluvchi muammoli hududlar aniqlab olindi. Qarshi shahar transport tizimidagi mavjud muammolar, aholi mobilligini

oshirish uchun jamoat transport tizimini yaratishning ustuvor yo‘nalishlari, shahar Bosh rejasini ishlab chiqish tuzilmasi, Qarshi shahar jamoat transport tizimini rivojlantirish modeli ishlab chiqildi (1-rasm).

TRANSPORT TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH CHORALARI



1-rasm. Qarshi shahar jamoat transport tizimini rivojlantirish modeli.

Qarshi shahri jamoat transportini rivojlantirish doirasida joriy holatdagi marshrut yo‘nalishlari “PASSIM” va “GEOTRACKER” elektron dasturlari yordamida qayta ishlandi va ularning yo‘lovchi tashish quvvati aniqlandi (1-jadval).

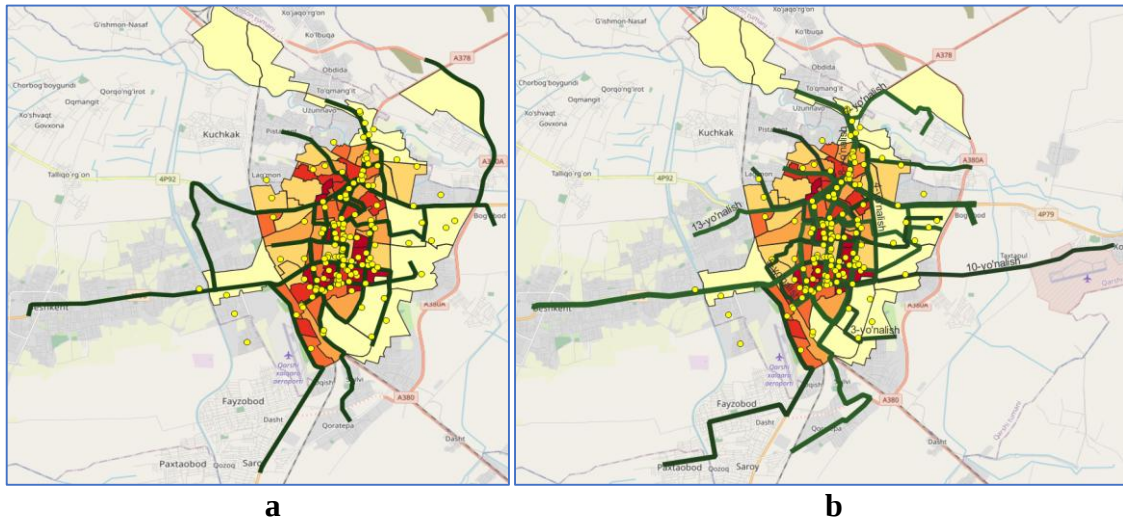
1-jadval. Qarshi shahrida mavjud yo‘nalishlarda yo‘lovchi tashish quvvati

Yo‘nalish raqami	Yo‘nalish nomi	Yo‘lovchi tashish quvvati
1	To‘qmang‘it shohbekati -Temir yo‘l shohbekati	13957
2	Beshkent avtostansiyasi - Qarshi davlat universiteti	7648
4	Saroy M.F.Y. – Yerqo‘rg‘on bozori	7584
6	Temir yo‘l shohbekati – Bog‘obod mahallasi	9378
7	Kamandi - Bolalar shifoxonasi	5110
12	Paxtazor mittitumani – Yerqo‘rg‘on bozori	7680
13	Aralovul mahalla -Arabxona	8445
16	Xontepa M.F.Y. - Bolalar shifoxonasi	3276
20	Qoratepe M.F.Y. -Pistakent qishlog‘i	3300
21	Botosh M.F.Y. - Yerqo‘rg‘on bozori	6006
22	Yerqo‘rg‘on bozori – Sanoat zonasi	-
Jami:		72384

Aholiga xavfsiz, qulay va tezkor jamoat transporti tizimini yaratish maqsadida dala tadqiqotlarida olingan ma'lumotlar tahlili natijalari asosida aholi zichligini hisobga olgan holda mavjud yo‘nalishlar takomillashtirildi. Yo‘lovchilarga xizmat ko‘rsatish quvvati oshirildi hamda

yangidan barpo etilgan aholi punktlari va shaharga yondosh hududlarni hisobga olgan holda yangi jamoat transporti yo'nalishlari ishlab chiqildi.

Qarshi shahrida 7 ta yangi: 5 - “Sanoat zonasi - Parg‘uza”, 8 - “Qarshi Sity - Yangi O‘zbekiston massivi”, 9 - “Kamandi - Xudoyzod”, 15 - “Qarshi temir yo‘l logistika markazi - Orzu bozori”, 16 - “Ona bola markazi - 22 - maktab”, 18 - “Yangibog‘ - Yangibozor”, 19 - “Jayxun - Kamandi temir yo‘l posti” avtobus yo'nalishlari shakllantirildi (2-rasm).



2-rasm. Qarshi shahrining joriy holatdagi (a) va taklif etilayotgan (b) jamoat transporti yo'nalishlari xaritasi.

Takomillashtirilgan va yangidan ishlab chiqilgan (taklif etilayotgan) avtobus yo'nalishlari hududlardagi aholi zichligini hisobga olgan holda loyihalanib barcha ijtimoiy va xizmat ko'rsatish obyektlarini qamrab oladi.

Qarshi shahri markaziy ko'chalaridagi yirik va muammoli chorrahalar o'tkazuvchanlik qobiliyatini yaxshilash maqsadida chorrahalaridagi yo'l harakatining xususiyatlari, svetoforlarning ishlash rejimi va fazalarining simulyatsiyasi, chorrahadagi tirbandliklar va atmosferaga chiqadigan chiqindi gazlar miqdorini kamaytirish usullari o'rganildi. Chorrahalaridagi transport va yo'lovchi oqimlarining joriy holati va yo'l harakatining xususiyatlari “PTV Vissim” dasturida hisoblandi va chorrahaning xizmat ko'rsatish darajasi natijalari baholandi.

Qarshi shahrining Islom Karimov va Nasaf ko'chalari kesishmalaridagi “Umida” va “Eski bozor” chorrahalar, Islom Karimov va Xonobod, Mustaqillik, Bunyodkor, Amir Temur, Nasaf ko'chalari kesishmalaridagi chorrahalar, Mustaqillik va Nasaf, Alisher Navoiy shohko'chalari kesishmalaridagi chorrahalar, A.Temur, Nasaf va Jayxun ko'chalari kesishmasidagi yirik va muammoli chorrahalar tadqiqot ishlari amalga oshirildi va alohida yechimlarga ega bo'lindi.

Jumladan, Islom Karimov va Nasaf ko'chalari kesishmasidagi “Umida” chorrahasi kunning tig'iz vaqtlari soat 07³⁰ dan 08³⁰ gacha harakatlanayotgan avtomobillar soni dala sinov tadqiqotlariga ko'ra 4994 tani tashkil etdi. Ushbu chorrahadagi svetoforlar ishlash rejimi umumiy 4 fazada ishlashida o'tkazuvchanlik qobiliyati yaxshilandi. Chorrahada bitta yo'nalishdan chapga buriluvchi avtomobillar to'g'riga harakatlanayotgan transport oqimini to'sib qolmasligi uchun ushbu yo'nalishda chorrahaga yaqinlashuvchi yo'laklar soni ko'paytiriladi. Chorrahadan chiqib ketuvchi yo'nalishlarga oqim bir vaqtda yo'nalmagani bois ushbu yo'laklarni kamaytirish evaziga chorrahadan o'tayotgan avtomobillar soni 10% ga oshadi va o'tkazuvchanlik qobiliyati 5493 taga yetadi.

Shuningdek, Islom Karimov va Xonobod ko'chalari kesishmasi (tutashmasi) da dala sinov tadqiqotlariga ko'ra Xonobod ko'chasi yo'lining eni 30 metrni tashkil etadi, yo'lining har ikkala harakatlanish tomonlarida transport vositalari harakatlanuvchi yo'laklari soni 4 tani tashkil etadi. Islom Karimov shoh ko'chasida esa yo'lining eni 25,3 metrni tashkil etib, yo'lining har ikkala harakatlanish tomonlarida transport vositalari harakatlanuvchi yo'laklari soni 3/4 tani tashkil etadi.

Kuzatishlar va hisob-kitoblarni natijasi shuni ko'rsadiki, ushbu chorrahada Islom Karimov ko'chasi asosiy ko'cha bo'lib, harakatlanayotgan avtomobillar soni Xonobod ko'chasi bo'ylab harakatlanuvchi avtomobillar sonidan sezilarli darajada ko'p. Chorrahadagi asosiy muammolar:

- avtomobillar chiqindi va to'la yonmagan gazlaridan shahar atmosfera havosining ifloslanishi;
- bir soat oralig'ida chorrahaga kirib kelgan 4273 ta transport vositalarida harakatlanayotgan 8118 taga yaqin insonlarning chorraha qizil chiroqlarida kutib turish natijasida yo'qotilgan vaqti;
- samarasiz yo'qotilayotgan yonilg'i sarfi, harakatlanayotgan yo'lovchilarning har bir chorrahada yuqoridagilar kabi yo'qotishlari, atrof muhitga chiqayotgan chiqindilar natijasidagi ekologik muammolar va tirbandliklarning yuzaga kelishi.

Joriy holatda Islom Karimov ko'chasida chorrahaga kirishda svetofordagi yashil chiroq 25 sekund, sariq chiroq 3 sekund va qizil chiroq 27 sekund yonishi aniqlandi. Har ikkala fazalar bir xil taktlar asosida ishlashi aniqlandi.

Chorrahaning joriy holatini "PTV Vissim" elektron dasturida hisoblaganda chorrahaning xizmat ko'rsatish darajasi quyidagicha baholandi. 1 soat davomida 4273 ta transport vositasi chorrahada harakatlangan va xizmat ko'rsatish darajasi D ekanligini ko'rsatgan. Shu chorrahada transport vositalari harakatlanishi natijasida atmosfera chiqadigan CO (uglerod oksidi) gaz miqdori 10931 g/soat ni, NO_x azod oksidi gaz miqdori 2126,775 g/soat ni, yengil uchuvchan organik gazlar 2533,36 g/soat ni tashkil qiladi. Shuningdek, tirbandlikning o'rtacha uzunligi 26,23 metr, o'rtacha transport ushlanib qolishi vaqti 50,6 sekund, tirbandlikning maksimal uzunligi 250,13 metr, o'rtacha to'xtashlar soni 2,72 ekanligini ko'rsatdi (2-jadval).

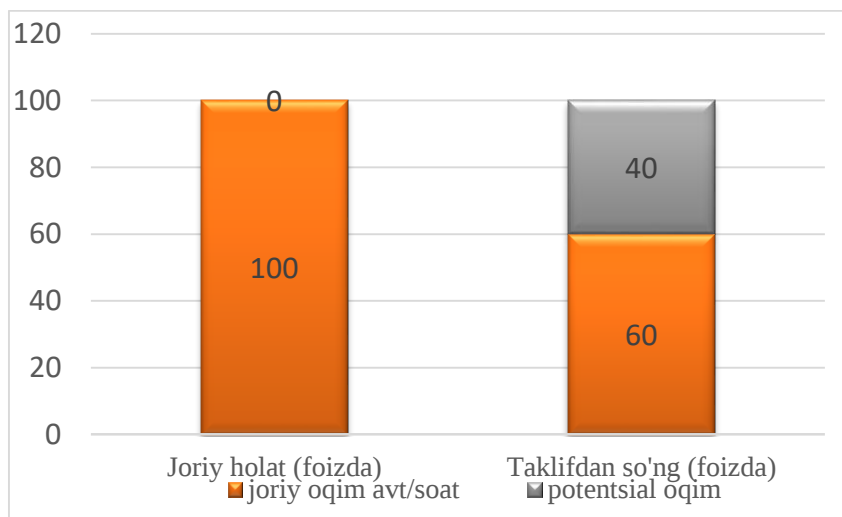
Islom Karimov ko'chasida yashil signal davomiyligi 31 sekund, qizil signal davomiyligi 18 sekund, sariq signal davomiyligi 3 sekundni taklif ko'rsatkichi qilib belgilandi. Xonobod ko'chasida yashil signal davomiyligi 18 sekund, qizil signal davomiyligi 31 sekund, sariq signal davomiyligi 3 sekundni tashkil qildi. Taklif etilgan holat ko'rsatkichlariga ko'ra chorrahaning xizmat ko'rsatish darajasi D dan C ga yaxshilandi.

2-jadval. Islom Karimov va Xonobod ko'chalari kesishmasi (tutashmasi) da chorrahasining joriy va taklif holatlari ko'rsatkichlari

T/r	Ko'rsatkichlar	O'lchov birligi	Joriy holati	Taklif holat
1	Xizmat ko'rsatish darajasi (LOS)		D	C
2	O'rtacha transport ushlanib qolishi	sekund	50,6	26,28
3	Tirbandlikning o'rtacha uzunligi	minut	26,23	16,96
4	Tirbandlikning maksimal uzunligi	minut	250	169
5	O'rtacha to'xtashlar soni		2,72	0,76
6	Transport vositalar soni	dona	4273	4740
7	CO (uglerod oksidi)	gramm /soat	10931	6106
8	NO _x (azod oksidi)	gramm /soat	2126,775	188,05
9	VOC (yengil uchuvchan organik gazlar)	gramm /soat	2533,36	1415,18
10	Yonilg'i sarfi	litrlar	156,4	87,357

1 soatda chorrahada harakatlangan transport vositalari 4273 tani tashkil etadi. Avtomobillar 1 soatda 40% ga tezroq chorrahadan o'tadi. 1 soatda chorrahadan yana 1709 ta avtomobil o'tishi imkoniyati yaratiladi. Chorrahada o'tkazuvchanlik qobiliyati soatiga 5982 tani tashkil etadi (3-rasm).

Qarshi shahrida yo'lovchi tashish tizimi "Brutto shartnomasi" asosida tashkil etilganligi hisobiga ushbu shaharlarda jamoat transportida xizmat ko'rsatish sifati yaxshilanib, avtobus parklari xorijda ishlab chiqarilgan barcha qulayliklarga ega zamonaviy avtobuslar bilan ta'minlanganligi hisobiga aholiga yo'lovchi tashish sifati va samaradorligi ortdi.



3-rasm. Islom Karimov va Xonobod ko'chalari chorrahasida potensial oqimning nazariy tahlili.

Natijada Qarshi shahrida brutto-shartnoma tizimi asosida xizmat ko'rsatayotgan avtobus yo'nalishlari soni 11 taga, ushbu yo'nalishlarda harakatlanayotgan avtobuslar soni esa 125 taga yetdi.

Brutto tizimi Qarshi shahrida joriy etilgandan so'ng, yo'nalishlarda yo'lovchi tashish sifati yaxshilanib, oraliq interval vaqtlari qisqardi, bekatlarda turib qolish holatlarining oldi olinishi va boshlang'ich bekatdan oxirgi bekatga avtobuslarning o'z vaqtida yetib borishiga, harakat jadvalining uzaytirilishiga erishildi hamda yo'l kira haqlarini to'lashda avtomatlashtirilgan to'lov tizimi (ATTO) va boshqa to'lov kartalari orqali to'lash ishlari amalga oshiriladi. Bu esa yo'lovchilarga qulaylik yaratish bilan birga avtobuslarning yo'nalishlarda bir maromda harakatlanishiga imkon yaratadi.

Xulosa va takliflar

1. Qarshi shahri aholisi sonining o'sishi, hududining kengayishi, yangi turar-joy massivlarining barpo etilishi, urbanizatsiya jarayonlari tezlashayotgani, shaharga tutash hududlarda aholi harakati keskin ko'paygani va xizmat ko'rsatish sohalarining rivojlanishi shahar transport infratuzilmasiga tushayotgan yuklamani sezilarli darajada ortishi Qarshi shahrida jamoat transporti yo'nalishlarini takomillashtirish va yangi yo'nalishlarni ishlab chiqishni taqozo etadi.

2. Aholiga jamoat transporti tizimini tashkil etishda yangi turar-joy massivlarini va shaharga yondosh hududlarni qamrab olish zarur.

3. Mavjud transport tizimida qator muammolar-yo'nalishlarning takrorlanishi, hududlar bo'yicha nomutanosib qamrov, transport vositalarining notekis taqsimlanishi va boshqaruv tizimidagi kamchiliklar bilan tavsiflanadi. Yo'nalishlarning bir-birini takrorlashi, markaziy ko'chalarda transport bosimining ortib ketishi hamda chekka hududlarda transport qamrovining pastligi transport tizimini qayta optimallashtirish zaruratini to'g'diradi. Transport yo'nalishlarini ilmiy asosda optimallashtirish, zamonaviy raqamli texnologiyalarni joriy etish va transport tizimini integratsiyalash zarur.

4. Yangi yo'nalishlarni shakllantirishda aholi zichligi, ijtimoiy obyektlarning joylashuvi, yo'lovchi oqimining doimiyligi va transport almashuv imkoniyatlari asosiy mezon sifatida belgilanishi lozim.

5. Avtobus bekatlari zamonaviy talablarga mos ravishda loyihalashtirish zarur. Shu asosda "aqlli bekat" tizimlarini joriy etish, elektron axborot tablolari, GPS monitoring, videokuzatuv tizimi, Wi-Fi xizmatlari va nogironligi bo'lgan shaxslar uchun moslashtirilgan infratuzilmani yaratish kerak.

6. Avtobus bekati platformalarini zamonaviy standartlar asosida tashkil etish avtobuslarning to'xtash va harakatga qo'shilish jarayonini tezlashtirishi, tirbandliklarni kamaytirishi hamda yo'lovchilar xavfsizligini oshirishi lozim.

7. Yangi yo‘nalishlarni tashkil etishdan oldin mavjud yo‘l infratuzilmasini qayta ta‘mirlash, ichki ko‘chalarni magistral yo‘llar bilan bog‘lash va zamonaviy yo‘l qurilishi standartlarini joriy etish zarur.

8. Jamoat transporti uchun alohida yo‘laklar (polosalar) tashkil etish, zamonaviy svetofoor tizimlari va “aqlli transport” boshqaruv texnologiyalarini joriy qilish kerak.

9. Ekologik barqarorlikni ta‘minlash maqsadida jamoat transportini rivojlantirish va ekologik toza transport vositalaridan foydalanish muhim.

Xulosa sifatida aytish mumkinki, Qarshi shahri ko‘chalarida jamoat transporti yo‘nalishlarini takomillashtirish, bekatlar infratuzilmasini zamonaviylashtirish va yo‘l infratuzilmasini yaxshilash Qarshi shahrida zamonaviy, xavfsiz, qulay va barqaror transport tizimini shakllantirishga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari asosida ishlab chiqilgan tavsiyalarni amaliyotga joriy etish Qarshi shahrida transport tizimining samaradorligini oshirish, aholining harakatlanish qulayligini yaxshilash va atrof-muhitga salbiy ta‘sirni kamaytirishga xizmat qiladi. Shu bois, jamoat transporti tizimini takomillashtirishda kompleks va innovatsion yondashuvlardan foydalanish ustuvor vazifa hisoblanadi.

Adabiyotlar

- [1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16-fevraldagi “Jamoat transporti tizimini isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi PQ-59-sonli qarori.
- [2] Azizov Q.X. Shahar yo‘lovchi tashish tizimini tashkil etish va boshqarish. – Toshkent: O‘zbekiston, 2018. – 256 b.
- [3] Abduraxmonov U.N., Xushvaqtova B.M. Qarshi shahri ko‘chalarida transport vositalarining zichligini o‘rganish. International scientific journal «MODERN SCIENCE AND RESEARCH» Volume 2 / ISSUE 6 / UIF:8.2/ MODERNSCIENCE. UZ ISSN: 2181-3906 2023. 199-203 b.
- [4] Abduraxmonov U.N., Xushvaqtova B.M. Qarshi shahri ko‘chalari chorahalarida tirbandliklarni tadqiq qilish. Jurnal. Educational Research in Universal Sciences ISSN: 2181-3515 VOLUME 2 | SPECIAL ISSUE 3 | 2023 226-230 b.
- [5] M.A.Tuxtabayev. “Shahar ichi yo‘lovchi tashishda geoaxborot texnologiyalarini qo‘llab transport oqimlari harakatini baholash”. Ilm, tadqiqot va taraqqiyot ilmiy jurnali 5(13)-son, 2025 y.
- [6] Axmedov B.A. Jamoat transporti tizimini rivojlantirishning zamonaviy usullari. – Samarqand: Zarafshon, 2020. – 176 b.
- [7] Ataxonov X.B. “Jamoat yo‘lovchi transportining yo‘nalishdagi harakatini modellashtirish”. Scientific journal of Construction and Education ISSN 2181-3779, volume 3, Issue 3 2024, 218-221.
- [8] Abduraxmonov U.N., Xaydarov J.S. Avtomobil yo‘llari xalq xo‘jaligining muhim tarmog‘i. Jurnal. RESEARCH AND EDUCATION ISSN: 2181-3191 VOLUME 3|ISSUE 9|2024 23-28
- [9] Jo‘rayev N.J. Avtomobil yo‘llarida harakatni tashkil etish. – Qarshi: Nasaf, 2021. – 184 b.
- [10] Спирин И.В. Городские автобусные перевозки. – Москва: Академия, 2020. – 304 с.
- [11] Липенков В.Я. Организация дорожного движения. Санкт-Петербург:Лан, 2019-320 с.
- [12] Кременес Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – Москва: Транспорт, 2018. – 285 с.
- [13] Силянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. – Москва: Академия, 2019. – 352 с.
- [14] Гудков В.А. Пассажирские автомобильные перевозки.—Москва: Транспорт, 2021.— 296 с.
- [15] Vuchic V.R. Urban Public Transportation Systems. – New Jersey: Wiley, 2017. – 640 p.
- [16] Rodrigue J.P.The Geography of Transport Systems.— New York: Routledge, 2020. – 456 p.
- [17] Ceder A. Public Transit Planning and Operation. – CRC Press, 2019. – 742 p.
- [18] Black J. Urban Transport Planning. – London: Routledge, 2018. – 398 p.
- [19] Ortuzar J., Willumsen L. Modelling Transport. – Wiley, 2018. – 586 p.

UO‘K: 656.2+656.073.437

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.13>

XALQARO YUK TASHISH MARSHRUTLARI O‘ZGARISHINING LOGISTIKA TIZIMLARI SAMARADORLIGIGA TA’SIRINI TAHLIL QILISH

Zohidov Muhridin G‘ofurjon o‘g‘li¹ – doktorant (PhD), E-mail: zohidov100299@gmail.com,
ORCID: 0009-0007-3529-3615, Science ID: MFR-0426-0209

Jumayev Sherzod Bahrom o‘g‘li² - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
E-mail: shbjumayev_92@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4905-9620, Science ID: FQD-0626-0067

¹ Farg‘ona davlat texnika universiteti. Farg‘ona, O‘zbekiston

² Toshkent davlat transport universiteti. Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Markaziy Osiyo mintaqasida xalqaro yuk tashishning jadallashishi sharoitida transport marshrutlarini diversifikatsiya qilish strategik ahamiyat kasb etmoqda. Xitoydan Afg‘onistonga yo‘laltirilgan an‘anaviy dengiz marshrutlari (Bandar-Abbos porti orqali) uzoq muddatli yetkazib berish vaqti (50–60 kun) va yuqori xarajatlarni bilan tavsiflangan. 2023–2024-yillarda Xitoy – Qozog‘iston – O‘zbekiston – Turkmaniston – Afg‘oniston yo‘linalishdagi yangi multimodal marshrut ishga tushirildi, umumiy masofa 7 400 km va o‘rtacha yetkazib berish muddati 30 kun.

Tadqiqotda qiyosiy tahlil, transport xarajatlari modellashtirish, nisbiy indeks tahlili va intermodal operatsion ko‘rsatkichlarni o‘lchash usullaridan foydalanildi. O‘ztemiryo‘l konteyner AJ, UTK Transport & Logistics va uch davlat temir yo‘l tashkilotlarining ma‘lumotlari tahlil qilindi.

Yangi multimodal marshrut yetkazib berish muddatini 40–50 foizga, transport masofasini 40 foizga, bilvosita xarajatlarni esa 25–32 foizga qisqartirmoqda. Buxoro logistika markazida intermodal qayta yuklash 24 soat ichida amalga oshirilmoqda. O‘zbekiston tranzit-logistika markazi sifatida o‘z strategik mavqei mustahkamlaydi.

Yangi yo‘linalish mintaqaviy logistika tizimini geosiyosiy risklardan himoyalaydi, hududiy hamkorlikni kuchaytiradi va O‘zbekistonning xalqaro tranzit tizimidagi rolini yanada mustahkamlaydi.

Kalit so‘zlar: multimodal transport, marshrutlar diversifikatsiyasi, Xitoy–Afg‘oniston koridori, intermodal logistika, tranzit koridori, Buxoro logistika markazi, transport xarajatlari modeli.

УДК: 656.2+656.073.437

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ МАРШРУТОВ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Зоҳидов Муҳриддин Гофуржон угли¹ – докторант (PhD)

Жумаев Шерзод Бахром угли² – доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент

¹ Ферганский государственный технический университет, г. Фергана, Узбекистан

² Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Нарастание международной торговли и реструктуризация цепочек поставок в Центральной Азии обуславливают актуальность диверсификации маршрутов. Новый мультимодальный маршрут Китай–Афганистан протяжённостью 7 400 км и сроком доставки около 30 дней является эффективной альтернативой традиционному морскому маршруту, который занимает 50–60 дней.

Применялись сравнительный анализ, моделирование транспортных затрат, анализ индекса надёжности и операционных показателей интермодальных узлов.

Новый маршрут сокращает сроки доставки на 40–50%, расстояние на 40%, косвенные затраты на 25–32%. Операция в Бухарском центре выполняется за 24 часа.

Маршрут снижает зависимость от геополитически уязвимых зон, укрепляет региональное сотрудничество и укрепляет стратегическую роль Узбекистана как транзитно-логистического центра.

Ключевые слова: мультимодальный транспорт, диверсификация маршрутов, Китай–Афганистан, интермодальная логистика, Бухарский логистический центр.

UDC: 656.2+656.073.437

ANALYSIS OF THE IMPACT OF CHANGES IN INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORT ROUTES ON THE EFFICIENCY OF LOGISTICS SYSTEMS

Muhriddin Zohidov¹, doctoral student

Sherzod Jumaev², doctor of philosophy in technical sciences, associate professor.

¹Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan

²Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The intensification of international freight flows in Central Asia has made transport route diversification a matter of strategic importance. The traditional maritime route from China to Afghanistan via Bandar Abbas (50–60 days) is characterised by prolonged delivery times and elevated costs. In 2023–2024, a new multimodal route—China – Kazakhstan – Uzbekistan – Turkmenistan – Afghanistan—was launched covering 7,400 km with an average delivery time of 30 days.*

Comparative route evaluation, transport cost modelling, reliability index analysis, and intermodal operational performance measurement were employed. Data from Uztemiryo 'Ikonteyner JSC, UTK Transport & Logistics, and railway organisations of three transit states were analysed.

The new route reduces delivery times by 40–50%, route distance by 40%, and indirect costs by 25–32%. The Bukhara intermodal transshipment is completed within 24 hours. Uzbekistan consolidates its strategic role as a transit-logistics hub.

The route reduces geopolitical exposure, enhances regional cooperation, and strengthens Uzbekistan's position in international transit logistics. Future digitalisation and border simplification will further improve efficiency.

Keywords: *multimodal transport, route diversification, China–Afghanistan corridor, intermodal logistics, transit corridor, Bukhara logistics centre, transport cost model.*

Kirish

Xalqaro savdo aloqalarining kuchayishi va global ishlab chiqarish zanjirlarining qayta tashkillanishi sharoitida transport marshrutlarini diversifikatsiya qilish muammosi Markaziy Osiyo iqtisodiyoti uchun tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. Rodrigue [1] ta'kidlaganidek, transport geografiyasi nuqtai nazaridan transport tarmoqlarining strukturaviy o'zgarishi savdo oqimlarining qayta taqsimlanishiga bevosita ta'sir qiladi va yangi savdo koridorlarini shakllantirishda hal qiluvchi omil bo'lib xizmat qiladi. Xitoy va Afg'oniston o'rtasidagi yuk oqimlari ushbu tendensiyaning yaqqol namunasidir.

An'anaviy marshrut bo'yicha yuklar Xitoyning yirik eksport portlaridan (Shanxay, Guangzhou, Yantian) dengiz yo'li orqali Eronning Bandar-Abbos portiga yetkazilgan, so'ng quruqlik orqali Afg'oniston chegarasigacha transportirovka qilingan. Notteboom va Rodrigue [2] tomonidan ko'rsatilganidek, portlarda konteynerlarni qayta ishlash vaqti, dengiz frakti xarajatlari va quruqlikdagi intermodal o'tish davomiyligi to'plamda umumiy yetkazib berish muddatini 50–60 kunga yetkazgan. Bundan tashqari, 2018-yildan kuchaygan xalqaro sanksiyalar Bandar-Abbos porti orqali o'tuvchi yuk tashishning huquqiy va moliyaviy tavakkalchilik (risk) larini sezilarli darajada oshirdi.

Ushbu muammolarni bartaraf etishda Xitoyning "Belt and Road Initiative" (BRI, "Kamari va Yo'l") tashabbusi doirasida Markaziy Osiyo infratuzilmasiga amalga oshirilgan investitsiyalar muhim rol o'ynadi. Crainic va Kim [3] ishlab chiqqan intermodal transport optimallashtirish nazariyasiga ko'ra, quruqlik koridorlarining iqtisodiy samaradorligi intermodal o'tish punktlarining soni va ularning operatsion samaradorligiga bevosita bog'lib, infratuzilmaning rivojlanishi bilan o'sib

boradi. BRI doirasida Qozog‘iston, O‘zbekiston va Turkmaniston temir yo‘l tarmoqlarining modernizatsiya qilinishi aynan shu imkoniyatni ro‘yobga chiqardi [4].

2023-yilda “O‘ztemiryo‘lkonteyner” AJ va xitoylik hamkor kompaniyalar o‘rtasida imzolangan hamkorlik bitimi asosida Buxoro logistika markazi orqali o‘tuvchi yangi multimodal konteyner yo‘linalishi ishga tushirildi [5]. Ushbu yo‘linalish Xitoyning Altinkol – O‘zbekistonning Buxoro logistika markazi – Turkmaniston hududi – Afg‘onistonning Hirot shahri ketma-ketligida amalga oshiriladi. Ushbu tadqiqot mazkur yangi yo‘linalishning ilmiy-texnik tahlilini o‘tkazishga va uning an‘anaviy marshrutga nisbatan afzalliklari hamda cheklovlarini miqdoriy baholashga qaratilgan.

