

ISSN 2181-7200

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ

ФАРҒОНА ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

И Л М И Й – Т Е Х Н И К А Ж У Р Н А Л И



2025. Том 29. № 5

*НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ*

*SCIENTIFIC – TECHNICAL
JOURNAL*

ФАРҒОНА – 2025

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ ТАҲРИРИЯТИ

1997 йилдан бугун нашр этилади.
Йилига 6 марта чоп қилинади.

ЎзР Олий аттестация комиссияси
Раёсатининг 2013 йил 30 декабрдаги
№201/3 қарори билан журнал ОАК нинг
илмий нашрлари рўйхатида қиртилган

Бош муҳаррир

У.Р. САЛОМОВ

Таҳрир хайъати:

Физика-математика фанлари:

1. Вайткус Ю.Ю., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Вильнюс, Литва ДУ
2. Тарасенко С.А., ф.-м.ф.д., проф. – С-Пб. ФТИ, РФА
3. Мўминов Р.А., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ФТИ
4. Сиддиқов Б.М., Prof. of Mathem. – Ferris State University, USA
5. Нуридинов И., ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ЯФИ
6. Юлдашев Н.Х., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ

Механика:

1. Алиматов Б.А., т.ф.д., проф. – Белгород ДТУ, Россия
2. Сиваченко Л.А., академик, т.ф.д., проф. – Бел.-Рос. Университет, Беларусия
3. Тожиёв Р.Ж., т.ф.д., проф. – Фар ДТУ
4. Тўхтақўзиёв А., т.ф.д., проф. – Ўз ФА МЭИ
5. Файзиматов Ш.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ
6. Валиёв Г.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Қурилиш:

1. Аббасов Ё.С., т.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Ақромов Х.А., т.ф.д., проф. – Тош АҚИ
3. Одилхажаяв А.Э., т.ф.д., проф. – Тош ТИТМИ
4. Раззаков С.Ж., т.ф.д., проф. – НамМҚИ
5. Шинкова Н.Б. т.ф.д.проф. – Москва Арх. Инст., Россия

Энергетика, электротехника

1. Арипов Н.М., т.ф.д., проф. – Тошкент ТИТМИ
2. Хайридинов Б.Э., т.ф.д., проф. – Қарши ДУ
3. Қасимахунова А.М., т.ф.д., проф. – ФДТУ
4. Эргашев С.Ф., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Кимёвий технология ва экология

1. Салиханова Д.С., т.ф.д. проф. – Ўз ФА УНКИ
2. Ибрагимов А.А., к.ф.д., проф. – ФДУ
3. Ибрагимов О.О., қ.х.ф.д. проф. – ФДТУ
4. Омонов Т.С., ф.-м.ф.д., проф. – Альберта Универ, Канада
5. Хамдамова Ш.Ш., т.ф.д. – ООТМХИ
6. Хамроқулов З.А., т.ф.д. – ФДТУ

Электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари:

1. Расулов А.М., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Ақбаров Д.Е., ф.-м.ф.д., проф. – ҚДУ
3. Нишонов А.Х., т.ф.д., проф. – ТАТУ

Ижтимоий-иқтисодий фанлар

1. Ертаёв К.Е., и.ф.д. проф. – Тараз ДУ, Қозоғистон
2. Иқромов М.А., и.ф.д., проф. – Тош ИУ
3. Искандарова Ш.М., ф.-ф.д., проф. – ФДУ
4. Исманов И.Н., и.ф.д., проф. – ФДТУ
5. Жаҳонгиров И.Ж., и.ф.д. – ФДТУ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1997 года.
Выходит 6 раз в год.

Постановлением Президиума Высшей
аттестационной комиссии РУз №201/3
от 30 декабря 2013 г. журнал включен в
список научных изданий ВАК.