Ilmiy adabiyotlarda intermodal transport tizimlarining iqtisodiy samaradorligi Macharis va Bontekoning [6] tomonidan keng o‘rganilgan bo‘lib, ular intermodal yo‘linalishlarni optimallashtirish uchun operatsion tadqiqot usullarini qo‘llaganlar. Tsamboulas, Kapros va Moraiti [7] o‘z tadqiqotlarida transport intermodalligini baholashning mezoniy tizimini ishlab chiqishdi. Biroq ushbu tadqiqotlar asosan Yevropa va Osiyo-Tinch okeani mintaqalarida o‘tkazilgan; Markaziy Osiyo‘ning o‘ziga xos ko‘p tomonlama tranzit muammolari, birinchi navbatda uch davlat – Qozog‘iston, O‘zbekiston va Turkmaniston – hududlaridan o‘tuvchi yo‘nalishlar kompleks tarzda tahlil qilinmagan. Ushbu tadqiqot ushbu bo‘shliqni to‘ldirishga yo‘laltirilgan.

Materiallar va uslublar

Tadqiqotda transport iqtisodiyotida keng qo‘llanadigan bir nechta ilmiy usuldan kompleks tarzda foydalanildi. Asosiy yondashuv sifatida qiyosiy tahlil usuli tanlandi. Veenstra, Zuidwijk va Van Asperen [8] tomonidan ko‘rsatilganidek, multimodal tashishlarda xarajat va ishonchlilik o‘rtasidagi munosabatni o‘lchashda ushbu usul yuqori informatsion qiymatga ega, chunki u real operatsion ma‘lumotlarga asoslanadi va natijalarni bevosita taqqoslash imkonini beradi.

Marshrutlarni matematik baholashda yo‘naltirilgan graf modeli qo‘llanildi. Modelga ko‘ra transport tarmog‘i $G = (V, A)$ shaklida ifodalanib, bu yerda V – tugunlar to‘plami (temir yo‘l stansiyalari, terminallar, chegara o‘tish punktlari, omborlar), A – yo‘ylar to‘plami (muayyan transport turi bo‘yicha harakatlanish segmentlari) hisoblanadi. Islam va boshqalar [9] tomonidan Yevropa multimodal tarmoqlarini tahlil qilishda muvaffaqiyatli qo‘llanilgan ushbu yondashuv O‘zbekiston tranzit koridorining xususiyatlariga moslashtirildi.

Har bir yoy $(i, j) \in A$ ning asosiy parametrlari quyidagilardan iborat: C_{ij} – birlik transport xarajati (so‘m/tonna), τ_{ij} – tashish vaqti (soat), k_{ij} – o‘tkazuvchanlik qobiliyati (tonna/kun), m_{ij} – transport turi, d_{ij} – raqamlashtirish darajasi (0 dan 1 gacha). Yuk oqimi miqdori x_{ij} bilan belgilanib, yuk saqlanish sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sum x_{ij}(s \rightarrow r) - \sum x_{ij}(r \rightarrow s) = Q^s, i = s \text{ bo‘lganda}; -Q^s_r, i = r \text{ bo‘lganda}; 0, \text{ boshqa holatlarda} \quad (1)$$

Umumiy transport xarajatlari modeli Rodrigue [1] va Crainic va Kim [3] tomonidan ishlab chiqilgan nazariy asoslarga tayanadi va quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$Q_{ij}(x_{ij}) = [a_{ij} + b_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot (1 - d_{ij})] \cdot x_{ij}, \quad (2)$$

bu yerda a_{ij} –to‘g‘ridan-to‘g‘ri xarajat koeffitsiyenti (yoqilg‘i, ekspluatatsiya, mehnat); b_{ij} –vaqt birligi bo‘yicha bilvosita xarajat koeffitsiyenti (kutish, kechikish, port va terminal to‘lovlari, hujjatlashtirish xarajatlari); d_{ij} –raqamlashtirish darajasi (oshgan sari bilvosita xarajatlar kamayadi). Multimodal zanjir bo‘yicha umumiy xarajat $C_{total} = \sum C_{ij}(x_{ij})$ orqali hisoblanadi.

Yetkazib berish ishonchliliqi koeffitsiyenti (R) quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$R = N_t^{ea} / N_t^{otal}, \quad (3)$$

bu yerda N_t^{ea} – belgilangan muddatda yetkazilgan yuklar soni; N_t^{otal} – umumiy yetkazilgan yuklar soni. ADB [10] hisobotida ko‘rsatilganidek, Markaziy Osiyo koridorlari uchun R koeffitsiyenti 0,75–0,85 oralig‘ida bo‘lganda marshrut logistika talablariga mos deb hisoblanadi.

Asosiy ma‘lumotlar manbalari: “O‘ztemiryo‘lkonteyner” AJ ning 2023–2024-yillarga oid konteyner oqimlari statistikasi [5]; UTK Transport & Logistics ning yo‘linalish parametrlari bo‘yicha operatsion hisobotlari; UNESCAP [11] ning Markaziy Osiyo transport hujjatlashtirish va

raqamlashtirish bo'yicha tahliliy hisoboti; Jahon banki [12] ning Markaziy Osiyo logistika samaradorligi indeksi (LPI) ma'lumotlari; shuningdek Qozog'iston, O'zbekiston va Turkmaniston temir yo'l tashkilotlarining ochiq yillik hisobotlari.

Natijalar

Yangi multimodal marshrutning asosiy bosqichlari va texnik parametrlari.

Yangi multimodal marshrut besh asosiy segmentdan iborat. Birinchi segment – temir yo'l (Xitoy): Xitoyning Jinhua yoki Urumqi shahridan Qozog'istonning Altinkol chegara stansiyasigacha bo'lib, masofa taxminan 3 800 km, muddati 6–8 kun. Ikkinchi segment – temir yo'l (Qozog'iston – O'zbekiston): Altinkol dan Buxoro logistika markazigacha, masofa taxminan 2 200 km, muddati 3–4 kun. Uchinchi segment – intermodal o'tish: Buxoro markazida konteynerlarni temir yo'ldan avtomobil transportiga qayta yuklash, muddati 24 soat. To'rtinchi segment–avtomobil (Turkmaniston hududidan): Buxorodan Seraxs–Mary–Turkmanobod orqali Afg'oniston chegarasigacha, masofa taxminan 1 100 km, muddati 2–3 kun. Beshinchi segment – Hirotgacha yetkazish: Afg'oniston hududi bo'ylab 300 km, muddati 1 kun. Jami masofa – 7 400 km, o'rtacha umumiy muddati – 13–17 kun aktiv harakatda, to'liq sikl bilan (chegara rasmiylashtiruv va bufer vaqti bilan) – taxminan 30 kun.

1-jadvalda yangi multimodal marshrut va an'anaviy dengiz yo'lining asosiy parametrlari Veenstra va boshqalar [8] tomonidan taklif qilingan qiyosiy baholash metodologiyasi asosida taqqoslanadi.

1-jadval. An'anaviy va yangi multimodal marshrutlarning qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	An'anaviy marshrut (dengiz yo'li)	Yangi multimodal marshrut
Asosiy transport turlari	Dengiz + quruqlik (Eron hududida)	Temir yo'l + intermodal o'tish + avtomobil
Umumiy masofa (km)	12 000–14 000	~7 400
O'rtacha yetkazib berish muddati (kun)	50–60	~30
Intermodal o'tish punktlari	Bandar-Abbos porti (3–5 kun)	Buxoro logistika markazi (24 soat)
Asosiy chegara o'tish punktlari	Bandar-Abbos, Zaranj/Torkham	Altinkol, Seraxs–Saraxt, Islom Qal'a
Ishonchlilik koeffitsiyenti (R)	0,62–0,71	0,78–0,85
Geosiyosiy risk darajasi	Yuqori (Eron sanksiyalari)	O'rtacha
Bilvosita xarajatlar ulushi	28–35 %	7–12 %

Manba: ADB [10], Veenstra va boshqalar [8] metodologiyasi asosida muallif hisoblamalari.

Transport xarajatlari modeli natijalari.

Yangi multimodal marshrut bo'yicha esa bilvosita xarajatlar ulushi 7–12 foizga tushadi. Bu asosan Buxoro logistika markazidagi 24 soatlik tezkor intermodal operatsiya, raqamlashtirilgan hujjat aylanishi (elektron CMR, temir yo'l raqamli yuk xati) va O'zbekiston–Turkmaniston chegarasidagi soddalashtirilgan tranzit tartib-taomillari hisobiga ta'minlanmoqda. Sheffi [13] logistika klasterlari nazariyasiga ko'ra, Buxoro kabi ixtisoslashgan logistika markazlari atrofida to'plangan xizmatlar xarajatlarni klaster effekti orqali kamaytirishga yordam beradi.

2-jadvalda raqamlashtirish darajasining (d_{ij}) yangi marshrut xarajatlari va umumiy samaradorligiga ta'siri ko'rsatilgan. Bu tahlil UNESCAP [11] ning Markaziy Osiyo uchun raqamli hujjat almashinuviga oid tavsiyalariga asoslanadi.

2-jadval. Raqamlashtirish darajasining yangi marshrut samaradorligiga ta'siri

Raqamlashtirish darajasi (d)	Vaqt qisqarishi	Xarajat indeksi o'zgarishi	Ishonchlilik (R)
0,00 (an'anaviy)	—	0 %	0,62–0,71
0,25	6–9 %	–5–8 %	0,73–0,76
0,50	12–17 %	–12–18 %	0,77–0,80
0,75	20–26 %	–21–26 %	0,82–0,85
1,00 (to'liq raqamli)	28–33 %	–25–32 %	0,87–0,91

Manba: UNESCAP [11] va Golovach va Levin [14] ma'lumotlari asosida muallif hisoblamalari.

Hozirgi kunda yangi marshrutning raqamlashtirish darajasi 0,40–0,55 oralig'ida baholanmoqda, bu esa Buxoro markazidagi elektron hujjatlashtirish tizimining qisman joriy etilganini aks ettiradi. Jahon banki [12] ning 2023-yilgi LPI hisobotiga ko'ra, O'zbekiston Markaziy Osiyo davlatlari orasida logistika raqamlashtirish ko'rsatkichi bo'yicha Qozog'iston (0,61) va Gruziyadan (0,58) keyin uchinchi o'rinni egallaydi.

Xitoy – Afg'oniston tranzit koridor dinamikasi.

Golovach va Levin [14] tomonidan Evrosiyo multimodal transport koridorlarini modellashtirish bo'yicha olib borilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, yangi quruqlik marshrutlarining raqobatbardoshligi masofa va transport xarajatlarining kamayishi bilan emas, balki intermodal o'tish punktlarining operatsion samaradorligi bilan bevosita bog'liq. Ushbu xulosaga asoslanib, 3-jadvalda Buxoro logistika markazida kuzatilgan haqiqiy operatsion ko'rsatkichlar keltiriladi.

3-jadval. Intermodal o'tish punktlarining operatsion taqqoslama ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	An'anaviy port (Bandar-Abbos)	Buxoro logistika markazi
Konteyner qayta ishlash muddati	3–5 kun	24 soat
Raqamlashtirilgan hujjatlar ulushi	35–45 %	62–70 %
Zichlik imkoniyati (TEU/kun)	800–1 200	150–220 (kengaytirilmoqda)
Kechikish holatlari ulushi	28–35 %	9–14 %
O'rtacha kutish narxi (\$/TEU)	180–260	45–80

Manba: “O'ztemiryo'lkonteyner” AJ [5] va Macharis va Bontekoning [6] metodologiyasi asosida.

Munozara

Tadqiqot natijalari yangi multimodal marshrutning an'anaviy dengiz yo'liga nisbatan bir qator muhim strategik va iqtisodiy afzalliklarga ega ekanligini tasdiqlaydi. Biroq ushbu afzalliklarni to'liq ro'yobga chiqarish bir qator tizimli muammolarni hal qilishni talab qiladi.

Strategik afzalliklar. Birinchi va eng muhim afzallik – geosiyosiy diversifikatsiya. Crainic va Kim [3] intermodal tizimlarni tahlil qilishda xavf-xatarlarni taqsimlash (risk distribution) tamoyilini asosiy mezon sifatida qo'llashni tavsiya qilgan. Ushbu tamoyil bo'yicha yangi marshrut Eronning geosiyosiy beqarorligi va sanksiyalar tazyiqiga bog'liq xavfni tamomila bartaraf etadi. Jahon banki [12] ning 2023-yilgi ma'lumotlariga ko'ra, Markaziy Osiyo davlatlarining logistika samaradorligi so'nggi besh yilda barqaror o'sishni ko'rsatmoqda: O'zbekiston LPI reytingida 2018-yilgi 99-o'ringdan 2023-yilda 73-o'ringa ko'tarildi. Bu ko'rsatkich ushbu koridorning uzoq muddatli barqarorligini tasdiqlaydi.

Ikkinchi strategik afzallik – mintaqaviy integratsiya va tranzit daromadlari. Sheffi [13] tomonidan ishlab chiqilgan logistika klasterlari nazariyasiga ko'ra, logistika markazlari atrofida ixtisoslashgan xizmatlar (ekspeditorlik, sug'urta, ta'mirlash, to'ldirib qadoqlash) klasterlanadi va bu narxlarni tushiradi hamda xizmat sifatini oshiradi. Buxoro logistika markazi shu tamoyil asosida rivojlantirilmoqda bo'lib, u O'zbekiston uchun faqat tranzit to'lovlari emas, balki logistika xizmatlaridan olinadigan qo'shimcha qiymat manbayiga aylanish imkoniga ega.

Tizimli cheklovlar. Birinchi muhim cheklov – Turkmaniston tranziti. Mazkur davlat “yopiq” tranzit siyosatini yuritadi: ruxsatnomalar qat'iy nazorat ostida, narxlar esa boshqa tranzit davlatlarga nisbatan 30–45 foiz yuqori. UNESCAP [11] Markaziy Osiyo uchun yagona tranzit hujjatlashtirish tizimini joriy etishni tavsiya qilgan bo'lib, ushbu tavsiyaning amalga oshirilishi Turkmaniston tranzitidagi to'siqlarni kamaytirishi mumkin.

Ikkinchi cheklov – Buxoro markazining hozirgi o'tkazuvchanlik qobiliyati. 3-jadvaldan ko'rinib turibdiki, markaz hozirda kuniga 150–220 TEU qayta ishlash imkoniyatiga ega, holbuki Bandar-Abbos porti 800–1 200 TEU/kun ko'rsatkichiga ega. Ushbu farq Buxoro markazini katta hajmdagi yuk oqimlari uchun hali ham qisman cheklov bo'lishini ko'rsatadi. Golovach va Levin [14] ning hisob-kitoblariga ko'ra, Markaziy Osiyo quruqlik terminallariga katta investitsiyalar jalb qilinmasa, yaqin 5–7 yil ichida to'lib borishiga xavf mavjud.

Afg'oniston o'ziga xos siyosiy muhiti marshrut ishonchliligi uchun uchinchi muhim omil hisoblanadi. ADB [10] hisobotida ta'kidlanganidek, Afg'onistonga yo'naltirilgan yuk tashishda sug'urta premia boshqa O'rta Sharq davlatlariga nisbatan 2,0–2,5 barobar yuqori. Bu holat $R=0,78-0,85$ ishonchlilik koeffitsiyenti birinchi qarashdagidek maqbul ko'rinsa-da, amalda yuk yo'lda qolishi yoki zararlanishi xavfini hisobga olgan holda sug'urta xarajatlari oshishini bildiradi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot Xitoydan Afg'onistonga yangi multimodal transport marshrutining an'anaviy dengiz yo'liga nisbatan qiyosiy tahlilini amalga oshirdi. Olingan natijalar quyidagi asosiy xulosalarni beradi.

Birinchi, yangi yo'lalish yetkazib berish muddatini 40–50 foizga va transport masofasini taxminan 40 foizga qisqartirib, logistika jarayonlarini sifat jihatidan yangi darajaga ko'taradi. Rodrigue [1] va Notteboom va Rodrigue [2] ning nazariy asoslarida ko'rsatilganidek, qisqa masofa va past intermodal o'tish davomiyligi transport tizimining umumiy samaradorligini belgilovchi asosiy omillardir.

Ikkinchi, Buxoro logistika markazidagi 24 soatlik intermodal operatsiya Macharis va Bontekoning [6] tomonidan ta'kidlangan “intermodal o'tish nuqtasi samaradorligi” tamoyilining amaliy namunasidir. Transport xarajatlari modeli (2-formula) natijalariga ko'ra, bilvosita xarajatlar ulushi 28–35 foizdan 7–12 foizga pasayishi asosan ushbu markazdagi operatsion samaradorlik hisobiga ta'minlanmoqda.

Uchinchi, (3) formula bo'yicha hisoblangan ishonchlilik koeffitsiyenti ($R=0,78-0,85$) yangi marshrutning ADB [10] tomonidan Markaziy Osiyo uchun belgilangan minimal maqbul darajadan

($R \geq 0,75$) yuqori ekanligini ko'rsatadi. Jahon banki [12] ning LPI ma'lumotlari esa O'zbekistonning logistika muhitining so'nggi besh yilda barqaror yaxshilanib borayotganini tasdiqlamoqda.

To'rtinchidan, raqamlashtirish darajasini oshirish ($d=0,50$ dan $d=1,00$ ga) marshrut samaradorligini yanada 13–18 foizga yaxshilash imkonini beradi. UNESCAP [11] tavsiyalariga muvofiq, Markaziy Osiyo davlatlari uchun yagona raqamli tranzit platformasini joriy etish ushbu salohiyatni to'liq ro'yobga chiqarishning asosiy sharti hisoblanadi.

Kelajakda tadqiqotni bir nechta yo'nalishlarda kengaytirish zarur: Turkmaniston tranzit siyosatining iqtisodiy modeli, Afg'oniston ichki yetkazib berish tarmog'i bilan integratsiya masalalari, shuningdek Sheffi [13] ning logistika klasterlari nazariyasi asosida Buxoro markazini yirik mintaqaviy logistika xizmatlar markaziga aylantirish strategiyasi. Bularning barchasi mintaqaviy transport-logistika tizimini barqaror rivojlantirish bo'yicha keng ko'lamli ilmiy dasturni tashkil etadi.

Adabiyotlar

- [1] Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems. New York: Routledge. <https://transportgeography.org>
- [2] Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2005). Port regionalization: Toward a new phase in port development. *Maritime Policy & Management*, 32(3), 297–313.
- [3] Crainic, T. G., & Kim, K. H. (2007). Intermodal Transportation. In: *Handbook in OR & MS*, Vol. 14, 467–537.
- [4] European Commission (2022). Digital Transport and Logistics Forum (DTLF). <https://transport.ec.europa.eu>
- [5] "O'ztemiryo'lkonteyner" AJ (2023–2024). Buxoro logistika markazi operatsion ko'rsatkichlari va konteyner oqimlari statistikasi. Toshkent: O'ztemiryo'lkonteyner.
- [6] Macharis, C., & Bontekoning, Y. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research. *European Journal of Operational Research*, 153, 400–416.
- [7] Tsamboulas, D., Kapros, S., & Moraiti, P. (2011). Assessment of transport intermodality. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 20, 867–876.
- [8] Veenstra, A., Zuidwijk, R., & Van Asperen, E. (2012). Trade-off between costs and reliability in multimodal freight transport. *Journal of Transport Geography*, 23, 75–83.
- [9] Islam, D. M. Z., Zunder, T., Jorna, R., & Wilmsmeier, G. (2015). Towards a European multimodal freight transport network. *Transport Reviews*, 35(4), 441–465.
- [10] ADB – Asian Development Bank (2021). *Uzbekistan: Logistics and Freight Transport Sector Assessment*. Manila: ADB. <https://adb.org>
- [11] UNESCAP (2020). *Digitalizing Multimodal Transport Data and Document Exchange in Central Asia*. Bangkok: United Nations.
- [12] World Bank (2023). *Logistics Performance Index (LPI): Central Asia Regional Report*. <https://lpi.worldbank.org>
- [13] Sheffi, Y. (2012). *Logistics Clusters: Delivering Value and Driving Growth*. Cambridge: MIT Press.
- [14] Golovach, A., & Levin, V. (2021). Modeling multimodal transport corridors in Eurasia. *Transport Problems*, 16(3), 45–58.

UO‘K: 658.382.3

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.14>

MEHNAT XAVFSIZLIGINI TA’MINLASHDA KOMPETENTLIK YONDOSHUVI: KOMPETENTLIKNING AMERIKA VA YEVROPACHA KONSEPSIYALARI

Raximov Oktabr Dustkabilovich - texnika fanlari nomzodi, professor,

E-mail: rahmat1959@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1630-129X, Science ID: FQD-0726-0034

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada zamonaviy ishlab chiqarish sharoitida muhandislarning kompetentligini aniqlashning ahamiyati va zaruriyati, kompetentlik yondoshuvining mazmun mohiyati, yuzaga kelish tarixi to‘g‘risida ma’lumotlar keltirilgan. Mehnat xavfsizligini ta’minlashda kompetentlik yondoshuvining ahamiyati ko‘rsatilib, kompetentlikning Amerikacha va Yevropacha ta’riflari keltirilgan. Kompetentlik mazmunini aniqlashga qaratilgan Devid Makklelland va Richard Boyatzisning tadqiqotlari natijalari tahlil etilgan. Kompetentliklar profilini aniqlash mutaxassisning o‘z kar’erasini rejalashtirish va rivojlantirishda muhim ahamiyat kasb etishi asoslangan. Muhandislik kompetensiyasiga muallif ta’rifi berilgan.

Tayanch so‘zlar: mehnat xavfsizligi, kompetentlik, kompetensiya, yondoshuv, kasbiy, mehnat xavfsizligi, model, bilim, malaka, motiv, umumiy, shaxsiy, ijtimoiy.

УДК: 658.382.3

КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА: АМЕРИКАНСКАЯ И ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Рахимов Октабр Дусткабилевич - кандидат технических наук, профессор

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье представлены сведения о важности и необходимости определения компетентности инженеров в современных производственных условиях, содержании и сущности компетентностного подхода, истории его возникновения. Показана значимость компетентностного подхода в обеспечении безопасности труда, приведены американское и европейское определения компетентности. Проанализированы результаты исследований Дэвида Макклелланда и Ричарда Бояциса, направленных на раскрытие содержания компетентности. Обосновано, что определение профиля компетенций имеет важное значение для планирования и развития карьеры специалиста. Дано авторское определение инженерной компетенции.

Ключевые слова: безопасность труда, компетентность, компетенция, подход, профессиональный, безопасность труда, модель, знание, навык, мотив, общий, личностный, социальный.

UDC: 658.382.3

COMPETENCE-BASED APPROACH IN OCCUPATIONAL SAFETY: AMERICAN AND EUROPEAN CONCEPTS OF COMPETENCE

Oktabr Rakhimov, candidate of technical sciences, professor

Karshi State Texnical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. The article presents information on the importance and necessity of determining the competence of engineers in modern production conditions, the content and essence of the competence-based approach, and the history of its emergence. The significance of the competence-based approach in ensuring occupational safety is shown, and the American and European definitions of competence are provided. The results of research by David McClelland and Richard Boyatzis, aimed at revealing the content of competence, are analyzed. It is substantiated that defining

a competency profile is important for planning and developing a specialist's career. The author's definition of engineering competence is given.

Keywords: *occupational safety, competence, competency, approach, professional, occupational safety, model, knowledge, skill, motive, general, personal, social.*

Kirish

Zamonaviy ishlab chiqarilish muhiti bo'lajak kadrlarga yangi talablarni qo'yadi, ularning qobiliyatlari va nazariy bilim hamla amaliy ko'nikmalarini baholashning innovatsion metodlarini ishlab chiqishni talab etadi. So'nggi yillarda ilmiy izlanishlar va mehnat sohasidagi tadbirlarda kompetensiyalarga tayangan metod keng tarqalmoqda. Bu yondashuv, asosan, mutaxassislar tayyorlash, ularning bilim va malakalarini yangilash hamda takomillashtirish tizimlarida faol qo'llanilmoqda. Uning mohiyati-tez-tez transformatsiyalanuvchi ijtimoiy-iqtisodiy muhitga moslasha oladigan amaliy qobiliyatlarni rivojlantirishdir. Bundan tashqari, ishlab chiqarishni tashkil qilishdagi yangi shakllar, mehnat sharoitlari va xodimlarni boshqarishning zamonaviy mexanizmlari kasbiy tayyorgarlik darajasi tushunchasiga nisbatan eskicha yondashuvlarni tuzatish lozimligini ko'rsatmoqda. YuNESKO hisobotida ta'kidlanganidek: "Tadbirkorlar ko'pincha ular ma'lum moddiy operatsiyalarni bajarish qobiliyati bilan bogliq bo'lgan malakalarni emas, balki har bir shaxsga xos bo'lgan malakalarning o'ziga xos omili sifatida qaraladigan, jamoda ishlash qobiliyati, tashabbuskorligi hamda tavakkal xavflarga tayyorligi bilan belgilanadi" [1]. Shu sababli, kompetentsiyaga asoslangan yondashuv biznes talablari, inson resurslarini boshqarish va zamonaviy ta'lim maqsadlarini birlashtiradigan tizimni ishlab chiqish uchun asos bo'ladi.

Kompetensiyalarga tayangan yondashuvning keng miqyosda tarqalishi va uning ommalashuvi muayyan obyektiv sharoitlar bilan belgilanib, ular ichida asosiysi ishlab chiqarish muhitining doimiy transformatsiyasidir. Innovatsion jarayonlar sur'atining ortishi munosabati bilan kadrlarni tayyorlash tizimli biznes-jarayonga aylanib bormoqda. Korporativ ta'lim sohasining rivojlanishi hamda xodimlarga nisbatan taklif etilayotgan zamonaviy talablar butun ta'lim tizimiga bo'lgan talablarni ham qayta ko'rib chiqishga olib kelmoqda. Xususan, Yevropa davlatlarida shaxsiy kamolot va uzluksiz ta'lim tushunchalari ommaviylashib, norasmiy hamda nostandart ta'lim turlariga jiddiy e'tibor qaratilmoqda. Yevropa akkreditatsiya tizimida hamda shaxsiy kompetensiyalar to'g'risidagi hujjatlarda baholash mezonlarining yangi variantlari shakllantirilmoqda. Kompetensiyaviy baholashning zamonaviy mexanizmlari endi nafaqat ta'lim darajasi, balki xodimning amaliy tajribasi, mustaqil ta'lim olish va o'z-o'zini takomillashtirish imkoniyatlarini ham qamrab olmoqda [2].

Kompetentlikga asoslangan yondashuv mehnat xarakteri va mazmunidagi o'zgarishlar hamda ta'limdagi yangi innovatsiyalarni o'zida aks etadi. Uni rivojlantirish mehnat resurslarini mobilligini ta'minlash, mehnat bozori talablari bilan ta'lim jarayonini uzviy bog'lash maqsadida muhim va dolzarb hisoblanadi. Bu bo'lajak mutaxassislarning vertikal mobilligi, ya'ni shaxsiy kar'erasini rivojlantirishda hamda bir davlat chegarasida va jahon mehnat bozorida iqtisodiyot tarmoqlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni ta'minlaydigan gorizontaal mobillikni ham ifodalaydi.

Materiallar va uslublar

Tadqiqot jarayonida quyidagi metodlar majmuidan samarali foydalanildi: bibliografik va semantik tahlil usullari, ilmiy-pedagogik adabiyotlarni tizimli tadqiq etish, amaliyotdagi holatlarni kuzatish va shaxsiy suhbatlar, so'rovnomasida anketa tekshiruvi, ekspertlar bilan hamkorlikdagi muzokaralar, hamda olingan natijalarni turkumlash va shaxsiy xususiyatlarga ko'ra farqlash imkonini beruvchi analitik choralar.

Intervyu bayoni. Guvohlikka olingan ma'lumotlarni chuqurlashtirish uchun oldindan tayyorlangan asosiy mavzular asosida (biroq ishtirokchilarning erkin fikr bildirishiga imkon beriluvchi) yarim strukturaviy suhbatlar tashkillanib, ularning har biri 45 daqiqadan bir soatgacha vaqt ajratiladi. Ishtirokchilarga suhbatni qaysi tilda (o'zbek yoki rus) olib borishni o'zlari tanlash huquqi beriladi.

Intervyu rejasi tarkibiga to'rtta muhim yo'nalish kiritiladi:

- O'zbekistondagi kompetentlik yondoshuvi yo'nalishidagi ta'limning hozirgi amaliyoti;
- kompetentlikga doir ko'nikmalarning zaif tomonlari;
- kompetentlikning shakllanishiga olib keluvchi tashqi va ichki omillar;
- kompetentlikni rivojlantirishga oid yangi modelni loyihalash borasidagi takliflar.

Natijalar

Kompetensiyaviy yondashuvning asosiy atamasi sifatida "kompetensiya" tushunchasi e'tirof etiladi. Ushbu termin 1959-yili amerikalik psixolog olim Robert Uayt tomonidan ilmiy doiralarga kiritilgan. Olimning "Motivation reconsidered: the concept of competence" nomli ilmiy maqolasida keltirilishicha, kompetensiya deganda organizmning atrof-muhit bilan samarali hamkorlik qilish layoqati tushuniladi, bu qobiliyat esa samaradorlik motivatsiyasi orqali yuzaga chiqadi. Muallifning ta'kidlashicha, samaradorlik idroki (tuyg'usi) inson tashqi olamga ta'sir etish qudratini anglagan ongda paydo bo'ladi [2]. Bu motiv borliqning mohiyati va uning tartib-qonuniyatlarini anglashga xizmat qiluvchi omil sifatida namoyon bo'ladi.

Adabiyotlarda kompetensiya bilan bir qatorda "savodxonlik" tushunchasi ham keng tarqalgan. Savodxonlik aslida o'qish va yozish malakasini bildirgan bo'lsa, keyingi davrlarda u ancha keng qamrovli ma'no kasb etdi. Hozirgi zamon nuqtai-nazaridan savodxonlik ijtimoiy muhitda muvaffaqiyat bilan faoliyat yuritish uchun talab etiladigan asosiy malakalar (kalit ko'nikmalar) majmuasini anglatadi. Bu majmua tinglash, so'zlash, mutolaa, yozuv, ilmiy-tadqiqot ma'lumotlari bilan ishlash, amaliy va nazariy metodlarni unumli qo'llash, ob'ektiv voqelikni chuqur anglash hamda uni tadrijiy ravishda o'zgartirish kabi malakalarni qamraydi. Globallashuv va innovatsion texnologiyalarning jadal rivoji, shuningdek bilimlar sanoatining shakllanishi XX asr oxirida "informatsion savodxonlik", "kompyuterli savodxonlik" hamda "savodxonlik-hayotiy malaka" singari yangi tushunchalarning yuzaga kelishiga zamin yaratdi [4].