Главный редактор

У.Р. САЛОМОВ

Редакционная коллегия:

Ё.С. Аббасов, Б.А. Алиматов, Х.А. Ақромов, Н.М. Арипов, Д.Е. Ақбаров, Ю.Ю. Вайткус, Г.Н. Валиёв, К.Е. Ертаёв, И.Ж. Жаҳонгиров, А.А. Ибрагимов, О.О. Ибрагимов, М.А. Иқромов, Ш.М. Искандарова, И.Н. Исманов, А.М. Қасимахунова, Р.А. Муминов, И. Нуридинов, А.Х. Нишонов, А.Э. Одилхажаяв, Т.С. Омонов, А.М. Расулов, С.Ж. Раззаков, Б. Сиддиқов, Л.А. Сиваченко, Д.С. Салиханова, С.А. Тарасенко, Р.Ж. Тожиёв, А.А. Тухтақўзиёв, Ш.Н. Файзиматов, Б.Э. Хайридинов, Ш.Ш. Хамдамова, З.А. Хамроқулов, Н.Б. Шинкова, С.Ф. Эргашев, Н.Х. Юлдашев (ответственный редактор)

SCIENTIFIC – TECHNICAL JOURNAL

It has been published since 1997.
It is issued 6 times a year.

By Resolution №. 201/3 of the Presidium of the Higher
Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan dated
December 30, 2013, the journal was included in the list of
scientific publications of the HAC.

Editor-in-chief

U.R. SALOMOV

Editorial board members:

Yo.S. Abbasov, B.A. Alimatov, X.A. Akromov, N.M. Aripov, D.Ye. Akbarov, Yu.Yu. Vaitkus, G.N. Valiev, K.E. Ertaev, I.J. Jaxongirov, A.A. Ibragimov, O.O. Ibragimov, M.A. Ikramov, Sh.M. Iskandarova, I.N. Ismanov, A.M. Kasimahunova, R.A. Muminov, I. Nuritdinov, A.X. Nishonov, A.O. Odilxajayev, T.S. Omonov, A.M. Rasulov, S.J. Razzakov, B. Siddikov, L.A. Sivachenko, D.S. Salikhanova, S.A. Tarasenko, R.J. Tojiev, A.A. Tuxtakuziev, Sh.N. Fayzimatov, B.E. Hayriddinov, Sh.Sh. Xamdamova, Z.A. Xamroqulov, N.B. Shinkova, S.F. Ergashev, N.Kh. Yuldashev (Executive Editor)

ФУНДАМЕНТАЛ ФАНЛАР

Istamov D.B., Abdulxayeva A.R., Yodgorova D.M., Xasanov S.F. Kremniyli diod temperatura datchiklarining turli tok o'tish mexanizmlaridagi chegaraviy xarakteristikalarini	9
Utamuradova Sh.B., Xaydarov B.Z. CdTe-SnO ₂ asosidagi yorug'likka sezgir tizimdagi fizik jarayonlar	13
Ayibjonov M., Tuychiboev B.K., Yuldashev N.X., Yuldasheva E.N. Sof vakuumda va havoda CuCl ₂ bug'ida termik ishlov berilgan bo'ylama o'tkazuvchanlikka ega fotosezgir CdSe:Cu,Cl plyonkalarining mikro tuzilishi	16
Muhamediyeva D.K., Nurumova A.Y., Mamatov A.U., Sotvoldiyev D.M. Fazoviy o'zgaruvchan zichlikka ega bo'lgan ikki komponentli muhitda biologik tizimni tahlil qilish	21