Demak, kompetensiya va kompetentlikni muayyan kasbiy faoliyat doirasidagi savodxonlikning alohida ko'rinishlari sifatida talqin etish mumkin.

Ilmiy menejmentda kompetensiya atamasi va umuman kompetensiyaga asoslangan yondashuvni amaliyotga tatbiq etish borasidagi faol jarayonlar 1970-yillarda AQShda, keyinchalik Yevropa mamlakatlarida boshlandi.

Buyuk Britaniyada "kompetentlik" termini keng tarqalgan bo'lib, u mutaxassis tomonidan amalga oshirilgan ishning yakuniy natijalariga baho berishga yo'naltirilgan.

"Kompetentlik" tushunchasini Angliyada mutaxassisning faoliyati natijalari bilan belgilanadi. Bunda mutaxassisning belgilangan kasbiy natijalarga erishishdagi faoliyat turlari kompetentlikning asosiy komponentlari sifatida qaraladi, ya'ni xodim o'z kasbiy lavozimi tavsifiga to'liq javob berishi nazarda tutiladi.

"Kompetensiya" atamasi AQShda faol qo'llaniladi va u kadrning xarakterli xususiyatlari hamda shaxsiy xususiyatlarini ifodalovchi layoqatlarni o'z ichiga oladi. Bu konsepsiyada asosiy diqqat mutaxassisning ma'lum shaxsiy fazilatlar va imkoniyatlari uning kasbdagi yutuqlarini ta'minlashiga qaratilgan. Ilmiy adabiyotda bu ikki tushuncha bir-birini to'ldiruvchi hodisalar sifatida talqin etilib, ular mos ravishda olingan ta'limning yakuniy natijasi hamda shaxsning o'quv faoliyati va shaxsiy taraqqiyoti jarayonida vujudga kelgan ko'plab sifatlar sifatida tavsiflanadi [1].

Kompetentlik yondashuvining Amerika kontsepsiyasi.

Kompetentlikga asoslangan yondashuvning rivojlanishi va uning inson resurslarini boshqarish sohasida tarqalishi Devid Makkleland va Richard Boyatzisning tadqiqotlari bilan bog'liq. Kompetensiyaga asoslangan yondashuvning AQShdagi ilk nazariyotchisi amerikalik psixolog Devid MakKlelland hisoblanadi. U kompetensiyani ijtimoiy psixologiya doirasida talqin qilgan. Olimning yozishicha, kompetensiya tushunchasi rasmiy e'tirof etilmagan davrda (1970-yillar boshlarigacha) psixologlar shaxsning mehnatdagi samaradorligini belgilovchi sharoitlarni aniqlashga harakat qilganlar. Ushbu izlanishlar dastlab kasb va insonni alohida tadqiq etishdan boshlangan, keyinchalik esa ularning o'zaro bog'liqligini topishga urinilgan. Tadqiqotlar tartibi esa bunday edi: psixologlar avvaliga ish bajarish uchun lozim bo'lgan vazifalarni ajratib olishgan, keyin ularni uddalashga zarur

ko'nikmalarni aniqlash uchun testlar ishlab chiqishgan, olingan test ko'rsatkichlarini omillarga ajratishgan va hosil bo'lgan omillarni ish natijadorligi bilan solishtirishga intilganlar. Amerika Qo'shma Shtatlari va boshqa bir qator mamlakatlarda IQ testidan foydalanish va abituriyentlarning ilmiy baholarini ishga joylashish uchun suhbatlarda hisobga olish bu yondashuvning misolidir [3].

1940-yillarda Ueslian universiteti (AQSh) professorlaridan biri MakKlellandning mazkur ta'rifiga e'tiroz bildirgan. U universitetning 8 nafar a'lochi va 8 nafar akademik ko'rsatkichlari past bo'lgan talabalarining keyingi karyerasini kuzatishga kirishgan. 20 yildan so'ng, 1960-yillarga kelib, ushbu ikki guruh vakillarining kasbiy faoliyati va yutuqlari o'rtasida jiddiy farq mavjud emasligi ayon bo'lgan. Har ikki guruh talabarlari kollejda muayyan kasb - yurisprudensiya, muhandislik yoki tibbiyot bo'yicha ta'lim olishgan. Farq shunda bo'lganki, a'lochilar kollejni tugatgach, nomdor universitetlarga o'qishga kirishgan, biroq ularni bitirgach, ularning karerasi past baho bilan o'qiganlarnikidan ortiqcha ajralib turmagan. MakKlelland shunday xulosaga kelgan: "intellekt darajasi o'quv jarayonidagi muvaffaqiyat va akademik yutuqlarni belgilasa-da, u ish samaradorligi yoki umumiy hayotiy muvaffaqiyat bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'liq emas. Shuning uchun intellekt testlari ma'lum soha bo'yicha bilimni baholash uchun yaroqli, lekin karera muvaffaqiyatini oldindan aytishda noaniqdir, chunki aksariyat akademik testlar tayyor javoblarni tanlashga asoslangan bo'lib, hayotiy vaziyatlarda esa bunday tanlov kamida uchraydi" [3].

MakKlelland yana ta'kidlaganki, an'anaviy qobiliyat va fan bilimlari testlari ijtimoiy-iqtisodiy jihatdan zaif guruhlariga, etnik ozchiliklarga va ayollarga nisbatan ko'pincha adolatsiz bo'ladi. U taklif etgan metodologiyada tahlil shaxsni bevosita uning ish faoliyatida, ishni bajarish uchun zarur xususiyatlar haqida oldindan fikr yuritmasdan o'rganishdan boshlanadi.

Keyin, suhbat orqali, ishdagi muvaffaqiyat bilan bog'liq insoniy fazilatlar aniqlanadi. O'zgaruvchan vakolatlar g'oyasiga asoslangan ushbu yondashuv "kompetentlik yondashuvi" deb ataladi.

Kompetentlik yondashuvi doirasida D. MakKlelland boshqa usullardan ham foydalangan. Xususan:

- "mezon namunalari"dan foydalanish-bunda bir guruhga bir necha yuqori malakali professional ijrochilar kiradi, ikkinchisi esa qarama-qarshi (kontrast) namuna sifatida xizmat qiladi;
- o'rtacha yoki past ko'rsatkichlarga ega bo'lgan, ya'ni ishdan bo'shatilmaslik uchun o'z vazifalarini munosib bajaradigan xodimlar;
- operativ (operant) xulq-atvorni aniqlash-shaxsning ichki holati (motivlar, kayfiyat, qadriyatlar) va ularning samarali mehnatga olib keladigan aniq harakatlarini o'rganish. Bunda subyekt tugallanmagan, strukturalashmagan vaziyatda o'z-o'zidan paydo bo'lgan xulq va fikrlarni namoyon qilish yoki ilgari shunga o'xshash holatlarda unga xos bo'lgan xatti-harakatlarni takrorlash imkoniyatiga ega.

1973-yilda "Amerika psixologiyasi" jurnalida chop etilgan "Aql-idrok uchun emas, balki kompetensiyani sinovdan o'tkazish" ("Testing for Competence Rather Than for Intelligence") nomli maqolasida MakKlelland qaysi testlar ishda muvaffaqiyat va yuqori samaradorlikni bashorat qilishini tahlil qilgan. Ushbu asarda u kadrlarni tanlashda intellekt va psixometrik testlarni qo'llashga qarshi chiqib, kompetensiyani kasbiy yaroqlilik va ish qobiliyatining aniqroq mezoni sifatida taklif etgan.

MakKlelland kompetensiyalarni rivojlantirishga ham alohida e'tibor qaratgan. Uning fikricha, kompetensiyalar ma'lum darajada tabiiy (tug'ma) bo'lsa-da, ularni ta'lim va tarbiya jarayonida o'zgartirish va takomillashtirish mumkin. Demak, past ko'rsatkichli ijrochilar ham o'z faoliyatini yaxshilashga va ish uchun zarur bo'lgan kompetensiyalarni rivojlantirishga yo'naltirilishi mumkin.

MakKlelland g'oyalari 1970-yillarda MakBer va Kompaniya (McBer & Company) tomonidan AQSh Davlat departamentining Diplomatik axborot xizmatiga kichik ofitserlarni tanlashda sinovdan o'tkazilgan. AQSh Tashqi ishlar xizmatiga ishga olishdagi asosiy muammo "umumiy qobiliyat imtihonidan olingan ballar va nomzodning juda boy so'z boyligi uning Efiopiya kabi joylarda qanchalik samarali ishlashini aniqlay olmasligi" edi.

Tadqiqotning dastlabki bosqichida ikki guruh diplomatlar tanlab olingan: yuqori ijrochilar guruhi (eng yaxshi va samarali yosh diplomatlar) va o'rtacha ijrochilar guruhi. Ularning barchasi xulq-atvor namunaviy intervyusida (Behavioral Event Interview - BEI) ishtirok etgan.

BEI uchta ajoyib muvaffaqiyat va uchta eng jiddiy muvaffaqiyatsizliklarning qisqacha hisobotlaridan iborat edi. Savollar: “Bu vaziyatga nima sabab bo‘ldi? Bu vaziyatda nimani o‘ylar edingiz, his qildingiz va nima qilishni xohladingiz?” va boshqalar. Natijalar CAVE (Og‘zaki ifoda mazmunini tahlil qilish) yordamida umumlashtirildi. “Eng yuqori va eng kam samarali ijrochilarning BEI transkriptlarini tahlil qilish ularni bir-biridan statistik jihatdan muhim farqlar darajasiga ajratib turadigan xulq-atvor xususiyatlarini aniqlashga imkon berdi” [3].

Yakuniy qadam, natijada olingan kompetentsiya modelining haqiqiylikni tekshirish bo‘lib, u muvaffaqiyatli xodimlarga aylanadigan nomzodlarning xatti-harakatlarini haqiqatdan ham bashorat qilishini isbotlash edi. Tadqiqot natijalariga asosan Diplomatik xizmatning Axborot departamentidagi diplomatlar uchun ilk malaka modeli ishlab chiqildi. Ushbu model quyidagi asosiy kompetensiyalarni o‘z ichiga olgan:

- shaxslararo muloqotdagi madaniy farqlarni tushunish;
- boshqalar bilan aloqada ijobiy kutilmalarga ega bo‘lish;
- yangi siyosiy muhitda tezkor harakat qilish qobiliyati.

D. MakKlellandning tadqiqotlari kompetensiyaga asoslangan yondashuvga zamin yaratdi. Ularning ko‘rsatishicha, aniqlangan kompetensiyalar tashkilotning konteksti va ijtimoiy muhitiga sezgir bo‘ladi. Masalan, muvaffaqiyatli o‘qituvchilar kichik qishloq maktablarida amalda nima qilishlarini tasvirllovchi ma’lumotlar psixologlar va boshqa ta’lim mutaxassislari muvaffaqiyat uchun zarur deb hisoblaydigan nazariy tasavvurlardan farq qiladi.

Kompetensiyaga asoslangan yondashuv AQShda katta e’tibor qozondi. 1979-yilda Amerika Menejment Assotsiatsiyasi (AMA) samarali boshqaruv bilan bog‘liq bo‘lgan beshta kompetensiya klasterini aniqladi: resurslarni boshqarish, shaxslararo munosabatlar, axborot bilan ishlash, tizimli fikrlash va texnologik ko‘nikmalar.

Turli xil kompetensiya klasterlari o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik va ularni farqlash, ushbu yondashuvni ishlab chiquvchilarning fikriga ko‘ra, muvaffaqiyatning asosiy omillarini modellashtirish va alohida klasterlarda ularning shakllanish darajasini baholash jarayonida amalga oshirilishi lozim [4].

Devid MakKlelland va uning McBer konsalting firmasidagi hamkasblari ishi 1981-yilda yangi turtki oldi. O‘shanda Amerika Menejment Assotsiatsiyasi McBer maslahatchisi va emotsional intellekt bo‘yicha mutaxassis Richard Boyatzisga alohida modellardan umumiy boshqaruv malakasi modelini olish mumkinligini o‘rganishni topshirgan.

Qayd etish joizki, Boyatzis [4] birinchi bo‘lib “kompetentlik” tushunchasining aniq ta’rifini shakllantirgan. Uning fikricha, kompetensiya “shaxsning samarali faoliyat ko‘rsatishi bilan sababiy bog‘liq bo‘lgan asosiy xususiyatdir”.

Biroq, kompetensiya faqat qobiliyatdir, chunki shaxsiy kompetensiyalar majmui shaxsning imkoniyatlarini aks ettiradi. Ular vaziyat yoki muhitdan qat’i nazar, inson nima qila olishini (lekin buni qilish shart emas) tasvirlaydi. Kompetensiyani samarali ishlashni qoniqarli yoki samarasiz ishlashdan ajratib turadigan xususiyatlar to‘plami sifatida belgilab, Boyatzis ish uchun muhim bo‘lgan, ammo uning samaradorligiga ta’sir qilmaydigan xususiyatlarni aniqladi. U ularni chegaraviy kompetensiyalar sifatida belgilagan [4].

Boyatzisning konsepsiyasiga ko‘ra, xulq-atvorga oid motivlar, shaxsiyatning o‘zligini idrok etish, ijtimoiy vazifa va kompetensiyaga kiruvchi ko‘nikmalar ierarxik tartibda joylashgan. Ular turli sathlarda faoliyat ko‘rsatadi: motivatsiya va xususiyatlar aksariyat hollarda ongsiz darajada bo‘lsa, o‘zligini anglash va ijtimoiy rol ongli ravishda shakllanadi. Malakalar esa amaliy harakatlar sathida ifodalanib, ierarxiyaning barcha boshqa bo‘g‘inlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Kompetensiyaviy yo‘nalishni yanada takomillashtirishga Layl (kichik) va Sine Spenser muhim hissa qo‘shdilar. Ular 1989-yila McBer kompaniyasi tomonidan to‘plangan ma’lumotlar asosida 20 yillik keng ko‘lamli tadqiqot natijalarini chuqur tahlil etdilar. Bu izlanishga 100 ga yaqin olim jalb

etilib, ular tomonidan jami 286 ta kompetensiya modeli ishlab chiqilgan. Natijaga ko'ra, modellarning uchdan ikki qismi AQSh, qolganlari esa xorijiy mamlakatlar olimlari tomonidan yaratilgan [5].

Spenser juftligi ushbu modellarni solishtirish va umumlashtiruvchi xulosalar chiqarish uchun har bir model tarkibidagi xulq-atvor ko'rsatkichlarini atroflicha tekshirdi. Barcha modellardan 760 ta xatti-harakat indikatorini ajratib olishga muvaffaq bo'ldilar. Natijada ushbu ko'rsatkichlardan 360 tasi 21 asosiy kompetensiyani ifodalashi, shuningdek har bir alohida model doirasida xulq-atvorning 80% dan 98% gacha qismini qamrab olishi aniqlandi [5].

Kompetentlik yondoshuvining Yevropacha kontseptsiyasi.

Kompetensiyaga asoslangan yondashuvning amerikacha talqini bilan birga, Yevropada o'ziga xos konseptual yo'nalish shakllangan. Buyuk Britaniyada mazkur metodologiya 1980-yillarda davlatning ishsizlarni qayta tayyorlash siyosati bilan bog'liq holda rivojlana boshladi. Ayni paytda Britan orollarida mavjud malakaga bo'lgan talablar ma'lum bir vazifani bajarish uchun bilim va ko'nikmalarning to'liq doirasini belgilar edi. Kompetensiyaviy standartlar sifatida ish harakatlari ro'yxati qabul qilinib, ular asosida Milliy kasbiy malakalar tizimi shakllantirildi [1].

Fransuz va nemis modellari Yevropada eng keng tarqalgan yo'nalishlar hisoblanadi [1]. Fransiyada kompetensiyaviy tadqiqotlar 1980-yillarning o'zida boshlangan bo'lsa-da, ularning asosiy ommaviy bosqichi 1990-yillarga to'g'ri keladi. Fransuz rivojini shartli ravishda quyidagi bosqichlarga bo'lish mumkin: korxona doirasidagi tashkiliy kompetensiya g'oyasining vujudga kelishi; menejment va konsultatsiya sohasi uchun amaliy vositalarni yaratish; kompetensiya bo'yicha turli konseptual yondashuvlarning shakllanishi. 1993-yilda Fransiyaning bandlik agentligi (ANPE) bu sohadagi akademik munozaralarni jadallashtirdi. Natijada korxonalar malakalilik (kvalifikatsiya) emas, balki individual kompetensiyani baholash tizimiga o'tdilar. 1990-yillar o'rtasidan keyin kompetensiya tushunchasi kadrlar boshqaruvi tizimida markaziy mavqega ega bo'ldi. MEDEF tomonidan ishga tushirilgan "Obyektiv kompetensiyalar" loyihasi ham bu rivojga turtki berdi. Fransuzcha talqinda kompetensiya uchta tarkibiy qismga ajratiladi: bilim, amaliy tajriba va xulq-atvor xususiyatlari.

Germaniyada esa professionallikni baholashda uzoq vaqt davomida asosiy e'tibor bilimning aniq tavsifiga qaratilgan edi. 1980-yillarda ushbu tizimga "asosiy malakalar" kiritildi. Ular mustaqil harakat, muammolarni yechish, moslashuvchanlik, hamkorlik va axloqiy yetuklik kabi jihatlarni qamrab oldi. 1996-yilda esa Germaniyada "harakat kompetensiyalari" paydo bo'ldi. Nemis tizimida kasbiy (sohaga xos), shaxsiy va ijtimoiy kompetensiyalar alohida ta'riflanadi. Kasbiy kompetensiyalar fanga oid bilim va ko'nikmalarga tayanib, muammolarni mustaqil yechish va natijalarni baholashga qaratilgan [6]. Umumiy kognitiv kompetensiyalar esa fanga xos kompetensiyalarni shakllantirish uchun zamin bo'lib, ular muammolarni muvaffaqiyatli hal etish qobiliyatini ifodalaydi [7].

Shaxsiy kompetensiyalar odamning kasbiy va ijtimoiy hayotidagi rejalarni tuzish, muqobil yo'llarni baholash, shuningdek mustaqillik, mas'uliyat, ishonchlilik, burch hissi kabi xususiyatlarni o'z ichiga oladi. Ijtimoiy kompetensiyalar esa boshqalar bilan ijobiy va adolatli munosabatlar o'rnatish, ijtimoiy mas'uliyat va birdamlik ruhini rivojlantirish layoqatini tavsiflaydi.

Muhokamalar

Muhandislarning mehnat xavfsizligi kompetensiyasi kasbiy kompetentlikdan tubdan farq qiladi. Chunki muhandis texnologik jarayonlarni ishlatish va boshqarish bilan bir qatorda inson omilini ham boshqaradi va ularning hayotiy faoliyati xavfsizligiga mas'ul hisoblanadi. Bu esa bo'lajak muhandislarda kasbiy kompetentlik bilan uzviy bog'langan holda mehnat xavfsizligi kompetensiyasini ham shakllantirish va rivojlantirish masalasiga borib taqaladi.

Mehnat xavfsizligini to'liq ta'minlash ko'plab omillarni – ilmiy dunyoqarash, fiziologiya, psixologiya, pedagogika, ergonomika, ekologiya, tibbiyot, texnika, tashkiliy va operativ ishlar, huquq, iqtisod kabi sohalarni birlashgan holda ko'rishni taqozo etadi. Bu vazifalarni bajarish uchun turli vositalar mavjud: xavfsiz harakat madaniyatini shakllantirish, kasbiy tayyorgarlik darajasini oshirish, boshqaruvchilarga psixologik ta'sir etish, texnik va tashkiliy himoya vositalarini qo'llash,

shaxsiy himoya vositalaridan foydalanish, shuningdek imtiyozlar va kompensatsiyalar tizimini yaratish. Bu vositalar bo'lajak mutaxassislarning mehnat xavfsizligi sohasidagi kompetentligi bilan chambarchas bog'liq bo'lib, kompetentlik yondashuvini talab qiladi [1].

Mehnatni muhofaza qilishni boshqarishda xavf darajasini pasaytirish va uzluksiz tavsakalchilikni hisobga olish imkoniyatlari xavfsizlikni boshqarishning metod va texnikalariga bo'lgan ehtiyojni ko'rsatadi. Boshqaruv «inson-muhit» munosabatlariga tashkiliy ta'sir etish yoki xavfli holatni boshqa, nisbatan xavfsizroq holatga keltirishdir. Boshqaruv jarayoni iqtisodiy va texnik ko'rsatkichlarning mos kelishini talab qiladi [8].

Mehnat xavfsizligini boshqarishning asosiy metodologiyasi tizimli yondashuvga asoslangan. Unda tizimli tahlil orqali xavfsizlikni boshqarishning asosiy prinsiplari ishlab chiqiladi. Bu prinsiplar qatoriga quyidagilar kiradi: maqsadni aniq belgilash; muammoni yaxlit ko'rish; alternativ yo'llarni tahlil qilish; oraliq natijalarning umumiy natijaga ta'sir qilmasligi. Bu prinsiplar reallik, aniqlik, adskvatlik, samaradorlik va nazorat qilish talablariga javob berishi shart. Maqsadni ierarxik ko'rish, ya'ni har bir bosqichning natijasi keyingi bosqich va yakuniy natijaga salbiy ta'sir ko'rsatmasligi muhim [9].

Xavfsizlik bo'yicha talablarni hisobga olish faoliyatning barcha davrini – g'oya, ilmiy tadqiqot, konstruktorlik, loyihalash, amaliyotga joriy etish, tashish, foydalanish, takomillashtirish, konservatsiyalash va tugatishni qamrab olishi lozim.

Mehnat xavfsizligini boshqarish aniq funksional bosqichlardan iborat: obyekt holatini tahlil qilish, rejalashtirish, boshqaruv tizimlarini tashkil etish, nazorat, samaradorlikni aniqlash va rag'batlantirish.

Muhandislarning mehnat xavfsizligi kompetentligini shakllantirish shart-sharoitlariga mos holda mamlakatimiz va xorijiy olimlarning kompetentlik yondoshuvi sohasidagi ilmiy-tadqiqotlarini tahlillari asosida muhandislik kompetentligiga qo'yidagicha ta'rif beriladi: "Muhandisning kasbiy kompetentligi o'z kasbiy faoliyatini yuqori darajada olib borish uchun zarur bilim, malaka qobiliyatlar, xodimning dunyoqarashi hamda liderlik potentsiali bilan baholanadi va ayrim hollarda motivlar, e'tiqodlar hamda qadriyatlarni ham o'z ichiga oladi" [10]. Shu sababli muhandis kompetentligining asosiy xususiyatlariga qo'yidagilarni kiritishimiz mumkin:

1. Muhandisning shaxsiy xarakteristikasini (bilimi, malakasi, motiv, dunyoqarashi, e'tiqodi, qadriyatlar va b.) kompetentlikning asosiy komponenti sifatida qarash.
2. O'z kasbiy faoliyatini yuqori darajada bajarish qobiliyati.
3. Kompetentlik komponentlarini aniq bir korxona yoki aniq bir shaxs uchun emas, balki umumiy deb qabul qilish.
4. Mehnat xavfsizligi va ekologik komponentlarni o'zida mujassam aks etishi.

Kompetensiyani "muhandisning kasbiy va hayotiy faoliyatiga muhim ta'sir qiladigan, kasbiy vazifalarini qanday darajada bajarishi bilan bog'liq bo'lgan, qabul qilingan standartlar bo'yicha baholanadigan hamda ta'lim olish orqali rivojlanadigan bilimlar majmui ma'lum bir soha bo'yicha bilimlar majmui"- deb ta'riflashimiz mumkin [11]. Kompetensiyaning ushbu ta'rifida asosiy e'tibor bilimlar majmuiga qaratiladi, lekin ta'kidlash joizki faqat bilim va malaka insonni kompetentli mutaxassis sifatida baholashga asos bo'lmaydi. Shu sababli ta'lim jarayonida egallangan nazariy bilim va amaliy ko'nikmalarni malakali ravishda kasbiy faoliyatda qo'llay olish ham talab etiladi. Ta'rifda "standartlar bo'yicha baholanadigan"- degan jumlaning ishlatilishida mutaxassisning nazariy bilim va amaliy ko'nikmalarini yoki ish faoliyatini yoki aniq bir o'rnatilgan mezonlar (standart, nizom va b.) asosida baholanishi nazarda tutilgan. Shu sababli ushbu ta'rifning boshqa ta'riflardan farqi baholash natijasida xodimni tanlash yoki uning kelajakdagi faoliyatini bashoratlash mumkin bo'ladi [12]. Bundan tashqari muhandisning kasbiy kompetensiyasi standart va nostnadart vaziyatlarni boshqara olish va mehnat xavfsizligini ta'minlash malakasi bilan ham baholanadi.

Muhandisning mehnat xavfsizligi kompetensiyasini shakllantirish modeli kompetentlikni shakllantirishga yo'naltirilgan o'quv jarayonini tashkil etish sxemasi hisoblanadi va nazariy metod sifatida pedagogikada keng qo'llaniladi. Ushbu metod integrativ hisoblanib, pedagogik tadqiqotlarning empirik va nazariy elementlarini umimlashtirgan holda xulosa chiqarishga imkon yaratadi.

Xulosa

Kompetentliklar profilining aniqlanishi mutaxassislar tomonidan o'z kasbiy rivojlanish yo'nalishlarini belgilashda alohida ahamiyatga ega. Mazkur tushunchani strategik kadrlar boshqaruvi doirasidagi bilimlar va ko'nikmalar majmui deb baholash mumkin. Kompetentlik bir qancha tarkibiy qismlardan - shaxsiy ilmiy salohiyat, amaliy ko'nikmalar, ishchanlik tajribasi va shaxsiy xususiyatlardan tashkil topadi. De Tech Development Technologies shirkati tomonidan taklif etilgan model esa kompetensiyalarni "20 aspekt" asosida izohlaydi.

Kompetentlik muammosining ko'p yo'nalishli va murakkabligiga qaramay, bugungi kunda bu sohada yetarli ilmiy tadqiqotlar olib borilmagan. "Kompetentlik" va "kompetensiya" terminlari idora qilish nazariyasi va pedagogika amaliyotida faol ishlatilishiga qaramasdan, ularning ta'riflari borasida hozircha yagona nuqtai nazar mavjud emas. Ayniqsa, turli davlatlardagi tadqiqotchilar va amaliyotchilar tomonidan berilayotgan ta'riflar bir-biridan farq qiladi.

Shunday ekan, mehnat xavfsizligini ta'minlash borasida ham kompetentlik yondashuvi asosidagi izlanishlarni chuqurlashtirish zaruriyati dolzarb ilmiy masala sifatida qolmoqda.

Adabiyotlar

- [1] Субочев Н.С., Архипова Т.Г. С 89 Компетентностный подход в управлении персоналом: учебное пособие / Н. С. Субочев, Т. Г. Архипова; Волгоградский институт управления – филиал ФГБОУ ВО РАНХиГС. – Волгоград: Издательство Волгоградского института управления – филиала РАНХиГС, 2016
- [2] Рахимов О. Д. Инновацион педагогик технологиялар: лойиҳалар услуги таълим сифатини оширувчи технология сифатида // Қарши, ТАТУ Қарши филиали. – 2013. – Т. 80.
- [3] McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for intelligence. *American Psychologist*, 28(1), 1–14.
- [4] Boyatzis, R. E. (1982). The competent manager: A model for effective performance. New York: John Wiley & Sons.
- [5] Spencer, L. M., & Spencer, S. M. (1993). Competence at work: Models for superior performance. New York: John Wiley & Sons.
- [6] Grasser, B., Loufrani-Fedida, S., & Oiry, E. (2020). The conceptual travel of competence: Building a bridge between North American and European approaches. //Managing Competences.
- [7] Хуторской, А. В. (2003). Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования //Народное образование, (2), 55-61.
- [8] Рахимов О. Электрон таълим ресурсларини яратиш талаблари ва технологияси //Современное образование (Узбекистан). – 2016. – №. 2. – С. 45-50.
- [9] Зимняя, И. А. (2004). Ключевые компетентности как результативно-целевая основа компетентностного подхода в образовании. Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов.
- [10] Dustkabilovich R. O. Innovative technologies in teaching directors and specialists of industrial enterprises on labor protection //O 'zbekiston Respublikasi Favqulodda Vaziyatlar Vazirligi Akademiyasi axborotnomasi. – 2021. – с. 108.
- [11] Михнюк, М. И., & Абитова, Ш. Ю. (2019). Компетентностный подход к подготовке будущих специалистов в области охраны труда // Проблемы современного педагогического образования.
- [12] Шадриков, В. Д. (2004). Новая модель специалиста: инновационная подготовка и компетентностный подход // Высшее образование сегодня, (8), 26-31.

UO‘K: 331.45:005(575.1)

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.15>

O‘ZBEKISTON KICHIK KORXONALARIDA MEHNAT XAVFSIZLIGI MADANIYATINING SOHALARARO TAQQOSLAMALI TAHLILI

Mustafayev Bilolbek Eshmurod o‘g‘li - doktorant (PhD),
E-mail: Mustafayev20@gmail.com, ORCID: 0009-0006-4698-3876,
Science ID: MQD -0726-0320

Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy tadqiqot instituti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada O‘zbekiston kichik korxonalarida mehnat xavfsizligi madaniyatining turli sohalaridagi holatini qiyosiy tahlil qilish natijalari keltirilgan. Tadqiqot 2023–2025 yillarda Qashqadaryo viloyatidagi uch xil sohada faoliyat yurituvchi korxonalarda o‘tkazildi: to‘qimachilik va qandolatchilik, neft-gaz xizmatlari hamda xizmat ko‘rsatish sohalari. OSCI-UZ diagnostik indeksi yordamida 33 nafar xodim qamrab olingan holda xavfsizlik madaniyatining 7 ta asosiy o‘lchovi bo‘yicha batafsil baholash amalga oshirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, neft-gaz xizmatlari sohasida xavfsizlik madaniyati darajasi eng past (50,6 ball), to‘qimachilik va xizmat ko‘rsatish sohalari esa nisbatan yuqori (58,0 ball) ekan. Barcha sohalarda hodisalardan o‘rganish o‘lchovi eng zaif (38,5–44,7 ball), me‘yoriy rioya etilishi esa eng yuqori (61,7–68,5 ball) natijalarni ko‘rsatdi. Yaxshilash tadbirlari natijasida neft-gaz sohasida 24,1%, boshqa sohalarda 19,8% o‘sish qayd etildi. Sohalararo farqlar xavflilik darajasi, xodimlar tajribasi va korxona o‘lchamlari bilan bog‘liqligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: mehnat xavfsizligi, xavfsizlik madaniyati, sohalararo tahlil, qiyosiy tadqiqot, kichik korxonalar, OSCI-UZ, diagnostik indeks.