МЕХАНИКА

Berdiyev D.M., Tashmatov R.K. Shtamp asboblari termik ishlov berishdagi austenitning izotermik o'zgarish kinetikasini kompleks tahlili va ularining chidamliligini oshirish	31
Toshov B.R., Muminov R.O., To'xtayev B.I., Jo'rayev D.D., Qayumov B.B., Kushimov F. Ankerlash texnologiyalarining asosiy turlari va uning geometrik parametrlarini tadqiq qilish	35
Arifjanov A.M., Orazimbetova G.J., Atakulov D.Y., Parpiyev S.F. Ekspluatatsiyadagi va rekonstruksiya qilingan po'lat quvurning laboratoriya sharoitida tadqiqoti	40
Xashimov X.X., Ruziboyev J.Sh. Yeyilgan kolosniklarni maxsus elektrodlar yordamida tiklash samaradorligining eksperimental tadqiqi	44
Axunov J.A., Tojiboyev Sh.I. Radar va transport vositalari spidometrining o'lchov xatoliklariga ilmiy-texnik va huquqiy yondashuv	49
Ortiqov S.S. Innovatsion va arzon usullar yordamida avtomobil chiqindi gazlarini filtrlash va tozalash	56
Xashimov X.X. Kolosniklarni tayanchga tebranuvchi qilib mahkamlash orqali ularning ish resursini oshirish bo'yicha eksperimental tadqiqotlar natijalari	60
Qosimov B.M., Shin I.G. Qoldiq kuchlanishlarning mashina detallari mustahkamlik xususiyatlariga ta'siri	65
Mo'yidinov A.Sh. Qishloq xo'jaligi va melioratsiya texnikalaridan foydalanish, ularni tiklash va ta'mirlash sohasidagi istiqbolli tendensiyalar	74
Xalilov I.L., Karimov I.T. Абсорбция қурилмаси тешикли тарелкаларининг қаршилик коэффициентларини тажрибавий аниқлаш	78
Jalilova T.A. Grunt va tog' jinslaridagi sferik bo'shliqning dinamik kengayishlari	83
Akbarov D.A., Xusanov Y.Y. Qolip detallariga ishlov berishda sirt sifatini taguchi usuli asosida optimallashtirish	86
Ernazarov A.A., Musurmonov S.S., Xaitboyev E.B. Yonilg'i iste'moli bo'yicha avtomobilni tashxislash usuli	91
Saloxiddinova M.N. Paxtani separatsiyalash jarayonida tola yo'qotishini kamaytirish tadqiqi	99

ҚУРИЛИШ

Cho'lponov O. Rezaksoy suv ombori tekis zatvorlari oraliqlaridagi aeratsiyaning kavitatsiyasini kamaytirish shartlari dinamikasi	103
Razzakov S.J., Usmanov T. Qo'shtavr kesimli yog'och to'sin hisobi	106
Madaliev M.E., Sodiqov M.U. Ansys yordamida isitish radiatorli xonaning issiqlik holatini sonli modellashtirish	110
Razzakov C.J., Fozilov O.Q. Yengil betonli temirbeton to'sinlarni ansys dasturida modellashtirish	116

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Tovboyev A.N., Tog'ayev I.B. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarida tojlanish yo'qotishlarini optimallashtirish usullarini tahlil qilish	122
Goipov E.A., Aliev R. Ichki va tashqi o'qli gidroagregatning tuzilishi va ishlash tamoyillari	126
Murodov M.X., Barayshuk S.M., Berkinov E.X., Nabiyeu M.Ya., Atamirzayev T.U. Quyosh panellarini zaminlashning fotoelektrik tizimlarda PID (Potential Induced Degradation – potensial tufayli degradatsiya) ta'sirini kamaytirishdagi ahamiyati	136
Hudayarov M.B., Fayziyev Sh.Sh. Sanoat korxonalarida va elektr tizimlarda elektr energiyasidan oqilona foydalanish va samaradorligini oshirish	142