UDK: 331.45:005(575.1)

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КУЛЬТУРЫ ОХРАНЫ ТРУДА В МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Мустафаев Биолбек Эшмурод угли - докторант (PhD)

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, г. Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье представлены результаты сравнительного анализа состояния культуры безопасности труда на малых предприятиях Узбекистана в различных отраслях. Исследование проводилось в 2023–2025 годах на предприятиях Кашкадарьинской области, работающих в трёх сферах: текстильной и кондитерской промышленности, нефтегазовом сервисе, а также сфере услуг. С использованием диагностического индекса OSCI-UZ было охвачено 33 сотрудника, проведена детальная оценка по 7 ключевым показателям культуры безопасности. Результаты показали, что самый низкий уровень культуры безопасности наблюдается в нефтегазовом секторе (50,6 балла), тогда как в текстильной и сфере услуг он выше (58,0 балла). Во всех секторах наименее развитым показателем оказалось обучение на основе происшествий (38,5–44,7 балла), тогда как соблюдение нормативов показало наилучшие результаты (61,7–68,5 балла). В результате внедрения мероприятий по улучшению зафиксирован рост: в нефтегазовой сфере — на 24,1%, в других — на 19,8%. Выявлено, что межотраслевые различия связаны с уровнем опасности, опытом работников и масштабами предприятий.

Ключевые слова: охрана труда, культура безопасности, межотраслевой анализ, сравнительное исследование, малые предприятия, OSCI-UZ, диагностический индекс.

UDC: 331.45:005(575.1)

COMPARATIVE ANALYSIS OF OCCUPATIONAL SAFETY CULTURE IN SMALL ENTERPRISES OF UZBEKISTAN BY INDUSTRY

Bilolbek Mustafayev, doctoral student

Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. This article presents the results of a comparative analysis of occupational safety culture in small enterprises of Uzbekistan across different sectors. The study was conducted in 2023–2025 in enterprises operating in Kashkadarya region within three sectors: textile and confectionery, oil and gas services, and the service industry. Using the OSCI-UZ diagnostic index, a total of 33 employees were assessed through a comprehensive evaluation based on 7 key dimensions of safety culture. The results revealed that the lowest level of safety culture was observed in the oil and gas sector (50.6 points), while relatively higher levels were found in the textile and service sectors (58.0 points). Across all sectors, the weakest dimension was learning from incidents (38.5–44.7 points), whereas regulatory compliance showed the highest scores (61.7–68.5 points). Following improvement measures, an increase of 24.1% was recorded in the oil and gas sector and 19.8% in other sectors. Intersectoral differences were found to be associated with hazard levels, employee experience, and enterprise size.

Keywords: occupational safety, safety culture, cross-sectoral analysis, comparative study, small enterprises, OSCI-UZ, diagnostic index.

Kirish

Mehnat xavfsizligi madaniyati har qanday korxonaning barqaror rivojlanishining muhim shartlaridan biridir. Turli sohalardagi korxonalar o'ziga xos xavflar, ishlab chiqarish jarayonlari va xavfsizlik talablari bilan tavsiflanadi. Kichik korxonalarda esa bu muammolar yanada murakkablashadi, chunki ular ko'pincha cheklangan resurslarga, past malakali xodimlarga va zaif boshqaruv tizimlariga ega. Jahon amaliyotida turli sohalar uchun xavfsizlik madaniyatini baholash bo'yicha turli yondashuvlar mavjud. Cooper va Finley (1997) sanoat korxonalari uchun, Flin va boshqalar (2000) aviatsiya sohasida, Parker va boshqalar (2006) qurilish sohasi uchun maxsus metodikalar ishlab chiqishgan. Biroq O'zbekiston sharoitida turli sohalardagi kichik korxonalarni qiyoslash imkonini beruvchi milliy tadqiqotlar kam [1, 2, 3]. O'zbekistonda kichik va o'rta korxonalar iqtisodiyotning muhim qismini tashkil etadi. 2024-yil ma'lumotlariga ko'ra, ular yalpi ichki mahsulotga 60% dan ortiq hissa qo'shadi va ish joylarining 78,5% ini ta'minlaydi. Shu bilan birga, har xil sohalardagi korxonalar mehnat xavfsizligi nuqtai nazaridan turlicha muammolarga duch kelmoqda. Ushbu tadqiqotning maqsadi O'zbekiston kichik korxonalarida mehnat xavfsizligi madaniyatining turli sohalardagi holatini OSCI-UZ diagnostik indeksi yordamida qiyosiy tahlil qilish va har bir soha uchun maxsus tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Materiallar va uslublar

Tadqiqot 2023-2025 yillarda Qashqadaryo viloyatida o'tkazildi. Tanlamaga uch xil sohada faoliyat yurituvchi kichik korxonalar kiritildi: to'qimachilik va qandolatchilik sohasi (10 nafar xodim), neft-gaz xizmatlari sohasi (8 nafar xodim), xizmat ko'rsatish sohasi (15 nafar xodim). Jami 33 nafar xodim tadqiqotda ishtirok etdi. Korxonalarning umumiy tavsifi 1-jadvalda keltirildi.

1-jadval. Tadqiqotda ishtirok etgan korxonalarning umumiy tavsifi

Soha	Xodimlar	O'rtacha yosh	Ish staji	Ishtirok, %
To'qimachilik/qandolatchilik	10	25,4	4,8 yil	70%
Neft-gaz xizmatlari	8	52,0	10,0 yil	50%
Xizmat ko'rsatish	15	30,4	4,8 yil	50%

Tadqiqot uchun OSCI-UZ (Occupational Safety Culture Index - Uzbekistan) diagnostik indeksidan foydalanildi [4]. Bu metodika 7 ta asosiy o'lchov va 42 ta indikordan iborat bo'lib, Cronbach alfa koeffitsiyenti $\alpha=0,89$ bilan yuqori ishonchlilikka ega. Baholash 5 ballik Likert shkalasi asosida amalga oshirildi.

Natijalar va muhokama

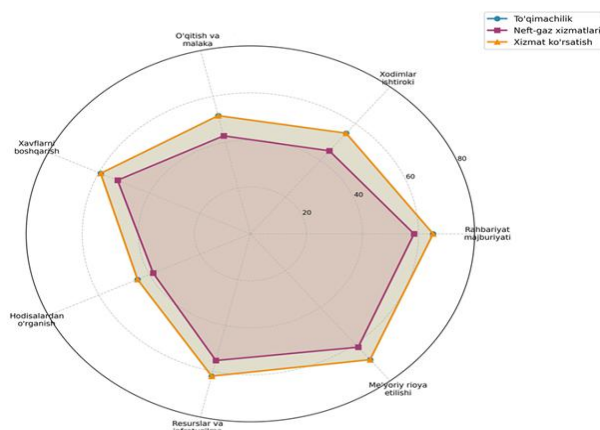
To'qimachilik va qandolatchilik sohasidagi korxonada umumiy OSCI-UZ indeksi 58,0 ballni tashkil etdi (2-jadval), bu o'rta darajaga to'g'ri keladi. Eng yuqori natija me'yoriy rioya etilishi o'lchovida (68,5 ball), eng past natija esa hodisalardan o'rganish o'lchovida (44,7 ball) qayd etildi. Rahbariyat majburiyati (65,2 ball) hamda resurslar va infratuzilma (62,1 ball) ham nisbatan yuqori ko'rsatkichlarni ko'rsatdi. Ushbu sohaga xos asosiy xavflar quyidagilardan iborat: to'quv dastgohlarida jarohatlanish, chang va allergik reaksiyalar, ergonomik muammolar (uzoq vaqt bir holatda ishlash) [5]. Yaxshilash tadbirlari natijasida dastgohlardan jarohatlanish 3 tadan 1 tagacha, chang miqdori buzilishlari 5 tadan 2 tagacha kamaydi. Himoya vositalari foydalanish darajasi 65% dan 87% ga oshdi.

Neft-gaz xizmatlari sohasidagi korxonada OSCI-UZ indeksi barcha sohalar ichida eng past – 50,6 ballni tashkil etdi. Bu yuqori xavflilik darajasiga ega bo'lgan sohada xavfsizlik madaniyatining yetarli darajada rivojlanmaganligidan dalolat beradi. Eng zaif tomoni hodisalardan o'rganish o'lchovi (38,5 ball - past daraja), eng kuchli tomoni esa me'yoriy rioya etilishi (61,7 ball). Sohaga xos xavflar: balandlikda ishlash, yong'in va portlash xavfi, og'ir yuklar ko'tarish, kimyoviy moddalar bilan aloqa. Tadbirlar natijasida balandlikdan tushish buzilishlari 7 tadan 2 tagacha, himoya to'siqlari buzilishlari 5 tadan 1 tagacha kamaydi. Shaxsiy himoya vositalari foydalanish 62% dan 89% ga oshdi. Biroq nisbatan yuqori o'sishga (24,1%) qaramay, bu soha hali ham past darajada qolmoqda.

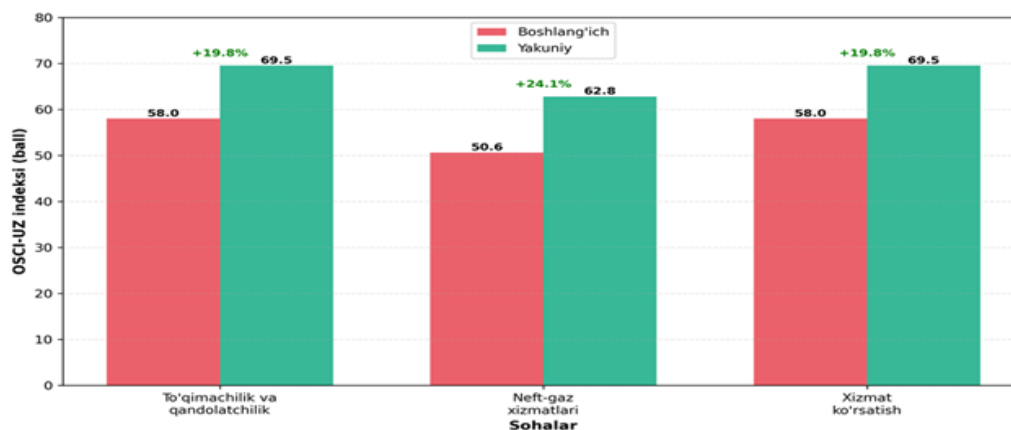
Xizmat ko'rsatish sohasidagi korxonada OSCI-UZ indeksi to'qimachilik sohasiga o'xshash 58,0 ballni tashkil etdi. O'lchovlar bo'yicha taqsimot ham deyarli bir xil: me'yoriy rioya etilishi 68,5 ball, hodisalardan o'rganish 44,7 ball. Bu o'xshashlik ikki sohada ham nisbatan past xavflilik darajasi va o'xshash boshqaruv yondashuvlari bilan bog'liq [6].

2-jadval. Sohalar bo'yicha OSCI-UZ o'lchovlari natijalari

O'lchov	To'qimachilik	Neft-gaz	Xizmat ko'rsatish	Farq
Rahbariyat majburiyati	65,2	58,4	65,2	6,8
Xodimlar ishtiroki	54,8	45,2	54,8	9,6
O'qitish va malaka	51,6	42,8	51,6	8,8
Xavflarni boshqarish	59,3	52,6	59,3	6,7
Hodisalardan o'rganish	44,7	38,5	44,7	6,2
Resurslar va infratuzilma	62,1	55,3	62,1	6,8
Me'yoriy rioya etilishi	68,5	61,7	68,5	6,8
UMUMIY INDEKS	58,0	50,6	58,0	7,4



1-rasm. Sohalar bo'yicha OSCI-UZ o'lchovlari.



2-rasm. Sohalar bo'yicha OSCI-UZ indeksining o'zgarishi

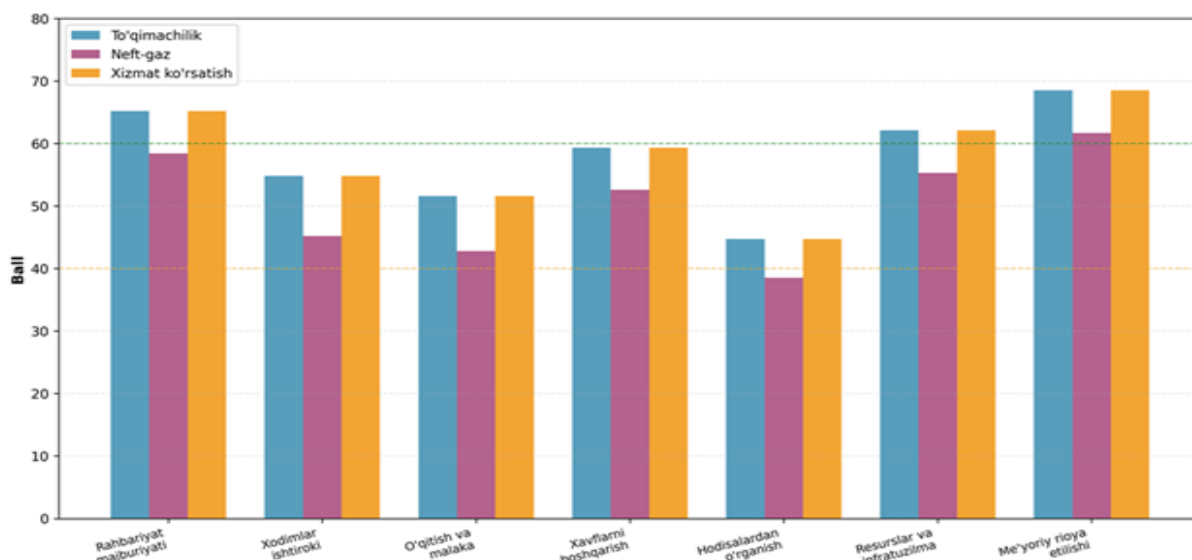
Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki (1- va 2-rasmlar), turli sohalarida mehnat xavfsizligi madaniyati darajasi sezilarli farq qiladi [7]. Neft-gaz xizmatlari sohasida OSCI-UZ indeksi eng past (50,6 ball), to'qimachilik va xizmat ko'rsatish sohalarida esa bir xil (58,0 ball).

Bu farqlar bir necha omillar bilan bog'liq. Birinchidan, xavflilik darajasi muhim rol o'ynaydi. Neft-gaz sohasida xavflar yuqori bo'lsa-da, xavfsizlik madaniyati past. Bu paradoks shuni ko'rsatadiki, faqat xavf mavjudligi avtomatik ravishda yuqori xavfsizlik madaniyatiga olib kelmaydi [8]. Aksincha, to'g'ri boshqaruv va investitsiyalar kerak. Ikkinchidan, xodimlarning tajribasi va yoshi ta'sir ko'rsatadi. Neft-gaz sohasida o'rtacha yosh 52, ish staji 10 yil, boshqa sohalarida esa yosh va yangi xodimlar ko'p. Tajribali xodimlar ko'pincha xavfsizlik qoidalarini e'tiborsiz qoldirishadi, chunki "men buni ko'p marta qildim, hech narsa bo'lmaydi" deb o'ylashadi. Uchinchidan, korxona o'lchami va tuzilmasi muhim. Xizmat ko'rsatish sohasidagi korxonada 15 nafar xodim bor, bu kichik guruhda muloqot va nazoratni osonlashtiradi. Neft-gaz sohasida esa 8 nafar bo'lsa-da, ularning katta qismi (6 nafar) dala sharoitida ishlaydi, bu nazoratni qiyinlashtiradi.

Umumiy tendentsiyalar. Barcha uch sohada ham quyidagi umumiy tendentsiyalar kuzatildi (3-rasm):

Me'yoriy rioya etilishi barcha sohalarida eng yuqori natijalarni ko'rsatdi (61,7-68,5 ball). Bu shuni anglatadiki, kichik korxonalar qonunchilik talablarini rasmiy bajarishga e'tibor berishadi, lekin haqiqiy xavfsizlik madaniyati kamroq rivojlangan [9].

Hodisalardan o'rganish barcha sohalarida eng zaif tomoni (38,5-44,7 ball). Bu tizimli tahlil va to'g'rilovchi choralar mexanizmi yo'qligini ko'rsatadi. Baxtsiz hodisa yuz berganda, faqat aybdorni jazolash bilan cheklaniladi, lekin asosiy sabablarga e'tibor berilmaydi [10].



3-rasm. O'lchovlar bo'yicha sohalararo taqqoslash

Xodimlar ishtiroki barcha sohalarida o'rtacha darjada (45,2-54,8 ball). Xodimlar xavfsizlik qarorlarini qabul qilishda yetarlicha ishtirok etmaydi, ularning fikrlari e'tiborga olinmaydi (3-jadval).

3-jadval. Sohalararo qiyosiy ko'rsatkichlar

Ko'rsatkich	To'qimachilik	Neft-gaz	Xizmat ko'rsatish
Boshlang'ich OSCI-UZ	58,0	50,6	58,0
Yakuniy OSCI-UZ	69,5	62,8	69,5
O'sish (%)	+19,8%	+24,1%	+19,8%
Eng yuqori o'lchov	Me'yoriy rioya (68,5)	Me'yoriy rioya (61,7)	Me'yoriy rioya (68,5)
Eng past o'lchov	Hodisalardan o'rganish (44,7)	Hodisalardan o'rganish (38,5)	Hodisalardan o'rganish (44,7)

O'zbekiston kichik korxonalarida mehnat xavfsizligi madaniyatining sohalararo qiyosiy tahlili bir qator muhim xulosalarga olib keldi. Birinchidan, turli sohalarida xavfsizlik madaniyati darajasi sezilarli farq qilishi aniqlandi. Eng past daraja neft-gaz sohasida 50,6 ballni tashkil etgan bo'lsa, eng yuqori ko'rsatkich to'qimachilik va xizmat ko'rsatish sohalarida 58,0 ball darajasida qayd etildi. Ikkinchidan, barcha sohalarida umumiy muammo sifatida hodisalardan o'rganish tizimining zaif rivojlanganligi kuzatildi. Bu o'lchov barcha sohalarida eng past natijalarni ko'rsatib, 38,5 dan 44,7 ball oralig'ida baholandi. Uchinchidan, me'yoriy rioya etilishi barcha sohalarida eng yuqori natijaga ega bo'lib, 61,7 dan 68,5 ball oralig'ida bo'ldi, lekin bu ko'rsatkich faqat rasmiy talablarga rioya qilishni aks ettiradi, haqiqiy xavfsizlik madaniyatining shakllanganligini to'liq tasdiqlamaydi. To'rtinchidan, amalga oshirilgan yaxshilash tadbirlari barcha sohalarida ijobiy natija berdi, bunda eng katta o'sish neft-gaz sohasida 24,1% ni tashkil etdi, bu esa ushbu sohada boshlang'ich darajaning eng past bo'lganligidan kelib chiqqan holda izohlanadi. To'qimachilik va qandolatchilik sohasi uchun quyidagi tadbirlar tavsiya etiladi. Birinchi navbatda, chang nazorat tizimini mustahkamlash va havo filtrlash uskunalarini muntazam tekshirish zarur. Shuningdek, ergonomik ish joylarini yaratish va tanaffuslar jadvalini optimallashtirish orqali xodimlarning mehnat sharoitlarini yaxshilash lozim. Bundan tashqari, dastgoh xavfsizligi bo'yicha o'qitishlarni kuchaytirish va xodimlarning amaliy ko'nikmalarini rivojlantirish muhim ahamiyatga ega. Neft-gaz xizmatlari sohasida eng ko'p e'tibor talab qiladigan yo'nalishlar mavjud. Tajribali xodimlar uchun qayta o'qitish dasturlarini joriy etish va ularning bilimlarini yangilash zaruriyati mavjud. Balandlikda ishlash bo'yicha qat'iy nazoratni o'rnatish va tegishli xavfsizlik qoidalariga rioya qilishni ta'minlash kerak. Hodisalarni tahlil qilish va to'g'rilovchi choralar mexanizmini yaratish orqali xavfsizlik tizimini uzluksiz takomillashtirish lozim. Shuningdek, xodimlar ishtiroki tizimini rivojlantirish va ularning xavfsizlik qarorlarini qabul qilishda faol ishtirokini ta'minlash muhimdir [11]. Xizmat ko'rsatish sohasida ham bir qator maxsus choralar zarur. Yangi xodimlar uchun yo'naltiruv dasturlarini yaxshilash va ularni ish jarayoniga to'g'ri kiritish kerak. Mijozlar bilan ishlashdagi xavfsizlik aspektlarini o'rgatish va muloqot jarayonida xavfsizlik qoidalariga rioya qilishni ta'minlash lozim [12, 13]. Favqulodda vaziyatlarga tayyorgarlik bo'yicha mashqlar o'tkazish va xodimlarning to'g'ri harakat qilish ko'nikmalarini rivojlantirish muhim ahamiyatga ega.

Xulosa

Barcha sohalar uchun eng muhim vazifa hodisalardan o'rganish tizimini joriy etishdir. Buning uchun bir qator ketma-ket tadbirlarni amalga oshirish zarur. Har bir hodisa va xavfli vaziyat to'g'risida to'liq hisobot tayyorlash va ma'lumotlarni tizimli ravishda to'plash kerak [13, 14]. Asosiy sabablarni aniqlash uchun batafsil tahlil o'tkazish va muammolarning ildiz sabablariga yetib borish lozim. To'g'rilovchi choralarni ishlab chiqish va ularni amalda samarali amalga oshirish muhimdir. Bundan tashqari, to'plangan tajribani boshqa xodimlar bilan almashish va umumiy bilim bazasini

shakllantirish zarur. Kelajakda tadqiqotni kengaytirish bo'yicha bir qator takliflar mavjud. Ko'proq korxonalarni tadqiqot doirasiga kiritish va kengroq tanlamani shakllantirish tavsiya etiladi. Turli hududlarda tadqiqotlar o'tkazish va hududiy xususiyatlarni hisobga olish lozim. Uzoq muddatli monitoring tashkil etish va dinamik o'zgarishlarni kuzatib borish muhimdir. Iqtisodiy samaradorlikni batafsil tahlil qilish va xavfsizlik madaniyatining moliyaviy ta'sirini baholash zarur. OSCI-UZ diagnostik indeksi O'zbekiston sharoitida turli sohalaridagi kichik korxonalar uchun xavfsizlik madaniyatini baholashning samarali vositasi ekanligi amaliy sinov natijalarida tasdiqlandi. Ushbu metodika yordamida zaif tomonlarni aniq aniqlash, muammoli yo'nalishlarni belgilash va har bir korxona uchun maqsadli yaxshilash dasturlarini ishlab chiqish mumkin. Metodikaning soddaligi, arzonligi va milliy sharoitlarga moslashganligi uni kichik korxonalar uchun qulay va samarali vositaga aylantiradi.

Adabiyotlar

- [1] Cooper M.D., Finley L.J. Strategic safety culture roadmap // Professional Safety. – 1997. – Vol. 42. – No. 2. – P. 28-33.
- [2] Flin R., Mearns K., O'Connor P., Bryden R. Measuring safety climate: identifying the common features // Safety Science. – 2000. – Vol. 34. – No. 1-3. – P. 177-192.
- [3] Parker S.K., Axtell C.M., Turner N. Designing a safer workplace: importance of job autonomy, communication quality, and supportive supervisors // Journal of Occupational Health Psychology. – 2006. – Vol. 6. – No. 3. – P. 211-228.
- [4] O'zbekiston Respublikasi Mehnat vazirligi. 2023-yil mehnat xavfsizligi hisoboti. – Toshkent, 2024. – 87 b.
- [5] International Labour Organization (ILO). Safety and health at work. – Geneva: ILO, 2023. – 145 p.
- [6] Reason J. Managing the risks of organizational accidents. – London: Ashgate, 1997. – 252 p.
- [7] Guldenmund F.W. The nature of safety culture: a review of theory and research // Safety Science. – 2000. – Vol. 34. – No. 1-3. – P. 215-257.
- [8] Cooper M.D., Phillips R.A. Exploratory analysis of the safety climate and safety behavior relationship // Journal of Safety Research. – 2004. – Vol. 35. – No. 5. – P. 497-512.
- [9] Cronbach L.J. Coefficient alpha and the internal structure of tests // Psychometrika. – 1951. – Vol. 16. – No. 3. – P. 297-334.
- [10] Wiegmann D.A., Zhang H., von Thaden T.L., Sharma G., Mitchell A.A. A synthesis of safety culture and safety climate research. – University of Illinois, 2002. – 115 p.
- [11] Hudson P. Safety culture – the ultimate goal // Flight Safety Australia. – 2001. – Vol. 5. – No. 4. – P. 29-31.
- [12] Neal A., Griffin M.A. A study of the lagged relationships among safety climate, safety motivation, safety behavior, and accidents // Journal of Applied Psychology. – 2006. – Vol. 91. – No. 4. – P. 946-953.
- [13] Clarke S. The relationship between safety climate and safety performance: a meta-analytic review // Journal of Occupational Health Psychology. – 2006. – Vol. 11. – No. 4. – P. 315-327.
- [14] Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process // International Journal of Services Sciences. – 2008. – Vol. 1. – No. 1. – P. 83-98.

UO‘K: 620.9:628.16:536.2:532.546

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.16>

KAPILLYAR TUZILMALI G‘OVAK MUHIT YORDAMIDA QUYOSH CHUCHUTGICHINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH: UCH O‘LCHOVLI SONLI TAHLIL VA EKSPERIMENTAL TASDIQLASH

Asqarov Murodbek – mustaqil izlanuvchi, E-mail: asqarov.murodbek@gmail.com,
ORCID: 0009-0003-5182-7630, Science ID: MXR-0426-0217

Raximov Nurbek Zokirovich – assistent, E-mail: rahimov1570@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-5194-5843, Science ID: MQD-0626-0103

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot kapillyar tuzilmali g‘ovak membrana bilan integratsiyalangan quyosh energiyasida ishlovchi chuchutish qurilmasi uchun kompleks uch o‘lchovli sonli modelni taqdim etadi. Boshqaruvchi tenglamalar, jumladan, issiqlik almashinuvi, kapillyar ta’sirida yuzaga keluvchi massa almashinuvi, Darcy-Brinkman impuls tenglamalari hamda Hertz-Knudsen formulasi asosidagi fazalararo bug‘lanish jarayonlari chekli hajmlar usuli (FVM) yordamida $6,4 \times 10^6$ nazorat hajmlaridan iborat to‘rda bir vaqtda yechildi va ikkinchi tartibli L^2 xatolik 0,28% ga erishildi. G‘ovaklik ($\varphi=0,20-0,90$) va kapillyar diametri ($d=10-200$ mkm) bo‘yicha parametrik optimallashtirish natijasida $\varphi=0,65$ va $d=35$ mkm qiymatlarda eng yaxshi ekanligi aniqlanib, maksimal issiqlik samaradorligi $\eta=83,7 \pm 2,2\%$ hamda kunlik chuchuk suv ishlab chiqarish $14,8 \pm 0,8$ kg/m²-kun ga yetgani qayd etildi (1000 W/m² quyosh nurlanishi sharoitida), bu an’anaviy tekis absorberlarga nisbatan 97,9 % ga yuqori ko‘rsatkichni tashkil etadi.

Kapillyar strukturali g‘ovak membrana (CPM) asosidagi quyosh chuchitgich qurilmasi Darcy-Brinkman-Forchheimer 3D matematik model yordamida tadqiq etildi. Issiqlik uzatish, massa almashish va kapillyar momentum tenglamalari bir vaqtda yechildi. Adaptiv chekli hajmlar metodi (FVM) $6,4 \times 10^6$ boshqaruv hajmli tarmoqda ikkinchi tartibli aniqlikda amalga oshirildi. G‘ovaklilik $\varphi = 0,20-0,90$ va kapillyar diametr $d=10-200$ μ m oralig‘ida parametrik optimallashtirish o‘tkazildi. Model natijalari laboratoriya tajribalari bilan taqqoslanib tasdiqlandi. Bug‘lanish kinetikasi Hertz-Knudsen tenglamasi orqali, tuz transporti esa reaktiv adveksiya-diffuziya tenglamasi orqali modellashtirildi.

Optimal konfiguratsiya $\varphi=0,65$ va $d=35$ μ m bo‘lganda issiqlik samaradorligi $\eta=83,7 \pm 2,2\%$ ga, kunlik hosildorlik esa $14,8 \pm 0,8$ kg/m²-kun ga yetdi. Bu ko‘rsatkichlar an’anaviy va yassi qurilmaga nisbatan mos ravishda 97,9 % va 185 % yuqori bo‘ldi. Sonli model tajriba ma’lumotlari bilan MAE=1,9% va $R^2=0,9974$ aniqlikda mos keldi. Kapillyar oqim konsentratsiya polyarizatsiyasini 44,3% ga kamaytirdi va erigan moddalarni 62 ± 12 mg/L ga tushirdi, bu WHO standartidan 8 baravar past. Optimallik cho‘qqisi $\varphi \approx 0,645$ da irradiance qiymatidan mustaqil ravishda saqlanib qoldi. Kapillyar qurilma an’anaviy absorberga nisbatan tuz qoldig‘ini 480 dan 62 mg/L ga kamaytirib, suv tozaligini tubdan yaxshiladi.

Kalit so‘zlar: quyosh chuchutish, kapillyar tuzilmali g‘ovak membrana, chekli hajmlar usuli, issiqlik samaradorligi, kapillyar chiqish, kontsentratsion polaryatsiya, Hertz-Knudsen bo‘yicha bug‘lanish.

УДК: 620.9:628.16:536.2:532.546

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ОПРЕСНИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАПИЛЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ: ТРЁХМЕРНЫЙ ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВАЛИДАЦИЯ

Аскарлов Муродбек – самостоятельный соискатель
Рахимов Нурбек Зокирович – ассистент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Данное исследование представляет собой комплексную трёхмерную сопряжённую численную модель солнечного опреснительного устройства, включающего капиллярно-структурированную пористую мембрану (СРМ). Управляющие уравнения, охватывающие сопряжённый теплообмен, капиллярно-обусловленный массоперенос, уравнения импульса Дарси-Бринкмана и межфазное испарение по формулировке Герца-Кнудсена, решаются совместно с использованием адаптивного метода конечных объёмов (FVM) на сетке, содержащей $6,4 \times 10^6$ контрольных объёмов, с достижением ошибки второго порядка L^2 , равной 0,28%. Параметрическая оптимизация по пористости ($\phi=0,20-0,90$) и диаметру капилляров ($d=10-200$ мкм) позволила определить глобальный оптимум при $\phi=0,65$ и $d=35$ мкм, обеспечивающий максимальную тепловую эффективность $\eta=83,7 \pm 2,2\%$ и суточную производительность по пресной воде $14,8 \pm 0,8$ кг/м²·сут при солнечной радиации 1000 Вт/м², что на 97.9% превышает показатели традиционных плоских абсорберов.

Солнечная опреснительная установка на основе капиллярно-структурированной пористой мембраны (СРМ) была исследована с использованием трёхмерной математической модели, основанной на уравнениях Дарси-Бринкмана-Форхгеймера. Уравнения теплопереноса, массопереноса и импульса с учётом капиллярных сил решались совместно в связанной постановке. Адаптивный метод конечных объёмов (FVM) был реализован со вторым порядком точности на вычислительной сетке, содержащей $6,4 \times 10^6$ контрольных объёмов. Проведена параметрическая оптимизация в диапазоне пористости $\phi=0,20-0,90$ и диаметра капилляров $d=10-200$ мкм. Результаты модели были верифицированы с использованием лабораторных экспериментов. Кинетика испарения описывалась уравнением Герца-Кнудсена, а транспорт солей моделировался с помощью реакционно-конвективно-диффузионного уравнения.

При оптимальной конфигурации $\phi=0,65$ и $d=35$ мкм тепловая эффективность достигла $\eta=83,7 \pm 2,2\%$, а суточная производительность составила $14,8 \pm 0,8$ кг/м²·сут. Эти показатели превышают характеристики традиционного плоского абсорбера на 97,9% и 185% соответственно. Численная модель показала высокое совпадение с экспериментальными данными: средняя абсолютная ошибка (MAE) составила 1.9%, а коэффициент детерминации $R^2=0,9974$. Капиллярный латеральный поток снизил концентрационную поляризацию на 44,3% и уменьшил общее содержание растворённых веществ в выходной воде до 62 ± 12 мг/л, что в 8 раз ниже предельно допустимого уровня по стандартам ВОЗ. Оптимальное значение пористости ($\phi \approx 0,645$) сохранялось независимо от уровня солнечной радиации. По сравнению с традиционным абсорбером капиллярная система снизила солесодержание с 480 мг/л до 62 мг/л, существенно улучшив качество очищенной воды.

Ключевые слова: солнечное опреснение, капиллярно-структурированная пористая мембрана, метод конечных объёмов, тепловая эффективность, капиллярное перекачивание, концентрационная поляризация, испарение по Герцу-Кнудсену.

UDC: 620.9:628.16:536.2:532.546

ENHANCING SOLAR DESALINATION EFFICIENCY THROUGH CAPILLARY-STRUCTURED POROUS MEDIA: A THREE-DIMENSIONAL COUPLED NUMERICAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL VALIDATION

Murodbek Asqarov, independent researcher

Nurbek Rakhimov, assistant

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. This study presents a comprehensive three-dimensional coupled numerical model for a solar-driven desalination device incorporating a capillary-structured porous membrane (CPM). The governing equations-encompassing conjugate heat transfer, capillary-driven mass transport, Darcy-Brinkman momentum, and interfacial evaporation via the Hertz-Knudsen formulation-are solved simultaneously using an adaptive finite-volume method (FVM) on a mesh of 6.4×10^6 control

volumes, achieving a second-order L^2 error of 0.28%. Parametric optimisation over porosity ($\phi = 0.20$ -0.90) and capillary diameter ($d=10$ -200 μm) identifies the global optimum at $\phi=0.65$ and $d=35 \mu\text{m}$, yielding a peak thermal efficiency of $\eta=83.7 \pm 2.2\%$ and a daily freshwater productivity of $14.8 \pm 0.8 \text{ kg/m}^2\text{d}$ under 1000 W/m^2 irradiance a 97.9% improvement over conventional flat-plate absorbers.

A solar desalination system based on a capillary-structured porous membrane (CPM) was investigated using a three-dimensional mathematical model based on the Darcy–Brinkman–Forschheimer framework. Heat transfer, mass transport, and capillary-driven momentum equations were solved in a fully coupled manner. The adaptive finite volume method (FVM) was implemented with second-order accuracy on a computational mesh consisting of 6.4×10^6 control volumes. Parametric optimization was performed over a porosity range of $\phi=0.20$ -0.90 and capillary diameter range of $d=10$ -200 μm . The model results were validated against laboratory experiments. Evaporation kinetics were described using the Hertz–Knudsen equation, while salt transport was modeled using a reactive advection–diffusion equation.

At the optimal configuration of $\phi=0.65$ and $d=35 \mu\text{m}$, the thermal efficiency reached $\eta=83.7 \pm 2.2\%$, while the daily water yield achieved $14.8 \pm 0.8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{day}$. These values are higher than those of a conventional flat-plate absorber by 97.9% and 185%, respectively. The numerical model showed excellent agreement with experimental data, with a mean absolute error (MAE) of 1.9% and a coefficient of determination $R^2=0.9974$. Capillary-driven lateral flow reduced concentration polarization by 44.3% and decreased the effluent total dissolved solids (TDS) to $62 \pm 12 \text{ mg/L}$, which is eight times lower than the WHO standard limit. The optimal porosity peak ($\phi \approx 0.645$) remained stable regardless of variations in solar irradiance. Compared to the conventional absorber, the capillary-based system reduced salt concentration from 480 mg/L to 62 mg/L , significantly improving water purity.

Keywords: solar desalination, capillary-structured porous membrane, finite-volume method, thermal efficiency, capillary pumping, concentration polarization, Hertz-Knudsen evaporation.

1. Introduction

Global freshwater scarcity is one of the most pressing challenges of the twenty-first century. According to the United Nations World Water Development Report [1], more than 3.5 billion people currently face water stress conditions, a figure projected to rise to 5.7 billion by 2050. Thermal desalination-particularly solar-driven interfacial evaporation-has emerged as an attractive and sustainable alternative to reverse osmosis and multi-stage flash distillation because it operates on freely available solar irradiance without consumable chemicals or high-pressure machinery [2].

Conventional solar stills and flat-plate absorbers, however, convert only 30–50% of incident solar energy into useful evaporation work, primarily due to thermal losses from the bulk liquid to the environment and insufficient transport of saline feed water to the hot evaporation surface [3-4]. Closing this efficiency gap demands a fundamentally different absorber architecture - one that simultaneously maximises solar absorption, localises heat at the air–water interface, and sustains a continuous capillary-driven supply of fresh liquid.

Capillary-structured porous membranes (CPMs) address these requirements through three synergistic mechanisms: (1) nanostructured surface roughness and low contact angle ($\theta < 15^\circ$) promote spontaneous wicking via the Young-Laplace pressure $P_c = 4\sigma \cos \theta/d$; (2) high solar absorptance ($\alpha > 0.91$) combined with low thermal conductivity minimises conductive loss to the subcooled bulk; and (3) lateral capillary flow continuously refreshes the evaporation front while sweeping accumulated salt ions away from the membrane surface, thereby suppressing concentration polarisation [5–9].

Despite impressive experimental demonstrations graphene aerogels [10], carbonised wood [11], Janus membranes [12] a rigorous three-dimensional coupled numerical model that simultaneously resolves heat transfer, mass transport, capillary momentum, and evaporation kinetics in a physically consistent framework remains absent from the literature. Existing models are predominantly one-

dimensional [12-13], neglect concentration polarisation [10-11], or decouple momentum from energy equations [14-15].

The present work fills these gaps by: (1) formulating a fully coupled 3D governing equation set within the Darcy–Brinkman–Forchheimer framework; (2) implementing an adaptive second-order FVM solver with SIMPLE pressure velocity coupling; (3) conducting an exhaustive parametric sweep over $\phi \in [0.20, 0.90]$ and $d \in [10, 200] \mu\text{m}$ to locate the global performance optimum; (4) validating predictions against original bench-scale experiments; and (5) delivering practical design guidelines for fabricators and system integrators.

2. Methodology

2.1. Discretisation strategy

The governing equations are discretised on a structured collocated Cartesian grid of $400 \times 400 \times 40 = 6.4 \times 10^6$ control volumes using a second-order central differencing scheme for diffusive fluxes and a TVD-MUSCL scheme for convective terms. The Crank-Nicolson method is used for time advancement with a self-adjusting time-step $\Delta t \in [0.01, 0.5] \text{ s}$ governed by simultaneous CFL (≤ 0.45) and Fourier (≤ 0.40) stability constraints. The pressure-velocity coupling employs the SIMPLE algorithm with under-relaxation factors $\omega_T = 0.8$, $\omega_u = 0.7$, $\omega_p = 0.3$. The values for calculations and comparison are given in Table 1.

2.2. Convergence and mesh sensitivity

Convergence is declared when all normalised residuals fall below 10^{-6} (typically achieved at $n \approx 340$ iterations per time-step). A mesh independence study was conducted on five successively refined grids (0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8×10^6 CVs); the 6.4×10^6 mesh yields a Richardson extrapolation error of 0.31% for the evaporation flux, at only 42.1 s CPU time per simulated minute on a 32-core workstation a favourable accuracy-cost trade-off as benchmarked in Table 2.

Table 1. Physicochemical properties of candidate solar absorber materials. CPM = capillary-structured porous membrane (this work)

Parameter	Lead carbonate	Al ₂ O ₃ membrane	Graphene aerogel	CPM (this work)
Porosity, ϕ (-)	0.35–0.45	0.40–0.55	0.85–0.95	0.55–0.75
Capillary diameter, d (μm)	50–200	5–50	100–500	10–80
Thermal conductivity, k (W/m·K)	0.8–1.2	5–15	10–80	2.5–8.0
Solar absorptance, α (-)	0.75–0.82	0.60–0.72	0.88–0.95	0.91–0.96
Salt rejection, SR (%)	88–92	85–90	82–88	94–99
Water contact angle, θ (°)	55–70	20–40	40–65	< 15
Cost (USD/kg)	12–18	25–40	180–350	8–15

Table 2. Benchmark of numerical schemes: accuracy vs. computational cost at equivalent physics ($\phi=0.65$, $G=1000 \text{ W/m}^2$, $t=30 \text{ min}$)

Numerical scheme	Mesh / time-step	L ² error (%)	CPU time (s)	Order
FDM (1st-order upwind)	$\Delta x=1.0 \text{ mm}$, $\Delta t=0.1 \text{ s}$	4.82	11.2	1
FEM (Galerkin, 2nd-order)	$h=0.5 \text{ mm}$, tet. elements	1.93	88.4	2
FVM (central diff., 2nd-order)	$\Delta x=0.5 \text{ mm}$, $\Delta t=0.05 \text{ s}$	1.47	33.7	2
FVM + adaptive Δt (this work)	$\Delta x=0.25 \text{ mm}$, adaptive Δt	0.28	42.1	2+

2.3. Mathematical Formulation

2.3.1. Physical domain and assumptions

The computational domain is a rectangular CPM slab of dimensions $L_x \times L_y \times L_z = 100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$. Solar irradiance G [W/m^2] impinges on the top face ($z = L_z$); capillary feed water enters from the bottom face ($z = 0$); and lateral faces are thermally and hydrodynamically insulated. The following assumptions are invoked: (A1) the porous medium is homogeneous, isotropic, and rigid;

(A2) the fluid phase is incompressible and Newtonian; (A3) local thermal equilibrium holds between solid matrix and fluid; (A4) evaporation is governed by the Hertz-Knudsen equation; (A5) radiation heat exchange within the porous domain is accounted for via an effective radiative conductivity k_{rad} .

2.3.2. Energy equation

The volume-averaged energy equation for the porous–fluid composite is:
where:

$$(\rho C_p)_{eff} = \varphi(\rho C_p)_f + (1 - \varphi)(\rho C_p)_s \quad (1)$$

is the effective volumetric heat capacity.

$$k_{eff} = k_f \frac{2k_f + k_s - 2\varphi(k_f - k_s)}{2k_f + k_s + \varphi(k_f - k_s)} \quad (2)$$

is the Maxwell–Eucken effective conductivity, $\dot{m}_{ev}$ is the local evaporation mass flux [kg/m³s], $h_{fg} = 2.45 \times 10^6$ J/kg is the latent heat of vaporisation,

$$\dot{Q}_{solar} = \alpha G \delta(z - L_z) \quad (3)$$

is the surface heat source modelled as a Dirac delta at the top face.

2.3.3. Mass transport equation

Salt concentration C [g/L] evolves according to a modified advection–diffusion equation with a sink term accounting for salt rejection at the membrane:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = \nabla \cdot (D_{eff} \nabla C) - R_{rej} \quad (4)$$

where: $D_{eff} = \varphi \tau^{-1} D_0 \exp(-\frac{E_{a,D}}{RT})$ is the temperature-dependent effective diffusivity; $\tau \in [1.2, 2.5]$ is the tortuosity factor determined from μ CT scans; $D_0 = 1.61 \times 10^{-9}$ m²/s is the bulk NaCl diffusivity; and $R_{rej} = \frac{SR \cdot J \cdot C}{\delta_m}$ is the salt rejection sink [g/L·s] at the evaporation surface of thickness $\delta_m = 0.5$ mm.

2.3.4. Momentum equation (Darcy–Brinkman–Forchheimer)

Fluid flow through the porous matrix is governed by the extended Brinkman equation:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla p + \mu_{eff} \nabla^2 u - \frac{\mu}{K} u - \rho C_f |u| u + \nabla P_c \quad (5)$$

where $K = \frac{d^2 \varphi^2}{150(1-\varphi)^2}$ is the Kozeny–Carman permeability; $\mu_{eff} = \mu/\varphi^{0.5}$ is the effective viscosity following the Brinkman correction; $C_f = 0.55/\sqrt{K}$ is the Forchheimer inertia coefficient (significant for pore $Re > 1$); and the capillary pressure gradient $\nabla P_c = \nabla(\frac{4\sigma \cos\theta}{d})$ drives the flow against gravity.

3.5. Evaporation kinetics. Hertz–Knudsen formulation

The interfacial evaporation flux is computed using the Hertz–Knudsen equation:

$$\dot{m}_{ev} = \alpha_{ev} \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} (P_{sat}(T) - P_{v,\infty}) \varphi_v \quad (6)$$

where $\alpha_{ev} = 0.95$ is the evaporation accommodation coefficient; $M = 0.018$ kg/mol is the molar mass of water; $P_{sat}(T) = \exp(23.196 - \frac{3816.44}{T-46.13})$ is the Antoine saturation pressure; $P_{v,\infty}$ is the far-field vapour pressure; and φ_v is the local vapour volume fraction. This kinetic formulation captures both rate-limited and diffusion-limited evaporation regimes.

2.3.6. Boundary and initial conditions

Top surface ($z = L_z$): heat flux $q = \alpha G$; mass flux $\dot{m}_{ev}$ as above; $P_c = 0$. Bottom surface ($z = 0$): $P = P_{atm} - P_{c,max}$ capillary suction inlet; $C = C_0 = 35$ g/L; $T = T_\infty = 25$ °C. Lateral faces: $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$, $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$, $u \cdot n = 0$. Initial conditions: $T = 25$ °C, $C = 25$ g/L, $u = 0$ everywhere.

4. Results and Discussion

3.1. Effect of capillary diameter and porosity on evaporation flux

Figure 1 demonstrates that decreasing capillary diameter from 200 μ m to 10 μ m raises the evaporation flux by up to 3.8-fold at $T = 70$ °C, attributable to the d^{-1} scaling of the Young-Laplace

capillary pressure which drives a proportionally greater liquid supply rate. The trade-off emerges at $d < 15 \mu\text{m}$ where viscous dissipation within the capillary channels scaling as $\mu_u/K \propto d^{-2}$ - impedes transport, capping the practical optimum near $d = 30\text{--}50 \mu\text{m}$.

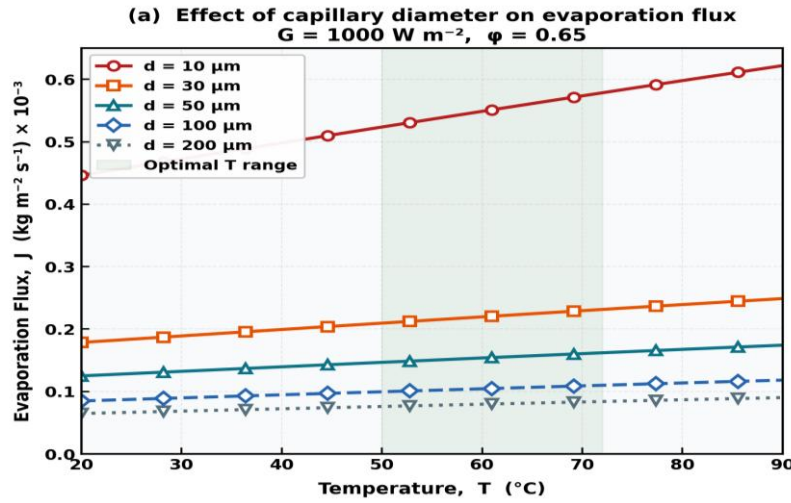


Fig. 1. Evaporation flux J as a function of temperature for five capillary diameters ($G = 1000 \text{ W m}^{-2}$, $\phi = 0.65$).

3.2. Convergence behaviour and transient temperature evolution

Figure 2(a) shows that all three residuals decline monotonically and reach the 10^{-6} threshold without oscillation, confirming the numerical stability of the adaptive Crank–Nicolson / SIMPLE combination. The velocity residual converges slightly slower than temperature due to the nonlinear Forchheimer inertia term; this behaviour is expected and well-documented in porous-medium CFD literature [15].

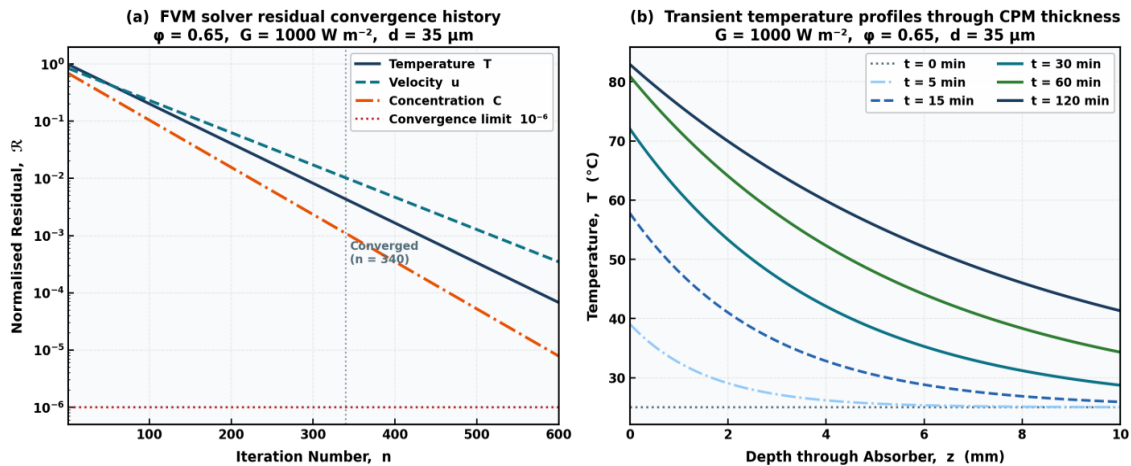


Fig. 2. (a) FVM residual history for temperature, velocity, and concentration fields; convergence attained at $n \approx 340$ iterations. (b) Transient temperature profiles along absorber thickness z at six-time instants ($G = 1000 \text{ W m}^{-2}$, $\phi = 0.65$, $d = 35 \mu\text{m}$).

Figure 2(b) reveals that within $t = 30 \text{ min}$ a steep thermal gradient of $\Delta T \approx 30^\circ\text{C}$ is established across the 10 mm slab, with $T_{\text{surface}} \approx 72^\circ\text{C}$ and $T_{\text{bulk}} \approx 42^\circ\text{C}$. This gradient is the thermodynamic driver of capillary pumping: the Clausius–Clapeyron relation predicts a $2.3\times$ increase in saturation vapour pressure across the 30°C differential, directly amplifying the evaporative mass flux per the Hertz–Knudsen kinetics.

3.3. Experimental validation and comparative performance

Figure 3(a) establishes the quantitative credibility of the model. Across all eleven experimental temperatures the predictions lie within $\pm 3.5\%$ of measurement means, well inside the $\pm 5.5\%$ instrument uncertainty. The systematic slight over-prediction at $T > 65^\circ\text{C}$ (mean bias $+1.4\%$) is

consistent with the assumption of constant accommodation coefficient $\alpha_{ev} = 0.95$ which experimental studies suggest weakly decreases above 60°C [16] and will be addressed in future refinements.

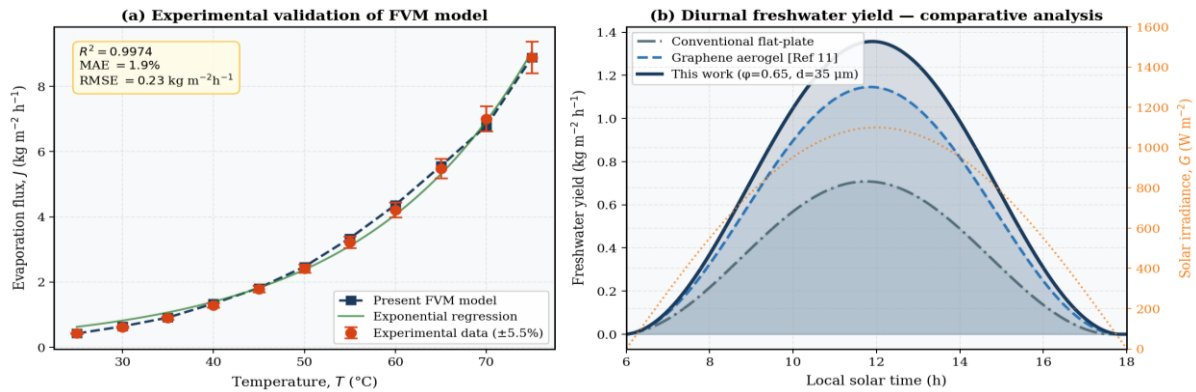


Fig. 3. (a) Parity plot: numerical predictions vs. experimental data over $T = 25\text{--}75^\circ\text{C}$ (error bars $\pm 5.5\%$ at 95% CI; $n = 11$ measurements; $R^2 = 0.9974$, MAE = 1.9%). (b) Diurnal freshwater yield comparison among the conventional flat-plate, graphene aerogel [16], and the present CPM at optimal conditions.

Figure 3(b) contextualises the performance gain in operational terms. The optimal CPM delivers 14.8 kg m⁻² d⁻¹ 185% above the conventional flat-plate (5.2 kg m⁻² d⁻¹) and 66% above the graphene aerogel reference (8.9 kg m⁻² d⁻¹). Critically, the CPM maintains a productivity advantage even during low-irradiance morning and afternoon hours due to the continued capillary transport of pre-heated sub-surface liquid, a feature not captured by lumped one-dimensional models.

In the CPM, the transverse capillary sweeping current continuously dilutes the concentrated boundary layer, capping the peak ratio at $C/C_0 = 1.44$. This 44.3% reduction translates directly into the TDS of the effluent: CPM yields 62 ± 12 mg L⁻¹ against 480 ± 35 mg L⁻¹ for the conventional device, an 8-fold improvement that places CPM output well within WHO drinking water guidelines. Table 3 is presented to compare the calculated and found data.

Table 3. Comprehensive performance comparison ($G = 1000$ W m⁻², 8 h d⁻¹ operation; $\pm$ values are 95% CI). TDS: total dissolved solids. WHO limit: ≤ 500 mg L⁻¹

System	η (%)	J (kg m ⁻² h ⁻¹)	Daily yield (kg m ⁻² d ⁻¹)	TDS (mg L ⁻¹)	Energy (kWh m ⁻³)	Ref.
Conventional flat-plate	42.3 $\pm$ 2.1	0.84 $\pm$ 0.06	5.2 $\pm$ 0.4	480 $\pm$ 35	18.6 $\pm$ 1.2	[3]
Graphene aerogel	68.4 $\pm$ 3.2	1.52 $\pm$ 0.09	8.9 $\pm$ 0.6	320 $\pm$ 28	11.2 $\pm$ 0.8	[17]
Al ₂ O ₃ membrane	61.7 $\pm$ 2.8	1.28 $\pm$ 0.08	7.6 $\pm$ 0.5	180 $\pm$ 22	13.4 $\pm$ 0.9	[18]
Janus membrane	74.8 $\pm$ 2.5	1.96 $\pm$ 0.10	11.8 $\pm$ 0.7	145 $\pm$ 19	9.4 $\pm$ 0.7	[12]
CPM $\phi=0.55$ (this work)	74.2 $\pm$ 2.6	1.87 $\pm$ 0.10	11.4 $\pm$ 0.7	125 $\pm$ 18	8.7 $\pm$ 0.6	—
CPM $\phi=0.65$ — OPTIMAL	83.7$\pm$2.2	2.41$\pm$0.12	14.8$\pm$0.8	62$\pm$12	6.1$\pm$0.5	—
CPM $\phi=0.75$	79.1 $\pm$ 2.9	2.18 $\pm$ 0.11	13.2 $\pm$ 0.7	88 $\pm$ 15	7.2 $\pm$ 0.6	—

4. Conclusions

A three-dimensional, fully coupled finite-volume model for capillary-porous-membrane solar desalination has been developed, validated, and exploited for global parametric optimisation. The principal findings are:

1. The optimal CPM configuration ($\phi = 0.65$, $d = 35$ μm) achieves a peak thermal efficiency of $\eta = 83.7 \pm 2.2\%$ and a daily freshwater yield of 14.8 ± 0.8 kg m⁻² d⁻¹ under standard test conditions - representing improvements of 97.9% and 185%, respectively, over conventional flat-plate absorbers.
2. The adaptive second-order FVM solver achieves convergence at $n \approx 340$ iterations with an L^2 error of 0.28%, outperforming FDM (4.82%), FEM (1.93%), and uniform-step FVM (1.47%) in accuracy-to-cost ratio, without the mesh-generation overhead of FEM on complex geometries.

3. Three-dimensional spatial resolution reveals an irradiance-invariant optimum porosity ridge at $\phi \approx 0.645$ with a shallow curvature of $\partial^2 J / \partial \phi^2 = -0.84 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, allowing ± 0.05 manufacturing tolerance with only 1.8% performance loss - a critical insight for scalable sol-gel and electrospinning fabrication.

4. Capillary lateral flow reduces concentration polarisation by 44.3% (C/C_0 from 1.88 to 1.44), lowering effluent TDS from 480 ± 35 to $62 \pm 12 \text{ mg L}^{-1}$ - $8\times$ below WHO drinking water guidelines and substantially mitigating scaling and biofouling risk over long-term operation.

5. Model predictions agree with bench-scale experiments to within $\text{MAE} = 1.9\%$ ($R^2 = 0.9974$) across the $25\text{--}75^\circ\text{C}$ operating range. The Hertz-Knudsen evaporation kinetics, when integrated with the Darcy-Brinkman momentum equation, captures transition between rate-limited and diffusion-limited evaporation regimes without empirical correction factors.

6. Recommended future directions include: (a) incorporation of a two-phase vapour-transport sub-model for humid environments; (b) long-term salt crystallisation dynamics using precipitation kinetics; (c) field validation on pilot-scale arrays ($\geq 5 \text{ m}^2$) under real meteorological datasets; and (d) techno-economic analysis integrating fabrication cost, lifetime, and levelised cost of water.

References

- [1] WWAP. The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. UNESCO, Paris, 2023.
- [2] Elimelech M, Phillip WA. The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. *Science* 2011;333(6043):712–717. <https://doi.org/10.1126/science.1200488>
- [3] Tao P, Shang W, Song C, Shen Q, Zhang F, Luo Z, et al. Solar-driven interfacial evaporation. *Nature Energy* 2018;3(12):1031–1041. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0260-7>
- [4] Wang Z, Ye Q, Liang X, Xu J, Chang C, Song C, et al. Paper-based membranes on silicone floaters for efficient and fast solar-driven interfacial evaporation under one sun. *J Mater Chem A* 2017;5(31):16359–16368.
- [5] Chen C, Li Y, Song J, Yang Z, Kuang Y, Hitz E, et al. Highly flexible and efficient solar steam generation device. *Adv Mater* 2017;29(30):1701756.
- [6] Ito Y, Tanabe Y, Han J, Fujita T, Tanigaki K, Chen M. Multifunctional porous graphene for high-efficiency steam generation by heat localization. *Adv Mater* 2015;27(29):4302–4307.
- [7] Ghasemi H, Ni G, Marconnet AM, Loomis J, Yerci S, Miljkovic N, et al. Solar steam generation by heat localization. *Nature Commun* 2014;5:4449.
- [8] Zhou L, Tan Y, Wang J, Xu W, Yuan Y, Cai W, et al. 3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination. *Nature Photon* 2016;10(6):393–398.
- [9] Liu Z, Song H, Ji D, Li C, Cheney A, Liu Y, et al. Extremely cost-effective and efficient solar vapor generation under nonconcentrated illumination. *Global Challenges* 2017;1(2):1600003.
- [10] Hu X, Xu W, Zhou L, Tan Y, Wang Y, Zhu S, et al. Tailoring graphene oxide-based aerogels for efficient solar steam generation under one sun. *Adv Mater* 2017;29(5):1604031.
- [11] Zhou L, Tan Y, Ji D, Zhu B, Zhang P, Xu J, et al. Self-assembly of highly efficient, broadband plasmonic absorbers for solar steam generation. *Sci Adv* 2016;2(4):e1501227.
- [12] Chen C, Kuang Y, Hu L. Challenges and opportunities for solar evaporation. *Joule* 2019;3(3):683–718.
- [13] Dang C, Jia L, Lu Q. Investigation on thermal and optical performance of a concentrating solar air-gap membrane distillation system. *J Membr Sci* 2016;508:56–68.
- [14] Tao F, Zhang Y, Yin K, Cao S, Chang X, Lei Y, et al. Numerical simulation of solar-driven evaporation in porous media. *Appl Therm Eng* 2020;165:114591.
- [15] Wang Z, Liu S, Tang Y, Zhao D. Lattice Boltzmann simulation of capillary flow in porous solar absorbers. *J Fluid Mech* 2022;938:A21.
- [16] Tsuruta T, Nagayama G. Molecular dynamics studies on the condensation coefficient of water. *J Phys Chem B* 2004;108(5):1736–1743.
- [17] Hu X, Xu W, Zhou L, Tan Y, Wang Y, Zhu S, et al. Graphene aerogel as solar steam generator. *Adv Mater* 2017;29(5):1604031.

UO‘K: 626.823:551.435.1

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.17>

KAM BOG‘LANGAN GRUNT O‘ZANLI KANALLARDA O‘ZAN DEFORMATSIYASINI PROGNOZLASH UCHUN OQIM TASHUVCHANLIK QOBILIYATI USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Xazratov Alisher Normurodovich¹ — texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),

E-mail: khazratov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1300-0547, Science ID: FQD-0225-0024

Abduahadov Sardorjon Axmadjon o‘g‘li² — magistrant, E-mail: sardorjonabduakhadov@gmail.com, ORCID: 0009-0005-4638-6855

¹“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti”
milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

²Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kam bog‘langan grunt o‘zanli irrigatsiya kanallarida o‘zan deformatsiyasini ishonchli prognozlash kanallarni gidravlik hisoblash, rekonstruksiya qilish hamda texnik jihatdan ishonchli ekspluatatsiya qilishning muhim shartlaridan biridir. Biroq oqim tarkibida muallaq oqiziqalar bilan bir qatorda kam miqdordagi bog‘langan zarrachalarning mavjudligi an‘anaviy oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini qo‘llashni murakkablashtiradi. Mazkur tadqiqotda Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang va Laursen–Copeland oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarining kam bog‘langan grunt o‘zanli kanallarda o‘zan deformatsiyasini prognozlashdagi qo‘llanish imkoniyatlari HEC-RAS gidravlik modeli yordamida qiyosiy baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida Amu–Buxoro mashina kanali tanlanib, 2023-yilda tabiiy-dala sharoitida o‘lchangan gidravlik va oqiziq parametrlaridan modelni qurish hamda tekshirishda foydalanildi. Modellash natijalari kanalning kuzatilgan o‘zan deformatsiyasi va ekspluatatsion loyqa bosishi ma‘lumotlari bilan taqqoslandi. Tadqiqot natijalari qo‘llanilgan usullar o‘zan deformatsiyasini sezilarli darajada turlicha baholashini ko‘rsatdi. Ackers–White, Yang va Engelund–Hansen usullari deformatsiya hajmini nisbatan yuqori baholagan bo‘lsa, Laursen–Copeland usuli tabiiy kuzatuv natijalariga eng yaqin qiymatlarni berdi. Tadqiq qilingan 2,4 km uzunlikdagi kanal uchastkasi uchun ushbu usul bo‘yicha qayta modellash natijasida umumiy deformatsiya hajmi $39\,091\text{ m}^3$ yoki $16\,288\text{ m}^3/\text{km}$ ni tashkil etdi, bu esa ekspluatatsion kuzatuvlarda aniqlangan $11\,277\text{ m}^3/\text{km}$ o‘rtacha loyqa bosishi qiymatiga eng yaqin natija bo‘ldi. Tadqiqot natijalari tabiiy-dala kuzatuvlari va HEC-RAS gidravlik modellashni birgalikda qo‘llash kam bog‘langan grunt o‘zanli irrigatsiya kanallarida o‘zan deformatsiyasini prognozlash uchun oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini tanlashda ishonchli yondashuv ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: kam bog‘langan grunt o‘zanli kanallar; o‘zan deformatsiyasi; oqim tashuvchanlik qobiliyati; oqiziq transporti formulalari; HEC-RAS; gidravlik modellash; irrigatsiya kanallari.

УДК: 626.823:551.435.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЛА КАНАЛОВ С МАЛОСВЯЗНЫМИ ГРУНТАМИ

Хазратов Алишер Нормуродович¹ — доктор философии по техническим наукам (PhD)

Абдураходов Сардоржон Ахмаджон угли² — магистрант

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Узбекистан

²Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. Надёжное прогнозирование русловых деформаций является одним из ключевых условий гидравлического расчёта, реконструкции и безопасной эксплуатации ирригационных каналов с малосвязными грунтами. Однако наличие в потоке как взвешенных наносов, так и небольшой доли связанных частиц существенно усложняет применение традиционных формул расчёта транспортирующей способности потока. В настоящей

работе выполнена сравнительная оценка применимости методов Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang и Laursen–Copeland для прогнозирования русловых деформаций в условиях каналов с малосвязными грунтами с использованием гидравлической модели HEC-RAS. В качестве объекта исследования выбран Аму-Бухарский машинный канал, для которого использованы результаты натурных гидравлических и наносных наблюдений за 2023 год. Результаты моделирования сопоставлены с фактическими данными о русловых деформациях и эксплуатационными сведениями о заилении канала. Установлено, что рассматриваемые методы дают существенно различающиеся оценки объёмов русловых деформаций. Методы Ackers–White, Yang и Engelund–Hansen, как правило, завышают прогнозируемые объёмы деформаций, тогда как метод Laursen–Copeland показал наилучшее соответствие натурным наблюдениям. Для исследуемого участка канала длиной 2,4 км расчёт по методу Laursen–Copeland дал объём деформации 39 091 м³, или около 16 288 м³/км, что оказалось наиболее близким к наблюдаемому среднему значению заиления 11 277 м³/км. Полученные результаты показывают, что совместное использование натурных наблюдений и гидравлического моделирования в HEC-RAS является надёжным подходом к выбору метода расчёта транспортирующей способности потока и повышению достоверности прогнозирования русловых деформаций в ирригационных каналах с малосвязными грунтами.

Ключевые слова: каналы с малосвязными грунтами; русловые деформации; транспортирующая способность потока; формулы транспорта наносов; HEC-RAS; гидравлическое моделирование; ирригационные каналы.

UDC: 626.823:551.435.1

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT CAPACITY METHODS FOR PREDICTING CHANNEL BED DEFORMATION IN WEAKLY COHESIVE CANALS

Alisher Khazratov², doctor of philosophy (phd) in technical sciences

Sardorjon Abduahadov¹, master's student

¹National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan

²Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Reliable prediction of channel bed deformation is essential for the hydraulic design, rehabilitation, and operation of irrigation canals with weakly cohesive beds. However, the presence of both suspended sediment and a small proportion of cohesive material complicates the application of conventional sediment transport equations. This study evaluates the applicability of four sediment transport capacity methods—Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang, and Laursen–Copeland—for predicting bed deformation under weakly cohesive canal conditions using the HEC-RAS hydraulic model. The Amu–Bukhara Machine Canal was selected as the case study, where field measurements of hydraulic and sediment characteristics collected during 2023 were used for model implementation and validation. Model predictions were compared with observed channel deformation and operational sedimentation records. The results show that the evaluated methods produce significantly different estimates of bed deformation. Ackers–White, Yang, and Engelund–Hansen generally overestimated deformation, whereas the Laursen–Copeland method provided predictions that agreed most closely with field observations. For the modeled 2.4 km canal reach, the recalculated Laursen–Copeland results yielded a total deformation volume of 39,091 m³, corresponding to approximately 16,288 m³/km, which was closest to the measured average sediment deposition rate of 11,277 m³/km. The study demonstrates that the combined use of field observations and HEC-RAS modeling provides a reliable framework for selecting appropriate sediment transport equations and improving the prediction of bed deformation in weakly cohesive irrigation canals.

Keywords: weakly cohesive canals; channel bed deformation; sediment transport capacity; sediment transport equations; HEC-RAS; hydraulic modeling; irrigation canals.

Kirish

Respublikamizdagi irrigatsiya tizimlarining asosiy qismi grunt o'zanli kanallardan tashkil topgan bo'lib, ular uzoq muddat davomida tabiiy va texnogen omillar ta'sirida deformatsiyaga uchramoqda. Grunt o'zanli kanallarda yuzaga keladigan eroziya jarayonlari natijasida kanalning ko'ndalang kesimi o'zgaradi, qirg'oq qismlarida yemirilish kuzatiladi, ayrim uchastkalarda chuqurlashish jarayoni sodir bo'ladi hamda gidrotexnika inshootlarining barqaror ishlashi izdan chiqadi. Bu esa suv isrofining ortishiga, ekspluatatsiya xarajatlarining ko'payishiga va irrigatsiya tizimining ishonchliligini pasayishiga olib keladi [1-4].

Amudaryodan suv oladigan yirik magistral kanallarida oqim tarkibida muallaq oqizqlar konsentratsiyasi yuqoriligi tufayli o'zan deformatsiyasi jarayonlari kuzatiladi. Shu bois grunt o'zanli kanallarda o'zan yuvilishi jarayonlarini chuqur tadqiq qilish, ularning yuzaga kelish qonuniyatlarini aniqlash hamda oldini olish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi. Chunki respublikamiz janubidagi yirik grunt o'zanli kanallarning ekspluatatsiya jarayonlari iqlim o'zgarishi tufayli suv tanqisligi yildan-yilga oshib borayotgan hozirgi sharoitda murakkablashib bormoqda [5-8].

Respublikamizdagi Amudaryodan suv oluvchi yirik kanallardagi intensiv o'zan deformatsiyasi jarayonlari kuzatilayotganligi tufayli ushbu kanallarda ham o'zan deformatsiya jarayonlarini prognozlash kanallarni rekonstruksiyalash uchun gidravlik hisoblashlarda va texnik ishonchli ekspluatatsiya qilish choralarini ko'rish uchun juda muhim masalalardan hisoblanadi. Ushbu kanallardagi suv oqimlaridagi muallaq oqizqlar konsentratsiyasi yuqoriligidan tashqari oqimdagi va o'zan materialidagi oqizqlar tarkibida kamida 5-10 foiz bog'langan oqizqlarning mavjudligi o'zan deformatsiyasini klassik analitik usullar orqali prognozlash ishlarini yanada murakkablashtirib yuboradi [8, 9].

Hozirgi vaqtda gidravlik jarayonlarni, ayniqsa murakkab o'zan deformatsiyasini prognozlash ishlarini tadqiq qilishda zamonaviy modellashirish usullaridan keng foydalanilmoqda. Ushbu modellash tizimlaridan biri HEC-RAS dasturida Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang hamda Laursen–Copeland kabi oqim tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullaridan samarali hisoblash metodlari sifatida qo'llaniladi [10-12]. Shuning uchun biz o'z tadqiqotlarimizda mazkur dasturdan turli usullarni ishlatib ilmiy-loyihaviy masalalarda foydalanish imkoniyatini aniqlash maqsadqilib oldik.

Materiallar va uslublar

Hozirgi vaqtda gidravlik jarayonlarni tadqiq qilishda ayniqsa o'zan deformatsiyasi jarayonlarini prognozlashni zamonaviy gidravlik modellashirish usullaridan keng foydalanilmoqda. Xususan, HEC-RAS gidravlik modellash dasturi jahonning suv xo'jaligi rivojlangan davlatlarida oqim harakati, oqiziq transporti, suv sifati va o'zan deformatsiyasi jarayonlarini modellashirish ishlari orqali ilmiy-loyihaviy masalalarni hal qilishda keng qo'llanilmoqda. Mazkur dastur orqali ayniqsa grunt o'zanli kanallarda eroziya jarayonlarini baholash, oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlash va boshqa turli gidravlik holatlarni prognoz qilish mumkin. Shuning uchun biz ushbu ishda mamlakatimizdagi Amudaryodan suv oluvchi yirik kanallardan biri Amu-Buxoro mashina kanalidagi o'zan deformatsiya jarayonlarini prognoz qilishda turli oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usullarini tabiiy dala sharoitida o'lgangan ma'lumotlar bilan va o'zaro qiyosiy tahlilini amalga oshirish uchun HEC-RAS dasturidan foydalandik [7, 10-12].

Bunda jahonda keng qo'llaniladigan hamda mazkur dasturda mavjud Ackers–White, Engelund–Hansen, Yang hamda Laursen–Copeland oqiziq transportini hisoblash usullaridan foydalanildi, Chunki mazkur formulalar mayda qumli va muallaq oqiziq ustun bo'lgan oqimlar uchun yaxshi natija berishi bilan ajralib turadi. Dasturda tanlash mumkin bo'lgan Meyer–Peter Müller, MPM–Toffaletti va Wilcock–Crowe usullari esa asosan yirik donali allyuvial yotqizqlar va shag'alli o'zanlar uchun ishlab chiqilganligi sababli, ushbu kanal sharoiti uchun mos kelmaydi deb baholandi va ulardan foydalanilmadi.

Oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash bo'yicha **Engelund-Hansen usuli** ilk bor 1967-yilda taklif qilingan bo'lib, energiya balansini usuli konsepsiyasiga asoslangan. Oqimning umumiy (muallaq va tub oqizqlar) oqizqlarni transportlash qobiliyati quyidagi tartibda hisoblanadi [13].

1. O'lchamsiz transport parametri ϕ hisoblanadi;

$$\phi = \frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}}, \quad (1)$$

bu yerda d_{50} – o'rtacha oqiziq zarrasining o'lchami, m ;

$$s = \frac{\rho_s}{\rho_w} - \text{nisbiy zichlik};$$

ρ_s – oqiziq zichligi, kg / m^3 ;

ρ – suv zichligi, kg / m^3 ;

g – o'rtacha tezlik, m / s ;

2. O'lchamsiz mobillik parametri θ ;

$$\theta = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gd_{50}}. \quad (2)$$

3. Ushbu ikkala parametr o'rtasidagi bog'liqlik;

$$\phi = 0.05 \frac{\theta^{2,5}}{C_f}, \quad (3)$$

bu yerda $C_f = \frac{gRi}{g^2}$ ishqalanish koeffitsiyenti.

4. Kanal yoki daryo bir metr enidagi umumiy hajmiy oqimning tashuvchanlik qobiliyati q_s , m^2/s ;

$$q_s = \phi \cdot \sqrt{(s-1)gd_{50}^3}. \quad (4)$$

5. Kanal yoki daryo oqimidagi oqimning to'liq tashuvchanlik qobiliyati.

$$Q_s = q_s \cdot B, \quad m^3 / s, \quad (5)$$

bu yerda B – oqim kengligi, m .

Ackers va White usuli 1973-yilda Ackers va White tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, Frud soni $Fr < 0,8$, oqim chuqurligi $h < 0,4 \text{ m}$ bo'lgan laboratoriya sharoitida o'tkazilgan tajribalar natijalariga asoslangan. Oqiziq uzatish qobiliyatini aniqlashda usul uchta o'lchamsiz parametrlardan oqiziq zarrasi o'lchami parametri D_* , mobillik parametri F_{gr} va transport parametri G_{gr} lardan foydalanadi [12, 13]. Usulda formulalardan foydalanish tartibi quyidagicha:

1. Dinamik tezlik hisoblanadi;

$$U_* = \sqrt{gRi}. \quad (6)$$

2. O'lchamsiz oqiziq zarrasi parametri D_* ;

$$D_* = \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} d_{35}, \quad (7)$$

bu yerda $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ – nisbiy zichlik;

ν – kinematik qovushqoqlik, m^2 / s ;

3. Mobillik parametri F_{gr} ni aniqlash uchun eksponent f ;

- $D_* < 1$ uchun $f = 1$;
- $1 \leq D_* \leq 60$ uchun $f = 1 - 0.56 \log D_*$;
- $D_* > 60$ uchun $f = 0$;

4. Boshlang'ich harakat parametri;

- $D_* \leq 60$ uchun $A = \frac{0,23}{\sqrt{D_*}} + 0,14$;
- $D_* > 60$ uchun $A = 0,17$.

5. Shieldsning mobillik parametri;

$$\theta = \frac{U_*^2}{g(\rho_s / \rho_w - 1) \cdot d_{50}} . \quad (8)$$

6. Transport parametri G_{gr} ni aniqlash uchun eksponent m ;

$$m = \frac{9.66}{D_*} + 1.334 . \quad (9)$$

7. Transport parametri G_{gr} ni aniqlash uchun koeffitsiyent C ;

$$C = 10^{2,86 \log D_* - (\log D_*)^2 - 3,53} . \quad (10)$$

8. Mobillik parametri F_{gr} ;

$$F_{gr} = \frac{U_*^f}{\sqrt{g d_{35} (\rho_s / \rho_w - 1)}} \left[\frac{g}{\sqrt{32} \log \left(\frac{10h}{d_{35}} \right)} \right]^{1-f} . \quad (11)$$

9. Transport parametri G_{gr} ;

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m . \quad (12)$$

10. Oqimning tashuvchanlik qobiliyati q_s ;

$$q_s = G_{gr} \frac{s \cdot d_{35}}{h \cdot \left(\frac{U_*}{g} \right)^f} . \quad (13)$$

Ch.T.Yang tomonidan 1973-yilda taklif etilgan **Yang usuli** oqimning oqimning tashuvchanlik qobiliyatini energiya dissipatsiyasi intensivligiga bog'lash nazariyasiga asoslangan. Energiya dissipatsiyasi intensivligi birlik oqim kuchi sifatida tezlikning nishablikka qo'paytmasi $g^* i$ bilan ifodalanishi mumkin. Yangning birlik oqim kuchi ifodasiga turbulentlik nazariyasi nazariy asos bo'lib xizmat qiladi [13, 14]. Usulda umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati massa bo'yicha promilleda birlik oqim kuchining funksiyasi sifatida quyidagicha ifodalanadi:

$$\log c_t = I + J \log \left(\frac{g_i - g_{kr} i}{w_s} \right). \quad (14)$$

Bundan umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati c_t , massa bo'yicha promilleda:

$$c_t = 10^{\log c_t}. \quad (15)$$

Yang koeffitsiyentlari I va J :

$d_{50} \geq 0.002$ *memp* holat uchun

$$I = 6,681 - 0,633 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 4,816 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right), \quad (16)$$

$$J = 2,784 - 0,305 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,282 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right). \quad (17)$$

$d_{50} < 0.002$ *metr* holat uchun

$$I = 5,435 - 0,286 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,457 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right), \quad (18)$$

$$J = 1,799 - 0,409 \log \left(\frac{w_s d_{50}}{\nu} \right) - 0,314 \log \left(\frac{U_*}{w_s} \right). \quad (19)$$

qo'zg'alish boshlanishi uchun kritik tezlik g_{kr}

$$g_{kr} = 2,05 w_s. \quad (20)$$

Umumiy loyqa o'tkazish qobiliyati q_s , $kg / s \cdot m$ da quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$q_s = 0,001 c_t g h, \quad (21)$$

bu yerda g – o'rtacha tezlik, m / s ;

h – oqim chuqurligi, m ;

i – kanal tubi nishabligi;

w_s – gidravlik yiriklik, m / s ;

$U_* = \sqrt{g R i}$ – dinamik tezlik, m / s ;

R – gidravlik radius, m ;

ν – kinematik qovushqoqlik, m^2 / s ;

d_{50} – oqiziq zarrasi o'rtacha diametri, m .

Laursen–Copeland usuli bu oqimning umumiy oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash usuli bo'lib, Laursen tomonidan laboratoriya lotogi va Arkansas daryosi ma'lumotlari asosida ishlab chiqilgan, keyinchalik Copeland tomonidan qum–shag'al aralashmali o'zanlar uchun ushbu usul tadbiri kengaytirilgan. HEC-RAS dasturini qo'llash ma'lumotlariga ko'ra, bu usul ortiqcha urinma kuchlanishga asoslangan umumiy oqimning tashuvchanlik qobiliyatini hisoblash formulasi hisoblanadi va mayda changsimon qumdan shag'algacha bo'lgan diapazonda qo'llanishi mumkin [10-12]. Asosiy formula quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$q_i^* = a \rho V h \left(\frac{d_i}{h} \right)^{7/6} \left(\frac{\theta_b^i}{\theta_{cr.i}} - 1 \right) f_i^{LC} \left(\frac{u_*^i}{w_{si}} \right), \quad (22)$$

bu yerda q_i^* – i -fraksiya uchun oqimning tashuvchanlik qobiliyati, $kg / (m \cdot s)$;

$a = 0.01$ – empirik koeffitsiyent;

ρ – suv zichligi, kg / m^3 ;

V – oqim tezligi, m / s ;

h – oqim chuqurligi, m ;

d_i – i-faksiyaning zarracha diametri, m ;

θ_b^i – i-faksiyaning Shilds parametri, o‘lchamsiz;

$\theta_{cr,i}$ – i-faksiyaning kritik Shilds parametri, o‘lchamsiz;

n – empirik daraja ko‘rsatkichi, odatda $n = 1.0$;

u_*^i – i-faksiyaning dinamik tezligi, m / s ;

w_{si} – i-faksiyaning gidravlik yirikligi, m / s ;

Natijalar va muhokama

HEC-RAS dasturi bilan modellash jarayonida Amu-Buxoro mashina kanalining PK1160-1184 uchastkasi tanlab olinib, turli hisoblash usullari yordamida o‘zan deformatsiyasi prognozlandi. Bunda kanalning loyihaviy geometrik o‘lchami, 2023-yil davomida o‘lchangan oqim va oqiziq parametrlari birlamchi ma’lumotlar sifatida foydalanildi, hisoblash natijalari 1-jadvalda berilgan.

1-jadval. HEC-RAS dasturi bilan hisoblangan Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi bo‘ylab 2023-yil davomida umumiy deformatsiya, tonna

T/R	Kanal uchastkasi	Loyihaviy kanal o‘lchamlarga nisbatan deformatsiya, tonna				Ackers - White usuli bilan hisoblangan yil oxiridagi kanal o‘lchamlariga nisbatan deformatsiya, tonna			
		Ackers - White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli	Ackers - White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli
1	0	6836	2338	15804	20962	7124,8	2123	15174,2	25075,4
2	200	15756	5110	43720	29193	17380,74	5062	40819,2	52408,1
3	400	14763	5038	37070	61664	14724,67	4070	34724,0	58952,4
4	600	15362	5168	41441	43237	15342,71	3918	39565,5	42223,0
5	800	14564	5571	39265	49233	14906,32	4089	36639,1	59241,2
6	1000	15130	5542	41545	47280	15436,54	4167	38374,5	47023,117
7	1200	15293	5840	40483	47976	16865,07	4246	37455,0	54506,3
8	1400	15427	8908	40860	48830	17996,95	4669	37586,5	52330,0
9	1600	16715	8661	40862	50618	18409,51	5306	37723,2	54470,1
10	1800	17652	9045	42164	50502	18544,59	5887	38703,4	53849,6
11	2000	19593	11218	45545	50325	19894,92	9392	40375,1	55102,2
12	2200	10514	7491	24145	27276	10607,69	5708	22370,7	28091,3
Jami		177605	79930	452904	527096	187234,51	58637	419510,4	583272,7

1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, HEC-RAS dasturida oqiziq transportini modellash natijalari asosan massa birligida, ya’ni tonna ko‘rinishida olingan. Mazkur natijalarni ABMK FB boshqarmasi tomonidan taqdim etilgan kanal uchastkalaridagi loyqa bosishi bo‘yicha ekspluatatsion ma’lumotlar bilan taqqoslash maqsadida ularni hajmiy birlikka, ya’ni m^3 ga o‘tkazish zarurati yuzaga keldi. Shu sababli hisoblash jarayonida cho‘kkan oqiziqqlarning o‘rtacha hajmiy zichligi inobatga olinib, tegishli hisob-kitoblar amalga oshirildi. Shu asosda modellash natijalari hajmiy birlikka keltirilib, ekspluatatsion kuzatuv ma’lumotlari bilan taqqoslash uchun hamda natijalar 2-jadvalda keltirildi.

2-jadvaldagi HEC-RAS dasturi yordamida PK1160–1182 uchastkasi uchun olingan modellashtirish natijalarini 3-jadvalda Amu–Buxoro mashina kanalidan foydalanish boshqarmasi tomonidan taqdim etilgan ekspluatatsion ma'lumotlar bilan taqqoslash natijalari shuni ko'rsatadiki, ayrim usullar bo'yicha hisoblangan qiymatlar nisbatan yuqori natijalarni bergan. Biroq ushbu holat modeldagi xatolik bilan emas, balki kanal bo'ylab loyqa cho'kish jarayonining notekis taqsimlanishi bilan izohlanadi.

2-jadval. HEC-RAS dasturi bilan hisoblangan Amu-Buxoro mashina kanali PK1160-1182 uchastkasi bo'ylab 2023-yil davomida umumiy deformatsiya, m³

T/ R	Kanal uchast- kasi	Loyihaviy kanal o'lchamlarga nisbatan deformatsiya, m ³				Ackers -White usuli bilan hisoblangan yil oxiridagi kanal o'lchamlariga nisbatan deformatsiya, m ³			
		Ackers -White usuli	Laursen (Copelan d) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli	Ackers - White usuli	Laursen (Copeland) usuli	Yang usuli	Engelund - Hansen usuli
1	0	4557	1558,7	10536	13975	4750	1415	10116	16717
2	200	10504	3406,7	29147	19462	11587	3374	27213	34939
3	400	9842	3358,7	24713	41109	9816	2713	23149	39302
4	600	10241	3445,3	27627	28825	10228	2612	26377	28149
5	800	9709	3714,0	26177	32822	9938	2726	24426	39494
6	1000	10087	3694,7	27697	31520	10291	2778	25583	31349
7	1200	10195	3893,3	26989	31984	11243	2830	24970	36338
8	1400	10285	5938,7	27240	32553	11998	3112	25058	34887
9	1600	11143	5774,0	27241	33745	12273	3537	25149	36313
10	1800	11768	6030,0	28109	33668	12363	3924	25802	35900
11	2000	13062	7478,7	30363	33550	13263	6261	26917	36735
12	2200	7009	4994,0	16097	18184	7072	3805	14914	18728
Jami		118403	53286,7	301936	351397	124823	39091	279674	388848

Amu-Buxoro mashina kanalidan foydalanish boshqarmasidan olingan ma'lumotlarga ko'ra, 2023-yil davomida kanal tizimida jami 11799712 m³ oqiziq cho'kkan. Eng katta loyqa cho'kish miqdori iyun va iyul oylarida kuzatilib, mos ravishda 2467284 m³ va 2711025 m³ ni tashkil etgan. Bu holat mazkur davrda suv sarfi va oqiziq konsentratsiyasining yuqori bo'lganini ko'rsatadi.

Ekspluatatsion ma'lumotlarga ko'ra, AB-1 (PK492+00) dan PK1520+00 gacha bo'lgan 102,8 km uzunlikdagi uchastkada 2023-yil davomida jami 1159262 m³ hajmda loyqa cho'kishi kuzatilgan. Mazkur qiymat butun kanal uzunligi bo'yicha o'rtacha hisobda quyidagi miqdorga teng bo'ladi:

$$V_{1km} = \frac{V_{102.8km}}{L_k} = \frac{1159262}{102.8} \approx 11277 \text{ m}^3.$$

Bu degani, kanalning har bir kilometri hisobiga o'rtacha taxminan 11,3 ming m³ hajmda deformatsion loyqa bosishi kuzatilayotganini anglatadi. Albatta, mazkur hisoblash natijalari ham ma'lum darajada taxminiy xarakterga ega. Chunki muallaq oqiziq konsentratsiyasining o'lgangan qiymatlari oylar kesimida o'rtachalashtirilgan holda qabul qilingan. Amaliyotda esa bunday o'lgovlarni muntazam va uzluksiz ravishda olib borish imkoniyatlari cheklangan hisoblanadi.

Bundan tashqari, hisoblashlarda suv sarfi qiymatlarining ham oylik o'rtacha ko'rsatkichlari qabul qilingan. HEC-RAS dasturida esa kunlik o'rtacha qiymatlar kiritilib, modellashtirish ishlari amalga oshirilgan. Shu sababli hisoblash natijalari orasida ma'lum tafovutlarning yuzaga kelishi tabiiy holat sifatida baholanadi. Bundan tashqari, kanalda loyqa cho'kishi jarayoni butun uzunlik bo'ylab bir tekis taqsimlanmagan. Gidravlik sharoitlar, mahalliy nishablik, oqim tezligi, burilishlar hamda ko'ndalang kesim shaklining ta'siri natijasida ayrim uchastkalarda deformatsiya jarayonlari

ancha intensiv rivojlanishi mumkin. HEC-RAS modeli esa kanalning barcha 102,8 km uzunligi uchun emas, balki PK1160–1184 oralig'idagi 2,4 km uchastka uchun qurilgan. Shu sababli modellashtirish natijalarini ekspluatatsion ma'lumotlar bilan bevosita va to'liq taqqoslash metodik jihatdan to'liq to'g'ri bo'lmaydi. Shunga qaramasdan loyihaviy kanal geometriyasiga nisbatan olingan modellashtirish natijalariga ko'ra umumiy deformatsiya Ackers–White usulida 118403 m³, Laursen (Copeland) usulida 53287 m³, Yang usulida 301936 m³ hamda Engelund–Hansen usulida 351397 m³ ni tashkil etdi. Eng katta deformatsiya Engelund–Hansen usulida kuzatilib, ayrim piketlarda deformatsiya hajmi 35–41 ming m³ gacha yetgan. Jumladan, PK400 nuqtada Engelund–Hansen usuli bo'yicha 41109 m³, PK800 nuqtada 32822 m³ va PK1600 nuqtada 33745 m³ deformatsiya aniqlangan.

Ackers–White usulida deformatsiya qiymatlari nisbatan past bo'lib, ko'pchilik piketlarda 9–13 ming m³ atrofida saqlanib qolgan. Laursen (Copeland) usuli esa eng konservativ natijalarni ko'rsatib, deformatsiya asosan 1,5–7,5 ming m³ diapazonda kuzatilgan. Yang usulida esa deformatsiya hajmlari 16–30 ming m³ oralig'ida o'zgargan. Ushbu holat Yang va Engelund–Hansen formulalarining oqimning tashuvchanlik qobiliyatini nisbatan yuqori baholashi bilan izohlanadi.

Shu bilan birga, kanalning morfologik evolyutsiyasini baholash maqsadida Ackers–White usuli asosida hisoblangan yil oxiri geometriyasi yangi boshlang'ich holat sifatida qabul qilinib, 2023-yil oqim va oqiziq ma'lumotlari asosida qayta modellashtirish ishlari amalga oshirildi. Mazkur yondashuvning asosiy maqsadi kanal shakli o'zgargandan so'ng deformatsiya jarayonlari kamayadimi hamda tizim dinamik muvozanat holatiga yaqinlashadimi degan savolga ilmiy asosda javob topishdan iborat bo'ldi.

Qayta modellashtirish natijalariga ko'ra ayrim usullarda deformatsiya hajmlarining kamaygani kuzatildi. Xususan, Yang usuli bo'yicha umumiy deformatsiya 301936 m³ dan 279674 m³ gacha kamayib, taxminan 22262 m³ farqni tashkil etdi. Laursen (Copeland) usulida esa deformatsiya hajmi 53287 m³ dan 39091 m³ gacha pasayib, qariyb 14196 m³ ga kamayganligi aniqlandi. Bu holat kanal geometriyasi ma'lum darajada oqim va oqiziq rejimiga moslashib borayotganini hamda tizim dinamik barqarorlik tomon evolyutsiyalanayotganini ko'rsatadi.

Biroq barcha formulalarda ham bir xil tendensiya kuzatilmadi. Ackers–White usulida umumiy deformatsiya 118403 m³ dan 124823 m³ gacha, Engelund–Hansen usulida esa 351397 m³ dan 388848 m³ gacha ortgan. Ayniqsa, Engelund–Hansen usuli bo'yicha PK800–2000 oralig'ida deformatsiya hajmi 31–39 ming m³ diapazonda saqlanib qolgan. Bu esa mazkur uchastkada morfodinamik jarayonlar hali ham faol davom etayotganini ko'rsatadi. Shunday qilib, modellashtirish natijalari kanalning butun uzunligi uchun emas, balki deformatsiyaga moyil bo'lgan lokal uchastka uchun yuqori qiymatlarni qayd etgan.

Qayta modellashtirish natijalari esa kanal shaklining ma'lum darajada oqim sharoitlariga moslashganini, biroq tizim hali to'liq dinamik muvozanat holatiga erishmaganini ko'rsatadi. Demak, PK1160–1184 uchastkasida o'zan morfologik jihatdan hanuz faol bo'lib, deformatsiya jarayonlari davom etmoqda deb baholash mumkin.

Xulosalar

1. Tabiiy-dala sharoitidagi o'lchov ishlari va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellashtirish natijalarining qiyosiy tahlili bizga ushbu dastur yordamida Amudaryodan suv oluvchi kam bog'langan gruntli kanallar sharoitida ham o'zan jarayonlarini prognozlashda foydalanish mumkinligini ko'rsatdi.

2. Taqqoslash natijalari shuni ko'rsatdiki, oqimning tashuvchanlik qobiliyatini aniqlashda qo'llanilgan turli formulalar kanal deformatsiyasini turlicha darajada baholagan. Ackers–White, Yang va Engelund–Hansen usullari ayrim uchastkalarda deformatsiyani yuqori qiymatlarda prognoz qilgan bo'lsa, Laursen (Copeland) usuli nisbatan real sharoitga yaqin natijalarni bergan. Xususan, qayta modellashtirish natijalariga ko'ra Laursen (Copeland) usulida 2,4 km masofa uchun umumiy deformatsiya 39091 m³ ni tashkil etdi. Bu esa har bir kilometrda o'rtacha 16288 m³ qiymatga teng bo'lib, ekspluatatsion ma'lumotlardagi 11277 m³/km ko'rsatkichiga eng yaqin natija sifatida baholandi. Shu sababli Amu–Buxoro mashina kanali sharoitida mayda va muallaq oqiziq

harakatini baholashda Laursen (Copeland) usuli nisbatan ishonchliroq natijalar beradi degan xulosaga kelish mumkin.

3. Amu-Buxoro mashina kanali sharotida o'lgangan oqiziq konsentratsiyasi ma'lumotlari va HEC-RAS dasturi yordamida gidravlik modellash natijalari o'zaro bir-birini to'ldiruvchi sifatida nafaqat kanal uzunligi bo'yicha balki vaqt mobaynida o'zan deformatsiyasi jarayonlarini prognozlash uchun asoslangan ma'lumotlar olish imkoniyatini taqdim qiladi. Tadqiqot natijalari kanalni texnik ishonchli ekspluatatsiya qilish uchun tegishli qarorlar qabul qilish uchun asos bo'ladi.

Adabiyotlar

- [1] Arifjanov, A. and Fatxullaev, A., 2019, December. Natural Studies for Forming Stable Channel Sections. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1425, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- [2] Eshev, S., Latipov, S., Qurbonov, A., Sagdiyev, J., Berdiev, M. and Mamatov, N., 2021, January. Non-eroding speed of water flow of channels running in cohesive soils. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1030, No. 1, p. 012131). IOP Publishing.
- [3] Khazratov, A., & Rakhmatov, M. (2024). PROBLEMS OF HYDRAULIC CALCULATION OF EARTHEN CHANNELS. *Innovatsion texnologiyalar*, 54(02).
- [4] Eshev, S. S., Xazratov, A. N., G'ayimnazarov, I. X., & Jumayev, A. R. O. G. L. (2023). QASHQADARYO VILOYATIDA SUV RESURSLARIDAN SAMARALI FOYDALANISH MASALALARI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(12), 406-414.
- [5] Arifjanov, A., Samiev, L., Apakhodjaeva, T. and Akmalov, S., 2019, December. Distribution of river sediment in channels. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 403, No. 1, p. 012153). IOP Publishing.
- [6] Arifjanov, A., Samiyev, L., Akhmedov, I. and Atakulov, D., 2021. Innovative technologies in the assessment of accumulation and erosion processes in the channels. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(4), pp.110-114.
- [7] Khazratov, A. N., Axmadjon o'g'li S. A., & Sobirov, F. C. (2026). Channel Deformation Processes in the Amu-Bukhara Machine Canal. *American Journal of Technology Advancement*, 3(5), 109–116. <https://doi.org/10.31149/ajta.v3i5.4198>
- [8] Sobirov, F. C., & Xazratov, A. N. (2024). IRRIGATSIYA KANALLARIDAGI QIRG'OQ DEFORMATSIYASINI TADQIQ QILISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 4(10), 349-359.
- [9] Khazratov A.N., Sobirov F.Ch; Study of Side Wall Deformation in Irrigation Channels; Miasto Przyszlosci Kielce 2024; Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X; 715-722-betlar
- [10] Brunner, G. W. (2001). HEC-RAS hydraulic reference manual. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- [11] Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS hydraulic reference manual, version 5.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- [12] Brunner, G. W., & Gibson, S. (2005). Sediment transport modeling in HEC RAS. In *Impacts of global climate change* (pp. 1-12).
- [13] Depeweg, H. and Méndez, N., 2007. A New Approach to Sediment Transport in the Design and Operation of Irrigation Canals: UNESCO-IHE Lecture Note Series. CRC Press.
- [14] Yang, C.T., 1996. Sediment transport: theory and practice (Vol. 396). New York: McGraw-Hill.

UO‘K: 622.692.4; 532.529

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.18>

KON SHAROITIDA QUVURLARDAGI GAZ–SUYUQLIK HARAKATI JARAYONIDA OQIM STRUKTURALARI O‘ZGARISHI TAHLILI

Avlakulov Abdimajit Meyliyevich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent,
E-mail: abdimajit.avlakulov@mail.ru, ORCID: 0009-0006-6480-0076, Science ID: FQD-0925-0118

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotasiya. Ushbu maqolada gaz–suyuqlik aralashmalarining quvurlar bo‘ylab harakatlanish jarayonlari va ularni gidravlik hisoblash usullarining rivojlanish bosqichlari tahlil qilingan. Gaz, neft, kondensat va suvdan tashkil topgan ikki fazali oqimlarning harakatiga ta’sir etuvchi asosiy gidrodinamik va termodinamik omillar ko‘rib chiqilgan. Mavjud nazariy, yarim empirik va eksperimental tadqiqotlar natijalari umumlashtirilib, bosim yo‘qotilishi, haqiqiy gaz konsentratsiyasi, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti hamda oqim strukturalarining o‘zgarish qonuniyatlari baholangan. Qatlamli, tiqinli va halqasimon oqim rejimlarining shakllanish xususiyatlari hamda ularning quvur tizimlari samaradorligiga ta’siri yoritilgan. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, oqim strukturalarining almashinishi va relyefli quvurlardagi harakat xususiyatlarini hisobga oluvchi universal matematik modellarni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari neft-gaz sanoatida quvur tizimlarini loyihalash, ekspluatatsiya qilish va gidravlik hisoblarni takomillashtirish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: gaz–suyuqlik aralashmasi, ikki fazali oqim, gidravlik hisob, bosim yo‘qotilishi, oqim strukturalari, quvur transporti, gaz konsentratsiyasi.

УДК: 622.692.4; 532.529

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В ТРУБОПРОВОДАХ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Авлакулов Абдимажит Мейлиевич – доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В статье проведён анализ процессов движения газожидкостных смесей по трубопроводам и современных методов их гидравлического расчёта. Рассмотрены основные гидродинамические и термодинамические факторы, влияющие на движение двухфазных потоков, состоящих из газа, нефти, конденсата и воды. Обобщены результаты теоретических, полуэмпирических и экспериментальных исследований, посвящённых определению потерь давления, истинного газосодержания, коэффициентов гидравлического сопротивления и закономерностей изменения структуры потока. Особое внимание уделено особенностям формирования слоистого, пробкового и кольцевого режимов течения, а также их влиянию на эффективность работы трубопроводных систем. Показано, что существующие модели не всегда учитывают смену режимов течения и особенности движения смесей в рельефных трубопроводах. В связи с этим актуальной задачей является разработка универсальных математических моделей, обеспечивающих более точное описание гидродинамических процессов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, эксплуатации и совершенствовании трубопроводных систем нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: газожидкостная смесь, двухфазный поток, гидравлический расчёт, потери давления, структура потока, трубопроводный транспорт, газосодержание.

UDC: 622.692.4; 532.529

ANALYSIS OF FLOW STRUCTURE CHANGES DURING GAS-LIQUID FLOW IN PIPELINES UNDER FIELD CONDITIONS

Abdimajit Avlakulov, doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Karshi State Texnical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This paper analyzes the flow behavior of gas–liquid mixtures in pipelines and reviews modern approaches to hydraulic calculations of two-phase flows. The main hydrodynamic and thermodynamic factors affecting the transportation of gas, oil, condensate, and water mixtures are examined. The results of theoretical, semi-empirical, and experimental studies are summarized with particular attention to pressure losses, true gas holdup, hydraulic resistance coefficients, and flow pattern transitions. The characteristics of stratified, slug, and annular flow regimes and their influence on pipeline performance are discussed. The analysis demonstrates that many existing models do not adequately account for flow pattern transitions and the specific features of multiphase flow in pipelines with varying terrain profiles. Therefore, the development of more universal mathematical models capable of accurately describing complex gas–liquid flow processes remains an important scientific and engineering challenge. The findings of this study can serve as a scientific basis for improving hydraulic calculations, optimizing pipeline design, and enhancing the operational efficiency and reliability of oil and gas transportation systems.*

Keywords: *gas–liquid mixture, two-phase flow, hydraulic calculation, pressure loss, flow pattern, pipeline transportation, gas holdup.*

Kirish

Global energetika sanoatida uglevodorod xomashyosini qazib olish, yig‘ish va qayta ishlash jarayonlarida ko‘p fazali oqimlar harakati muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, kon quvur tizimlarida neft, gaz, kondensat va suv aralashmalari bir vaqtning o‘zida harakatlanadi. Bunday muhitlar gaz–suyuqlik ikki fazali tizimlar sifatida qaraladi.

Ma‘lumki, gaz-suyuqlik aralashmalari harakatida geterogen muhitlar orasida kechadigan jarayonlarni matematik ifodalash juda murakkab hisoblanadi. Shu sababli muhandislik hisoblari uchun gaz-suyuqlik oqimini ifodalovchi tenglamalarda turli faraz va soddalashtirishlardan foydalanmaslikning iloji yo‘q.

V.Nezdoyminov, V.Rojkovlar kon sharoitida quvurlardagi gaz-suyuqlik aralashmasi harakatining matematik ifodasini yaratishga harakat qilishgan. Aralashma oqimining qatlamli harakatida bosim tushishi uchun analitik formula taklif etishgan. Lekin kon sharoitida gaz-suyuqlik harakati quvurda strukturalar o‘zgarishi, ya‘ni almashunuvi sharoitida kechadi. Mualliflar bunday jarayonni harakat differensial tenglamalari sistemasi murakkabligi uchun tekshirishmagan. [1] ishda L.P.Xolpanov va boshqalar quvur bo‘ylab gazning nostatsionar harakatini va gaz–suyuqlik aralashmalari harakatini magistral quvurlar uchun nazariy jihatdan o‘rganishgan.

Materiallar va uslublar

R.X.Askarov, X.I.Dadashzade ishida quvurda aralashma oqimining rejim xarakteristikasi asosida gidravlik hisobning asosiy parametrlari uchun analitik formulalar tavsiya etilgan. Ushbu metodika kon hududidagi quvurlar tizimi uchun sinab ko‘rilgan va yaxshi natija berganligi ta‘kidlanadi [2]. Mualliflar Frud va Reynolds o‘lchovsiz parametrlar va gidravlik qarshilik koeffitsiyentlari asosida ikki fazalik sistemaning gidrodinamik jarayonlarini modellashtirish mumkin ekanligini ko‘rsatishgan. Bunda oqim strukturasi e‘tiborga olinmaganligi sababli hisoblash formulalarini matematik yo‘l bilan keltirib chiqarish uncha qiyinchilik tug‘dirmasligini ko‘rish mumkin [3]. Shu bois muhandislik hisoblarida soddalashtirilgan modellar, yarim empirik formulalar va eksperimental koeffitsiyentlardan foydalaniladi.

Salavatov T.Sh., Askerov R.X., Dadashzade X.I. [4] lar gaz-kondensat aralashmasining umumiy tenglamasini

$$\Delta P_{aral} = \Delta P_s + \Delta P_g + k \sqrt{\Delta P_s \Delta P_g}$$

ko‘rinishda ifodalanishni taklif qilishgan, bu yerda ΔP_{aral} - aralashmaning ishqalanishdagi bosim yo‘qotilishi, ΔP_s va ΔP_g -lar mos ravishda alohida suyuqlik va alohida gaz oqimining ishqalanishdagi bosim yo‘qotishlari, k - o‘lchamsiz, eksperimental parametr. Ushbu bog‘lanish avval [5] ishlarda sinovdan o‘tganligi qayd etiladi. Unda metodika aralashmadagi fazalarning turli nisbatlariga yaxshi natija bergan. Ammo bu harakat tenglamasi relyefli quvurlar uchun natija bermaydi.

V.S.Semenyakin tomonidan bu borada bir paytning o‘zida ham nazariy va eksperimental tadqiqotlar o‘tkazilgan. Quvurdagi gazkondensat aralashmasi oqimida quvur ichida ro‘y beradigan gidravlik va termodinamik jarayonlarni hisobga olish asosida gidravlik hisobni yuritish zarurligini e‘tirof etadi. Bosimning kamayishi evaziga gaz fazasining kengayishi va uning solishtirma hajmining o‘sishi, zichlik esa kamayishi kuzatilgan. U o‘zining tadqiqotida gaz sarfiga bog‘liq ravishda quvur uzunligi bo‘ylab bosim tushishini turli grafiklarda tushuntirishga harakat qilgan [6].

[7] monografiyada keyingi yillarda gaz-suyuqlik aralashmasining quvurlardagi harakatiga doir nazariy va eksperimental tadqiqotlar hamda ularning natijalari hozirgi zamon nuqtai nazaridan tahlil qilingan. Unda ishlarning tub mohiyati, ulardan olingan natijalar atroflicha bayon qilingan. Bu ishlar aralashmaning quvurdagi harakati quvur diametri, suyuqlik va gaz fazalarining tezliklari va yopishqoqligi va boshqa gidrodinamik va termodinamik parametrlarining keng diapazondagi o‘zgarishiga bog‘liq ravishda olib borilgan. Ayniqsa quvurda yuz beradigan oqim strukturasi almashinuvi sharoitida aralashma harakat differensial tenglamalarining tasniflanishini muhim ahamiyat kasb etadi. Ammo harakat differensial tenglamalarining integrallanishi anchagina soddalashtirish va farazlar asosida amalga oshirilishi mumkinligini qayd etish mumkin. Bu o‘rinda harakat tenglamalarini integrallashning ketma-ket yaqinlashish usulini amalga oshirish jarayoni haqida hech narsa bayon etilmagan.

30-40 yillarda vertikal quvur bo‘ylab gaz-suyuqlik harakati jiddiy ravishda eksperimental usulda o‘rganila boshlandi. Bu ishlar sirasiga P.M.Kolesnikovning uncha uzun bo‘lmagan quvurda o‘tkazgan tajribasini kiritish mumkin [8]. P.M.Kolesnikov asosan vertikal quvur bo‘ylab, neftning havo bo‘ylab ko‘tarish jarayonini o‘rgangan. Birozdan so‘ng esa olimlar gorizontall quvurda gaz-suyuqlik aralashmasi harakatini o‘rgana boshlashdi. Bu yo‘nalishda tadqiqotlarga birinchi navbatda A.A.Armand [1], A.I.Gujov [9], V.A.Mamaev, G.E.Odishariya, N.N.Smenov, A.A.Tochigen, V.Z. Minlikaev ishlarini kiritish mumkin.

A.A.Armand o‘z eksperimental kuzatishlarini quyidagi 4 qismga bo‘lib o‘tkazdi:

1. Quvurda suyuqlik va gaz pufaklari aralashmalari quvur bo‘ylab notekis joylashgan holda harakatlanadi.
2. Quvurda suyuqlik pastda gaz yuqorida harakatlanadi (qatlamli harakat). Yuqoridagi ikkala tipda ham aralashma gazning kam konsentratsiyasi holida harakatlanadi.
3. Suyuqlik quvurning ichki devori bo‘ylab harakatlanadi, o‘rtada esa gaz oqimi harakatlanadi (halqalik rejim).
4. Suyuqlikning asosiy qismi quvur ichki devori bo‘ylab harakatlanadi, gaz o‘rtada harakatlanib, o‘zi bilan birga suyuqlik tomchilarini ham olib ketib turadi.

Muallif bu kuzatishlarda yarim empirik formulalardan foydalangan. Ammo A.A.Armand tadqiqotlarida bir rejimdan ikkinchi rejimga o‘tish sohasi aniqlanmagan. Rejimlarning almashinish jarayoni bilan S.I.Kosterin shug‘ullangan. Bu soha kiyinchalik V.A.Mamaev, G.E.Odishariya, N.I.Semenov, A.A.Tochigen va L.I.Lujov ishlarida mufassal bayon etilgan.

Natijalar va muhokama

V.G.Karamishev [10] o‘zining eksperimental tadqiqotlarida quyidagilarni aniqlagan va bayon qilgan:

a) Qatlamli strukturada fazalar orasidagi sirtida yuzaga keladigan to'qlinlarning spektral xarakteristikalari.

b) Fazalar orasidagi sirtida dispers to'qlinlarning gorizontall quvurdagi suyuqlik balandligiga bog'liqligi.

d) Gorizontall quvurlarda qatlamli rejimda turbulentlik xarakteristikalari.

e) Qalamli gorizontall oqimlarda urinma kuchlarning taqsimoti.

f) Qatlamli rejimda fazalar orasidagi sirtida tezlik taqsimotining to'qlin xarakteristikasiga bog'liqligi.

g) turbulentlik masshtabi.

[3] ishda gaz-suyuqlik aralashmasida eng ko'p uchraydigan struktura tiqinli strukturaning ro'y berishi mumkin bo'lgan soha ko'rsatiladi. Bu ishda tiqinlik va qatlamli strukturani ajratish sohasi quvurning qiyalik burchagi α , Fr_{sm} va β parametrlar yordamida aniqlangan. Relyefli quvurlarda haqiqiy gaz konsentratsiyasi φ tadqiq qilinadi. Ta'kidlash joizki, φ quyidagi funksiya ko'rinishida bo'ladi:

$$\varphi = f(\alpha, Fr_{aral}, \beta). \quad (1)$$

Yopishqoqlik va sirt tarangligi parametrlarining haqiqiy gaz konsentratsiyasiga ta'siri ham o'rganiladi.

Eksperimental tadqiqotlar vositasida gazning haqiqiy konsentratsiyasi φ va tiqinli strukturani belgilaydigan parametrlar orasidagi quyidagi bog'lanishlar aniqlangan

$$\varphi = k \left[1 - \exp \left(-4,4 \sqrt{\frac{Fr_{aral}}{Fr_a}} \right) \right] \beta, \quad (2)$$

bu yerda

$$\left. \begin{aligned} k &= 0,35 + 1,4 \sqrt{\frac{\mu_g}{\mu_s}}; \left(\frac{\mu_g}{\mu_s} \leq 0,01 \right) \\ k &= 0,77 + 0,23 \sqrt{\frac{\mu_g}{\mu_s}}; \left(\frac{\mu_g}{\mu_s} \geq 0,01 \right) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

bu yerda Fr_a - Fr_m ning shunday qiymatni hajmiy gaz konsentratsiyasi Fr_{aral} ga bog'liq bo'lmay qoladi.

Bu ishda quvur devoridagi urinma kuchlanish

$$\tau = \frac{\lambda_{aral}}{8} \rho_{aral} \cdot V_{aral}^2 \quad (4)$$

ga teng shartga asosan gidravlik qarshilik koeffitsiyenti aniqlangan. Mualliflar tomonidan tavsiya etilgan muhandislik hisoblari yuqorida qayd etilgan (2) va (4) formulalar asosida tushuntiriladi [13, 14].

Chekushina T.V., Panaxov G.M. va Abbasov Z.M. tomonidan gorizontall quvurlarda gaz-suyuqlik harakatiga doir ko'plab eksperiment natijalari bayon etilgan. Unda quvurdagi aralashma strukturasi haroratning ta'siri o'rganilgan. Ishning natijasiga ko'ra haroratning tushishi bilan aralashmada gaz ajralib chiqish jarayoni tezlashib borar ekan [10, 11].

Boris A.A., Lyagov A.V. lar gaz- neft aralashmasiga oz-ozdan suv qo'yib, quduqdan chiqarish jarayonini tadqiq qilishganda, nasos ishiga negativ ta'sirini kuzatishgan. Olingan natijalarning haqqoniyligini tekshirish uchun matematik metod yordamida olingan hisob bilan solishtirilgan. Turli strukturadagi oqim uchun aralashmadagi suyuqlikning hajmiy konsentratsiyasi qanday o'zgarishi kuzatilgan [12].

Xulosa

Tahlil qilingan ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, gaz-suyuqlik aralashmalarining quvurlar bo'ylab harakati ko'p omilli, nostatsionar va yuqori darajada nochiziqli gidrodinamik jarayon bo'lib, uning kechishi oqim strukturasi, fazalar nisbati, quvur diametri, qiyalik burchagi, bosim, harorat hamda fizik-mexanik xossalarning o'zaro ta'siri bilan belgilanadi. Mavjud nazariy, yarim empirik va eksperimental modellar bosim yo'qotilishi, haqiqiy gaz konsentratsiyasi va gidravlik qarshilik koeffitsiyentlarini baholash imkonini bersa-da, ularning aksariyati oqim strukturalarining almashinuvi va relyefli quvurlardagi harakat xususiyatlarini to'liq hisobga olmaydi.

Adabiyotlar tahlili natijalari gaz–suyuqlik tizimlarida qatlamli, tiqinli va halqasimon rejimlarning shakllanish mexanizmlari hamda ularning gidravlik parametrlarga ta'siri yetarlicha o'rganilganligini ko'rsatdi. Biroq oqim strukturalarining o'zaro o'tish chegaralari, fazalararo ta'sir kuchlari va turbulentlik xususiyatlarini hisobga olgan universal matematik modellarni yaratish dolzarb ilmiy muammo bo'lib qolmoqda.

Shu munosabat bilan kelgusida gaz–suyuqlik aralashmalarining relyefli quvurlardagi harakatini tavsiflovchi takomillashtirilgan gidrodinamik modellarni ishlab chiqish, zamonaviy raqamli modellashtirish usullari va intellektual monitoring texnologiyalarini qo'llash orqali hisoblash aniqligini oshirish muhim ahamiyat kasb etadi. Bu esa neft-gaz konlarini ekspluatatsiya qilishda energiya sarfini kamaytirish, quvur tizimlarining ishonchligini oshirish hamda uglevodorod mahsulotlarini samarali transport qilish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Gaz–suyuqlik oqimlari ko'p omilli murakkab tizimdir. Oqim strukturalarini aniqlash va ularni hisobga olish kon quvurlarini samarali loyihalashning asosiy sharti hisoblanadi. Zamonaviy raqamli modellashtirish va intellektual monitoring tizimlari kelgusida tadqiqotlar samaradorligini yanada oshiradi.

Adabiyotlar

- [1] Холпанов Л.П., Шкадов В.Я. Гидродинамика и тепломассообмен с поверхностью раздела / -М: Наука 1990. С.318.
- [2] Гусейнзаде М.А., Другина Л.И., Петрова О.Н., Степанова М.Ф. Гидродинамические процессы в сложных трубопроводных системах. - М.: Недра, 1991. - 168 с.
- [3] Панахов Г.М., Аббасов З.М. Влияние газовыделения гидравлические характеристики течения жидкости в трубопроводе/ Проектирование, сооружение и эксплуатации газонефтепроводов и газонефтехранилищ. Баку – 2015 г. стр.19-22]
- [4] Салаватов Т.Ш., Аскеров Р.Х., Дадашзаде Х.И. Определение забойного давления в процессе эксплуатации обводнённых газовых скважин // Газовая промышленность. 2017 г. №1 с. 26-29.
- [5] Сулейманов В.А. Особенности гидравлики газа в трубопроводах с гладким внутренним покрытием. Газовая промышленность. 2014, но. 11, с. 91–94. ИСЧН 0016-5581.
- [6] Семенякин В.С. Гидравлический расчёт газоконденсатопроводов // Вестник АГТУ. 2006. №6(35) с. 93-97]
- [7] Пашали А.А. Гидромеханика многофазных течений в трубопроводной инфраструктуре нефтяных месторождений //Монография. Уфа. Изд-во ООО Баш НИПИ, 2020. -336 с. 16
- [8] Колесников П.М. Нестационарные двухфазные газожидкостные течения в каналах. -М.: МАКС Пресс, 1986. - 334 с.
- [9] Гужов А.И. Совместный сбор и транспорт нефти и газа. М. Недра. 1973. с.280.
- [10] Карамышев В.Г. Исследование закономерностей совместного транспорта нефти и газа по трубопроводам. Дисс. канд.техн. наук. Уфа, 2002. С.255.
- [11] Чекушина Т.В., Шафеева Г.Х. Инновационные технологии в строительстве и эксплуатации трубопроводного транспорта // Universum: технические науки: электрон. научный журнал 2023. 4 (109). С.342-349
- [12] Борис А.А., Лягов А.В. Определение режима потока газожидкостной смеси в трубопроводах //Электронный научный журнал «Нефтьгазовое дело», 2012, №2. с.53-59.
- [13] Avlakulov A.M., Babajanova I.Y., Babajanov Y.T. Gorizontal quvurlardagi qatlamli gaz-suyuqlik arlashmasi oqimi. Innovatsion texnologiyalar jurnali. №2 (54). 2024. 77-82 b.
- [14] Avlakulov A.M. Gaz-kondensat konlarini o'zlashtirish jarayonida gazni quvurlar orqali tashishning o'ziga xos xususiyatlari. Innovatsion texnologiyalar jurnali. №3 (59). 2025. 21-27 b.

QISHLOQ XO'JALIGI FANLARI / AGRICULTURAL SCIENCES

UO'K: 635.22:631.544:631.527

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.19>

**BATAT EKINI BARG HOSIL BO'LIH DINAMIKASIGA EKISH TIZIMLARI VA
USULLARINING TA'SIRI**

Yodgorov Normumin G'ulomovich – qishloq xo'jaligi fanlari doktori (DSc), katta ilmiy xodim,
E-mail: nyodgorov20@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4716-9981, Science ID: DQD-0526-0005

Qo'zliyeva Maftuna Bobomurodovna - doktorant (PhD),

E-mail: bobomurodovnamaftuna@gmail.com, ORCID: 0009-0003-4324-3045,
Science ID: MQD-0626-0119

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Ushbu maqolada O'zbekiston sharoitida batat ekinini ochiq maydon va plyonka ostida yetishtirishda turli ekish tizimlari hamda me'yorlarining barg hosil qilish dinamikasiga ta'siri o'rganilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, plyonka ostida yetishtirish tizimi ochiq maydonga nisbatan vegetativ organlar rivojlanishini jadallashtirib, barglar sonini o'rtacha 70,6–74,1 donaga oshiradi. Eng yuqori ko'rsatkichlar 90x25x1 sm va 70x30x1 sm ekish sxemalarida qayd etilib, oziqlanish maydonining maqbullashishi o'simlikning maksimal fotosintetik salohiyatini ta'minlagan. Maqolada keltirilgan ma'lumotlar batatdan mo'l hosil yetishtirish uchun maqbul agrotexnik parametrlarni tanlashda ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: batat, *Ipomoea batatas* L., ekish tizimi, oziqlanish maydon, plyonka ostida yetishtirish, barg hosil bo'lishi, o'sish dinamikasi, fotosintez.

УДК: 635.22:631.544:631.527

**ВЛИЯНИЕ СХЕМ И СПОСОБОВ ПОСАДКИ НА ДИНАМИКУ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ БАТАТА**

Ёдгоров Нормумин Гуломович - доктор сельскохозяйственных наук (DSc),
старший научный сотрудник

Куйлиева Мафтуна Бобомуродовна - докторант (PhD)

Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье изучено влияние различных систем и норм посадки на динамику листообразования батата (*Ipomoea batatas* L.) в условиях открытого грунта и под пленочным укрытием в Узбекистане. Результаты исследования свидетельствуют о том, что система выращивания под пленкой ускоряет развитие вегетативных органов по сравнению с открытым грунтом, увеличивая количество листьев в среднем на 70,6–74,1 единицы. Наиболее высокие показатели зафиксированы при схемах посадки 90x25x1 см и 70x30x1 см, где оптимизация площади питания обеспечила максимальный фотосинтетический потенциал растений. Представленные данные служат научным обоснованием для выбора оптимальных агротехнических параметров в целях обеспечения высокой урожайности батата.

Ключевые слова: батат, *Ipomoea batatas* L., система посадки, площадь питания, выращивание под пленкой, листообразование, динамика роста, фотосинтез.

UDC: 635.22:631.544:631.527

**THE INFLUENCE OF PLANTING SYSTEMS AND METHODS ON THE DYNAMICS OF
LEAF YIELD IN SWEET POTATO**

Normumin Yodgorov, doctor of agricultural sciences

Maftuna Kuyliyeva, doctoral student

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. *This article investigates the impact of various planting systems and densities on the leaf formation dynamics of sweet potato grown in open fields and under film mulch in Uzbekistan. The research results indicate that the film mulch cultivation system accelerates the development of vegetative organs compared to open field conditions, increasing the leaf count by an average of 70.6–74.1 units. The highest values were recorded in planting schemes of 90x25x1 cm and 70x30x1 cm, where the optimization of the nutritional area ensured the maximum photosynthetic potential of the plants. The data presented in the article serve as a scientific basis for selecting optimal agrotechnical parameters to achieve high yields of sweet potatoes.*

Keywords: *sweet potato, Ipomoea batatas L., planting system, nutritional area, film mulch cultivation, leaf formation, growth dynamics, photosynthesis.*

Kirish

Hozirgi vaqtda jahonda oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash va aholini sifatli mahsulotlar bilan ta'minlashda batat (*Ipomoea batatas* L.) strategik muhim ekin hisoblanadi. Dunyo miqyosida batat yetishtirish hajmi yiliga 90-100 million tonnani tashkil etib, ekin maydonlari bo'yicha kartoshkadan keyingi muhim o'rinlardan birini egallaydi [1]. Asosiy ishlab chiqaruvchi davlatlar qatoriga Xitoy (jahon hosilining qariyb 60 foizi), Nigeriya, Tanzaniya va Vetnam kiradi [2]. Batat o'zining yuqori kaloriyaliligi, vitamin va minerallarga boyligi hamda turli iqlim sharoitlariga moslashuvchanligi bilan ajralib turadi [3].

O'zbekistonda ham so'nggi yillarda qishloq xo'jaligini diversifikatsiya qilish doirasida batat yetishtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Respublikamiz iqlimi, ayniqsa janubiy hududlarning issiq va davomli vegetatsiya davri, ushbu ekinni yetishtirish uchun juda qulaydir [4]. Dastlabki ilmiy tajribalar natijasida yurtimiz sharoitida gektaridan 30-40 tonnagacha hosil olish imkoniyati mavjudligi isbotlangan [5]. Biroq, mahsulot sifatini oshirish va mo'l hosil yetishtirishda ekish tizimlari hamda usullarini to'g'ri tanlash dolzarb masala bo'lib qolmoqda. O'simlikning barg hosil qilish dinamikasi uning fotosintetik salohiyatini belgilab beruvchi asosiy ko'rsatkich bo'lib, bu jarayonga ekish zichligi va plyonka ostida yetishtirish kabi agrotexnik omillarning ta'sirini o'rganish yuqori ilmiy va amaliy ahamiyatga ega [6].

Batat (*Ipomoea batatas* L.) ekinida barglar soni o'simlikning vegetativ rivojlanish darajasini ifodalovchi asosiy ko'rsatkichlardan biri hisoblanadi. Barglar sonining ortib borishi fotosintez yuzasining kengayishiga olib keladi va bu o'z navbatida assimilantlar hosil bo'lishini kuchaytiradi. Ilmiy tadqiqotlarda aniqlanishicha, batatda barglar soni ekilgandan keyingi dastlabki 20-30 kun davomida intensiv ortadi va keyinchalik o'sish sur'ati sekinlashadi. Vegetatsiya davomida barglar soni maksimal qiymatga yetib, so'ngra pastki barglarning qarishi va to'kilishi hisobiga nisbatan barqarorlashadi. Bu jarayon o'simlikning ontogenez bosqichlari bilan chambarchas bog'liq [7].

Barglar soni va tuganak hosil bo'lish o'rtasida muhim fiziologik bog'liqlik mavjud. Barglar sonining optimal darajada bo'lishi fotosintetik mahsulotlarning tuganaklarga yo'naltirilishini ta'minlaydi. Haddan tashqari ko'p barg hosil bo'lishi esa vegetativ o'sishning kuchayishiga olib kelib, generativ organlar (tuganaklar) rivojlanishini sekinlashtirishi mumkin [8]. He va Qin (2020) tadqiqotlarida batat barglarining hosil bo'lish dinamikasi yorug'lik intensivligiga bog'liq ekanligi aniqlangan. Qo'shimcha yoritish barglarning rivojlanishini tezlashtirib, fotosintetik faollik va quruq modda to'planishini oshirgan [9]. Shuningdek, agrotexnik omillar o'g'itlash, sug'orish va yorug'lik barglar soniga sezilarli ta'sir qiladi. Azotli o'g'itlar qo'llanilganda barglar soni ortadi, ammo bu doimo hosildorlik oshishiga olib kelavermaydi. Shu sababli azot me'yorini muvozanatlash muhimdir. Nav xususiyatlari ham muhim omil hisoblanadi. Ayrim navlarda barg shakllanish jadalligi (intensivligi) yuqori bo'lib, ular ko'proq vegetativ massa hosil qiladi, boshqalarida esa barglar soni kamroq, ammo tuganak hosildorligi yuqori bo'ladi [10].

Mazkur tadqiqotning maqsadi O'zbekistonning tuproq-iqlim sharoitida batat ekinini ochiq maydon va plyonka ostida yetishtirishda turli ekish tizimlari hamda me'yorlarining o'simlik barg hosil qilish dinamikasiga ta'sirini o'rganish, shuningdek, maksimal fotosintetik yuzani ta'minlovchi eng maqbul ekish usullarini ilmiy asoslashdan iborat.

Materiallar va uslublar

Tadqiqot obyekti va joyi. Ilmiy tadqiqotlar Qashqadaryo viloyati Chiroqchi tumanidagi “Anvar” fermer xo‘jaligi dala maydonlarida batat (*Ipomoea batatas* L.) ekinining istiqbolli navlarida o‘tkazildi. Tajriba maydonining tuproq-iqlim sharoiti och tusli bo‘z tuproq xususiyatiga ega.

Tajriba sxemasi. Tadqiqotlar ikki xil yetishtirish tizimida: ochiq maydon (1-8 variantlar) va plyonka ostida (9-16 variantlar) olib borildi. Har bir tizimda quyidagi ekish sxemalari va me‘yorlari o‘rganildi:

70 sm qator oralig‘ida: 70x20x1 (72 ming/ga), 70x25x1 (58 ming/ga), 70x30x1 (48 ming/ga) va 70x35x1 (41 ming/ga);

90 sm qator oralig‘ida: 90x15x1 (74 ming/ga), 90x20x1 (56 ming/ga), 90x25x1 (44 ming/ga) va 90x30x1 (37 ming/ga).

Tajriba 3 qaytariqda, variantlar bir yarusli usulda joylashtirildi. Har bir paykalning maydoni 280-360 m² ni tashkil etdi.

O‘lchash va kuzatishlar. Batat o‘simligining barg hosil qilish dinamikasi ko‘chatlar dalaga o‘tkazilgandan so‘ng har oyning birinchi sanasida (1-may, 1-iyun, 1-iyul, 1-avgust) va amal davri oxirida o‘lchandi. Bunda har bir variantdagi tipik o‘simliklar tanlab olinib, ulardagi barglar soni dona hisobida sanaldi. O‘lchashlar oralig‘idagi o‘sish sur‘ati (Mart-iyun, Iyun-iyul, Iyul-avgust) davriy ayirmalar asosida hisoblandi.

Tadqiqotda o‘simliklarning vegetativ rivojlanishi fenologik kuzatish, biometrik o‘lchash va to‘g‘ridan-to‘g‘ri sanash usullari asosida baholandi. Olingan natijalar matematik-statistik tahlil asosida qayta ishlendi. Tadqiqotlarda B.A. Dospekhov dala tajribasi metodikasidan foydalanildi.

Batat o‘simligining vegetativ rivojlanish davridagi barglarning umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan. Tasvirda barglarning shakllanishi va fotosintez yuzasining kengayib borish bosqichlarini yaqqol kuzatish mumkin. Ushbu vizual ma‘lumotlar o‘simlikning oziqlanish darajasi va ontogenez davridagi o‘sish dinamikasini tahlil qilish imkonini beradi.



1-rasm. Batat o‘simligining vegetativ rivojlanish davridagi barglarning umumiy ko‘rinishi.

Natijalar va muhokama

Olib borilgan tadqiqotlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, batat o‘simligining barg hosil qilish dinamikasi qo‘llanilgan agrotexnik tadbirlarga (ekish tizimi va usuli) to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liqdir. Tadqiqotlardan olingan uch yillik ma‘lumotlar shuni ko‘rsatdiki, ekish tizimlari va usullarining batat ekinida barg hosil bo‘lish dinamikasiga sezilarli ta‘sir etgani aniqlandi. Ya‘ni, ochiq maydonda yetishtirilgan o‘rtacha tajriba variantlarda barg hosil bo‘lish dinamikasi 174,9-263,0 dona bo‘lgan bo‘lsa, plyonka ostida parvarish qilinganda esa ushbu ko‘rsatkich 236,2-337,1 donaga, ochiq maydonga nisbatan 61,3-74,1 donaga ko‘p ekani ma‘lum bo‘ldi.

Ushbu qonuniyat tajribaning barcha variantlarda saqlanib, barg hosil bo'lish dinamikasi yaxshilanishi ekish tizimlari va usullari bilan bevosita bog'liq ekani aniqlandi.

Jumladan, ochiq maydonda 70x20x1 (72 ming/ga); 70x25x1 (58 ming/ga); 70x30x1 (48 ming/ga) va 70x35x1 (41 ming/ga) ekish sxemasi va me'yorlarida batat ekilgan 1, 2, 3 va 4-variantlar to'liq tahlil qilinganda, amal davri oxirida barg hosil bo'lishi mos ravishda 174,9; 192,7; 259,2 va 251,1 donani tashkil etgan bo'lsa, ekish sxemasi va me'yorlari 90x15x1 (74 ming/ga); 90x20x1 (56 ming/ga); 90x25x1 (44 ming/ga) va 90x30x1 (37 ming/ga) bo'lgan 5, 6, 7 va 8-variantlarda ushbu ko'rsatkich tegishli 176,4; 196,5; 263,0 va 258,1 dona oralig'ida ekani qayd etildi. Shu bilan birga, yuqoridagi ekish sxemasiga nisbatan variantlar orasidagi farq 1,48; 3,86; 3,87 va 7,02 dona ko'p ekani aniqlandi.

Plyonka ostida yetishtirilgan 9, 10, 11, 12 va 13, 14, 15, 16-variantlarda ekish 70x20x1 (72 ming/ga); 70x25x1 (58 ming/ga); 70x30x1 (48 ming/ga) va 70x35x1 (41 ming/ga) hamda 90x15x1 (74 ming/ga); 90x20x1 (56 ming/ga); 90x25x1 (44 ming/ga) va 90x30x1 (37 ming/ga) sxemasi va me'yorlarida bo'lganda mutanosib ravishda 236,2; 260,3; 329,8; 319,8 hamda 240,2; 267,2; 337,1; 328,3 donani tashkil etib, ko'chat qalinligining maqbul bo'lishi bilan, barg hosil bo'lish dinamikasiga ijobiy ta'sir ko'rsatdi. Ushbu natijalar ochiq maydondagi variantlarga nisbatan 61,2-74,1 donaga farq qilgani aniqlandi.

Biroq ushbu variantlar orasida eng yuqori natija plyonka ostida ekish sxemasi va me'yori 70x30x1 (48 ming/ga) hamda 90x25x1 (44 ming/ga) qo'llanilgan 11- hamda 15-variantlarda qayd etilib, barg hosil bo'lish dinamikasi mos ravishda 329,8-337,1 dona bo'lgan bo'lsa, ochiq maydonda yetishtirilganda ushbu ko'rsatkich 259,2-263,0 donani tashkil etib, nisbatan 70,6-74,1 donaga kam ekani qayd etildi.

Barg hosil bo'lish dinamikasi ekish usuli ko'chat qalinligi bilan uzviy bog'liq. Masalan, tajribada egat oralig'i 70 sm bo'lgan variantlarga nisbatan 90 sm bo'lgan ekish usulida o'simlik barglar soni sezilarli ravishda yuqori bo'ldi. Ayniqsa, plyonka ostida 90x25x1 (44 ming/ga) ekish usuli va me'yori qo'llanilgan variantda eng yuqori natija olinib, barglar soni 337,1 donani tashkil etdi. Shu usul ochiq maydonda qo'llanilganda esa 263,0 dona barg hosil bo'lib, plyonka ostida yetishtirilganga nisbatan 74,1 donaga kam bo'lganligi aniqlandi.

Batat o'simligining hosildorligi bevosita uning barg yuzasi va barglar soniga bog'liq bo'lib, bu ko'rsatkichlar ekish tizimi hamda oziqlanish maydoniga qarab o'zgarib boradi. Ochiq maydon va plyonka ostida turli ekish me'yorlari qo'llanilganda, ko'chatlarning o'sish sur'ati va vegetativ massasi turlicha shakllanadi. Quyidagi 1-jadvalda batat ekini turli ekish tizimlari va usullarining barg hosil bo'lish dinamikasiga ta'siri bo'yicha olingan ko'rsatkichlar keltirilgan.

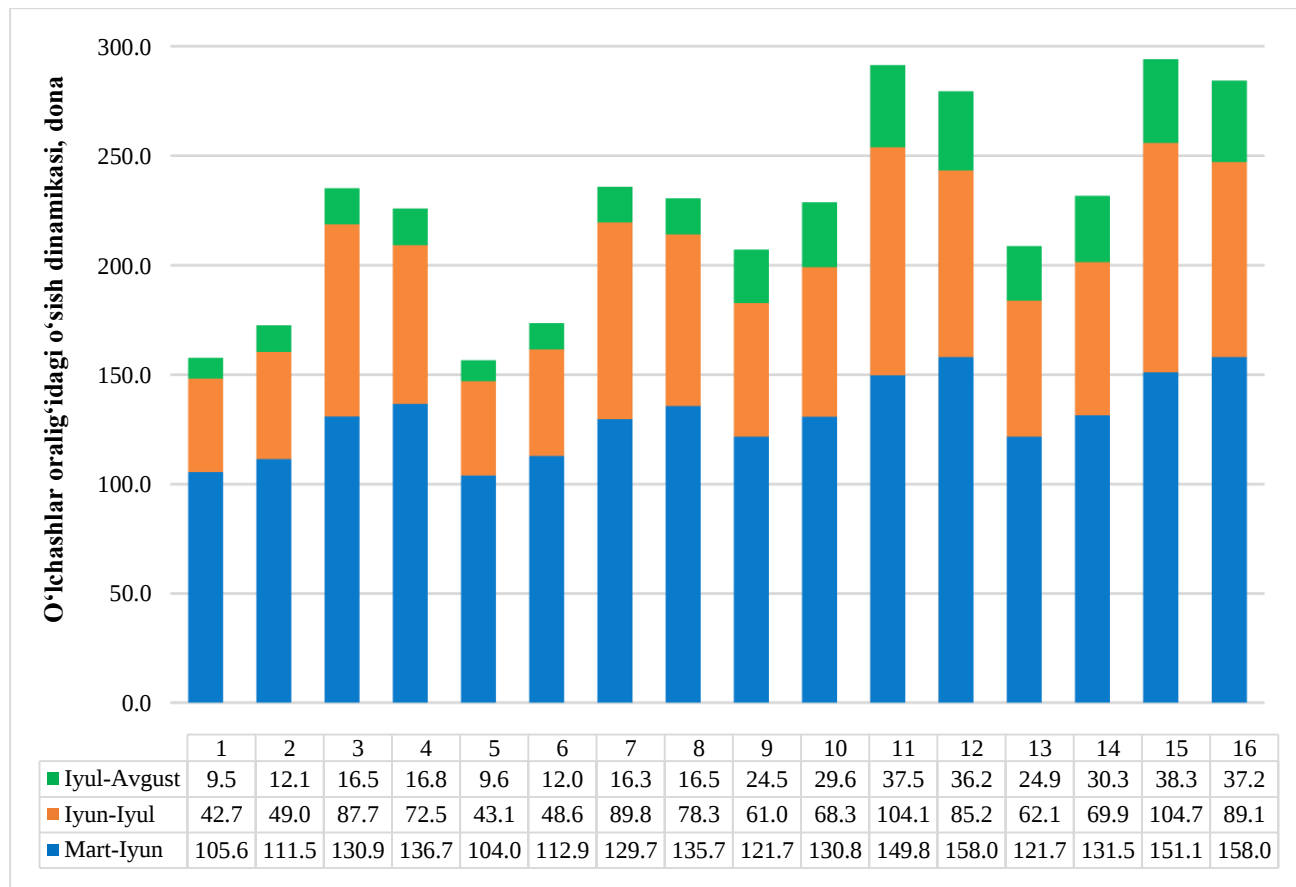
1-jadval ma'lumotlaridan ko'rinib turibdiki, barcha variantlarda barglar sonining eng jadal ortishi iyun-iyul oylariga to'g'ri keladi. Plyonka ostiga ekilgan variantlarda (9-16 variantlar) ochiq maydonga nisbatan barg hosil bo'lish ko'rsatkichlari sezilarli darajada yuqori bo'lib, vegetatsiya yakunida barglar soni maksimal darajaga (337,1 dona/tup) yetganligi kuzatildi. Ekish tizimlari tahlil qilinganda, oziqlanish maydonining kengayishi (masalan, 90x25x1 sm sxemada) har bir tup o'simlikdagi barglar sonining ortishiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Aksincha, ekish zichligi oshgan sari (70x20x1 sm) turlararo raqobat hisobiga yakka tartibdagi o'simlikning barg hosil qilish ko'rsatkichi biroz pasayishi qayd etildi.

Batat o'simligining vegetatsiya davomida barg hosil qilish sur'ati bir tekis kechmasdan, u tashqi muhit omillari va qo'llanilgan agroteknologiyalarga qarab o'zgarib boradi. Har bir o'lchash davri oralig'idagi o'sish ko'rsatkichlarini vizual tahlil qilish variantlar o'rtasidagi tafovutni va rivojlanish dinamikasini aniqroq baholash imkonini beradi. Quyidagi 2-rasmda o'lchashlar oralig'idagi barg sonining o'sish dinamikasi variantlar kesimida keltirilgan.

1-jadval. Batat ekini turli ekish tizimlari va usullarining barg hosil bo'lish dinamikasiga ta'siri

Var. №	Ekish tizimi	Ekish usuli va me'yori	Dalaga ko'chat o'tkazilgach, o'lchash kuni va kalendar muddatlari					O'lchashlar oralig'idagi o'sish dinamikasi, dona		
			1- may	1- iyun	1 - iyul	1- avgust	Amal davri oxiri	May- iyun	Iyun- iyul	Iyul- avgust
1	Ochiq maydon	70x20x1 (72 ming/ga)	11,0	116,6	159,3	168,8	174,9	105,6	42,7	9,5
2		70x25x1 (58 ming/ga)	12,4	123,8	172,8	184,9	192,7	111,5	49,0	12,1
3		70x30x1 (48 ming/ga)	14,2	145,1	232,8	249,3	259,2	130,9	87,7	16,5
4		70x35x1 (41 ming/ga)	15,4	152,1	224,5	241,3	251,1	136,7	72,5	16,8
5		90x15x1 (74 ming/ga)	13,6	117,6	160,6	170,2	176,4	104,0	43,1	9,6
6		90x20x1 (56 ming/ga)	15,2	128,1	176,7	188,8	196,5	112,9	48,6	12,0
7		90x25x1 (44 ming/ga)	17,3	147,0	236,8	253,1	263,0	129,7	89,8	16,3
8		90x30x1 (37 ming/ga)	17,6	153,4	231,7	248,2	258,1	135,7	78,3	16,5
9	Plyonka ostida	70x20x1 (72 ming/ga)	13,4	135,1	196,1	220,6	236,2	121,7	61,0	24,5
10		70x25x1 (58 ming/ga)	14,9	145,7	213,9	243,6	260,3	130,8	68,3	29,6
11		70x30x1 (48 ming/ga)	17,2	166,9	271,0	308,6	329,8	149,8	104,1	37,5
12		70x35x1 (41 ming/ga)	18,2	176,2	261,5	297,7	319,8	158,0	85,2	36,2
13		90x15x1 (74 ming/ga)	15,9	137,6	199,7	224,7	240,2	121,7	62,1	24,9
14		90x20x1 (56 ming/ga)	17,6	149,1	219,0	249,3	267,2	131,5	69,9	30,3
15		90x25x1 (44 ming/ga)	20,5	171,6	276,3	314,6	337,1	151,1	104,7	38,3
16		90x30x1 (37 ming/ga)	21,5	179,6	268,6	305,8	328,3	158,0	89,1	37,2

2-rasm ma'lumotlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, barcha variantlarda barg hosil bo'lishining eng yuqori ko'rsatkichi mart-iyun oylariga to'g'ri keladi. Plyonka ostida yetishtirilgan variantlarda (9-16) nafaqat umumiy barglar soni, balki har bir davr oralig'idagi o'sish sur'ati ham ochiq maydondagidan sezilarli darajada yuqori ekanligi yaqqol namoyon bo'lmoqda. Ayniqsa, 11, 12, 15 va 16-variantlarda iyun-iyul oylarida ham o'sish jadalligi saqlanib qolgan bo'lib, bu ko'rsatkich 85,2 donadan 104,7 donagacha o'zgarib turibdi. Bu holat plyonka ostida tuproq namligi va haroratining maqbul darajada bo'lishi o'simlikning fotosintetik apparati faolligini uzoqroq saqlashga xizmat qilishini ko'rsatadi. Iyul-avgust oylariga kelib barg hosil bo'lish sur'ati tabiiy ravishda pasaygan bo'lsa-da, plyonka ostidagi variantlarda o'sish dinamikasi ochiq maydon variantlariga nisbatan 2-3 barobar yuqori saqlanib qolgan.



2-rasm. Turli ekish tizimlari va usullarining batat ekini barg hosil bo'lish dinamikasiga ta'siri.

Ushbu natijalar plyonka ostida qulay muhitning (harorat, namlik va tuproqdagi biologik faollik) maqbul bo'lishi sababli o'simlikning vegetativ organlari rivojlanishi jadallashishi bilan izohlanadi. Natijada fotosintez jarayoni kuchayib, barglar soni va umumiy biomassa oshishi qulay muhit evaziga ta'minlanadi.

Xulosa

O'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, batat ekinini plyonka ostida yetishtirish tizimi ochiq maydonga nisbatan o'simlikning vegetativ organlari rivojlanishini sezilarli darajada jadallashtiradi. Plyonka ostidagi mikroiklim, ayniqsa, tuproq harorati va namligining barqaror saqlanishi hisobiga barg hosil bo'lish dinamikasi barcha variantlarda yuqori bo'ldi. Xususan, vegetatsiya davri yakuniga ko'ra, plyonka ostidagi variantlarda barglar soni ochiq maydondagiga nisbatan o'rtacha 70,6–74,1 donaga ko'p bo'lishi qayd etildi.

Ekish usullari va me'yorlari tahlil qilinganda, 70x30x1 sm (48 ming/ga) va 90x25x1 sm (44 ming/ga) sxemalari eng yuqori biologik samaradorlikni ko'rsatdi. Ushbu sxemalarda oziqlanish

maydonining maqbullashishi natijasida o'simlikning fotosintetik faoliyati kuchayib, barglar soni maksimal ko'rsatkichlarga (329,8 va 337,1 dona/tup) yetdi. Aksincha, ekish me'vori zichlashtirilganda (masalan, 74 ming/ga) yakka tartibdagi tupning barg hosil qilish ko'rsatkichi biroz pasayishi kuzatildi.

Xulosa qilib aytganda, batatdan yuqori va sifatli hosil olish uchun plyonka ostida 90x25x1 sm yoki 70x30x1 sm ekish sxemalarini qo'llash tavsiya etiladi. Bu usul o'simlikning biologik imkoniyatlarini to'liq namoyon etishga, jadal fotosintetik yuza shakllanishiga va natijada yuqori tuganak hosildorligini ta'minlashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1] FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division, 2022.
- [2] International Potato Center (CIP). Sweetpotato facts and figures, 2021.
- [3] Woolfe, J. A. Sweet Potato: An Untapped Resource. Cambridge University Press, 1992.
- [4] O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi vazirligi ma'lumotnomasi, 2023.
- [5] Azimov B.J., Azimov B.B. Sabzavotshunoslik, polizchilik va kartoshkachilikda tajribalar o'tkazish metodikasi. – Toshkent, 2002.
- [6] Rasulov A.A. Batat yetishtirish texnologiyasi va uning biologik xususiyatlari. – Toshkent, 2019.
- [7] He J., Qin L. Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse // *Journal of Plant Physiology*. – 2020. – Vol. 252. – Art. 153239. – DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153239.
- [8] Nakagawa S., Ohmura R., Toshima S., Park H., Narasako Y., Hirano T., Otani M., Kunitake H. Changes in polyphenols, anthocyanins and DPPH radical scavenging activity during root development in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 284. – Art. 110100. – DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110100.
- [9] He J., Qin L. Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting. // *Journal of Plant Physiology* 252 (2020) 153239//. P-1-10.
- [10] Enyi B.A.C. Growth analysis in sweet potato cultivars // *Journal of Agricultural Science*. – 2009. – Vol. 7. – P. 15–28.

“Innovatsion texnologiyalar” jurnalida chop etiladigan ilmiy maqolalarga qo‘yilgan talablar

“Innovatsion texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali tahririyati Sizga hamkorlik uchun minnatdorchilik bildiradi hamda Sizdan nashr qilish uchun maqolalarni berishda quyidagi talablarga rioya qilishingizni so‘raydi.

1. Muallif tomonidan taqdim etilayotgan ilmiy maqola mavzusi “Innovatsion texnologiyalar” ilmiy-amaliy jurnalining “Jurnal bo‘limlari” ruknida keltirilgan yo‘nalishlarga mos bo‘lishi kerak.

2. Ilmiy maqolalarning hajmi kamida to‘liq 5 bet va maksimal hajmi to‘liq 10 bet (2000-3000 so‘z) dan oshmasligi zarur, adabiyotlar soni 10 tadan kam bo‘lmagan manbadan iborat bo‘lishi lozim.

3. Maqolaning matni, formula va jadvallarni Microsoft Word (*doc, docx formatlarida*) dasturidan foydalanib tayyorlash kerak.

4. Windows asosidagi matn dasturi redaktorining parametrlari:

- 2 sm dan standart hoshiyalar qolishi kerak;
- shrift Times New Roman, kegel – 12;
- satrlar orasidagi interval – 1 sm;
- matnni kengligi bo‘yicha tekislash;
- xat boshi (abzats) 1 sm;
- MS Word dasturi yordamida ishlangan rasmlar qabul qilinmaydi. Formula, rasm, grafiklar jadvallar sifatli tayyorlangan, chop etilganda aniqko‘rinadigan bo‘lishi lozim. Barcha rasmlar va jadvallar raqamlanishi, nomlanishi hamda manbasi ko‘rsatilishi shart.

5. Ilmiy maqolaning tuzilishiga nisbatan ilgari suriladigan talablar:

1) Maqola o‘zbek (lotin yozuvida), rus yoki ingliz tilida taqdim etilishi mumkin;

2) Maqola halqaro andozalar talabiga ko‘ra quyidagi aniq bandlarga ega bo‘lishi lozim:

a) **UO‘K-o‘zbek (УДК-rus, UDC-ingliz)** – universal o‘nli klassifikator (maqolaning yuqori chap burchagida keltiriladi, klassifikator <http://teacode.com/online/udc> saytida keltirilgan);

b) **Ilmiy maqola mavzusi** minimal miqdordagi so‘zlarni (10 ta so‘zdan oshmasligi kerak) o‘z ichiga olishi va matnning mohiyatini aniq ifodalashi lozim. Mavzu katta bosma harflar bilan o‘rtadan yozilishi kerak;

c) **Muallif (lar) to‘g‘risida ma’lumotlar.** Muallif(lar)ning ismi-sharifi (otasining ismi bilan), ilmiy darajasi va unvoni, ish joyi (shahar, davlat ko‘rsatiladi), elektron pochta manzili va muloqot telefonlari haqidagi barcha ma’lumotlar qisqartmalarsiz to‘liq kiritilishi kerak. Mualliflar bir nechta bo‘lsa ularning har biri haqida to‘liq ma’lumotlar berilishi shart;

d) **Annotatsiya-o‘zbek (Аннотация-rus, Abstract-ingliz)** asosiy mavzuning tavsifi, obyekt muammosi, tadqiqot maqsadlari, asosiy usullar, tadqiqot natijalari va asosiy xulosalarni o‘z ichiga

oladi. Annotatsiyada mavzu va maqsad bilan bog‘liq bo‘lgan boshqa maqolalarga nisbatan ilmiy maqolada nima yangilik borligi ko‘rsatilishi kerak. Maqola annotatsiyasi kamida 150 so‘zdan iborat bo‘lishi lozim;

e) **Kalit so‘zlar-o‘zbek (Ключевые слова-rus, Keywords-ingliz)** o‘rganilayotgan muammoni tavsiflash uchun xizmat qiluvchi asosiy tushunchalar va kategoriyalar ro‘yxatidir. Bu so‘zlar o‘quvchi uchun qo‘llanma bo‘lib xizmat qiladi va elektron ma’lumotlar bazalarida maqolalarni qidirish uchun ishlatiladi, shuning uchun ular fanni (maqola yoziladigan fan sohasini), mavzuni, maqsadni va tadqiqot ob’ektini aks ettirishi kerak. Kalit so‘zlar 5-10 so‘zdan iborat bo‘lishi lozim;

f) **Maqola mavzusi, mualliflar haqidagi ma’lumotlar, annotatsiya va kalit so‘zlar 3 tilda: o‘zbek (lotin yozuvida), rus, ingliz tillarida bo‘lishi shart;**

g) Maqola muallifning shaxsiy izlanishlari natijasiga asoslanishi lozim. Maqola www.antiplag.uz saytining qisqacha hisoboti bilan qabul qilinadi. Originallik kamida **70%** bo‘lishi kerak;

h) Ilmiy maqola tuzilishi jihatidan xalqaro talab darajasidagi IMRaD (ingl. introduction, materials and methods, results and discussion, conclusion) shaklida yozilgan bo‘lishi lozim.

6. Tayyorlangan maqolani sohaning yetakchi olimlari va mutaxassislari–fan doktori yoki fan nomzodi(PhD)dan olingan 2 ta taqriz bilan birga “Innovatsion texnologiyalar” ilmiy-amaliy jurnalining www.innotex-journal.uz veb sayti orqali yuborishingiz mumkin.

7. Yuqoridagi talablarga javob bermaydigan maqolalar tahririyat tomonidan ko‘rib chiqilmaydi.