Саматова Ш.Ю., Хамраев Ш.Г. Қашқадарё вилояти шароитида қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлиги	147
Xayriddinov B.E., Umarova S.U., Ne'matov I.L. Quyosh kollektorli meva-sabzavot quritish qurilmasining radiatsion –temperatura rejimi va issiqlik balansini tadqiq etish	155
Mamarasulov Q.Sh. Statsionar bo'lmagan yorug'lik sharoitida fotoelementlarning Green funksiyasi asosidagi dinamik modellashtirishi	159
Тоиров О.З., Азимов Ш.Ш., Тоиров З. Реактив қувватни компенсацияловчи қурилмаларни совутиш тизимини такомиллаштириш орқали энергия самарадорлигини ошириш масалалари	169
ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАЛАР ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
Kabulov A.V., O'rinov N.T. Kiberhujumlar va kiberxavfsizlikning keng qamrovli tahlili: yangi tendensiyalar va so'nggi rivojlanishlar	179
Porubay O.V., Turdimatov M.M. Elektr energetika tizimlarida neyro-analitik tarmoqni o'qitish algoritmi va tegishlilik funktsiyasini shakllantirish usullari	192
Каримов С.И. Сунъий йўлдош маълумотларининг вақт қаторлари ва нейрон тармоқлар асосида қишлоқ хўжалик экинларини автоматик классификация қилиш	199
Umurzakova D.M. Neyron tarmoq texnologiyalari asosida avtonom turbogeneratorni boshqarish usullarini sintez qilish	208
КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЭКОЛОГИЯ	
Mirobitov M.I., Umarova V.K., Primkulov M.T. Sholipoya sellyulozasidan mikrokristall sellyuloza olish jarayonining matematik modelini yaratish	216
Umarova V.K., Umarov X.A., Mirobitov M.I., Hamdamova D.Sh., Primkulov M.T. Qamishdan olingan mikrokristallik sellyuloza — qurilish qorishmalariga qo'shimcha sifatida ishlatilinishi	224
Йўлбарсова М.В. Фосфорит шламини карбамиднинг кислотали комплекс бирикмалари ёрдамида кимёвий фаоллаштириш	228
Qurayazov Z.R., Ravshanov S.S., Zaynobiddinov M.Z.T. Bug'doy va javdar donlarini navli un tortishga tayyorlashda quruq ishlov berishning ahamiyati	236
Ibdullayev M.X., Abdurahmonov O.R., Kodirov O.Sh., Abdulayev F.R., Jo'rayev Q.A. Tabiiy gaz tarkibidan butadiyen-1, 3 ni rektifikasiya va ekstraktsiya usulida ajratib olish jarayonini jadalashtirish	242
ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР	
Тўхтаров И. Оққан дарё оқаверади	249
Муаллифлар диққатига !	253

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУКИ

Истамов Д.Б., Абдулхаева А.Р., Ёдгорова Д.М., Хасанов С.Ф. Предельные характеристики кремниевых диодных датчиков температуры при различных механизмах переноса тока	9
Утамурадова Ш.Б., Хайдаров Б.З. Физические процессы в светочувствительной системе на основе CdTe-SnO ₂	13
Айибжанов М., Туйчибаев Б.К., Юлдашев Н.Х., Юлдашева Ё.Н. Микроструктура фотоувствительных пленок CdSe:Cu,Cl с продольной проводимостью, термообработанных в чистом вакууме и на воздухе в парах CuCl ₂	16
Мухамедиева Д.К., Нурумова А.Ю., Маматов А.У., Сотволдиев Д.М. Анализ биологической системы в двухкомпонентной среде с пространственно-переменной плотностью	21

МЕХАНИКА

Бердиев Д.М., Ташматов Р.К. Комплексный анализ кинетики изотермического превращения аустенита при термической обработке штампового инструмента и повышении его стойкости	31
Тошов Б.Р., Муминов Р.О., Тўхтаев Б.И., Жураев Д.Д., Каюмов Б.Б., Кушимов Ф. Основные виды анкерных технологий и исследование их геометрических параметров	35
Арифжанов А.М., Оразимбетова Г.Ж., Атакулов Д.Е., Парпиев С.Ф. Лабораторное исследование эксплуатируемой и реконструированной стальной трубы	40
Хашимов Х.Х., Рузибоев Дж.Ш. Экспериментальное исследование эффективности восстановления изношенных ребер цинь с помощью специальных электродов	44
Ахунов Ж.А., Тожибоев Ш.И. Научно-технический и правовой подход к погрешностям измерений радаров и спидометров транспортных средств	49
Ортиков С.С. Фильтрация и очистка выхлопных газов автомобилей с использованием инновационных и дешевых методов	56
Хашимов Х.Х. Результаты экспериментальных исследований по увеличению ресурса колосников за счёт их вибрационного крепления к опоре	60
Касимов Б.М., Шин И.Г. Влияние технологических остаточных напряжений на прочностные характеристики деталей машин	65
Муйдинов А.Ш. Будущие тенденции в области эксплуатации, восстановления и ремонта сельскохозяйственной и мелиоративной техники	74
Халилов И.Л., Каримов И.Т. Экспериментальное определение коэффициентов сопротивления перфорированных тарелок абсорбционной установки	78
Джалилова Т.А. Динамическое расширение сферической полости в грунтах и горных породах ..	83
Акбаров Д.А., Хусанов Е.Ю. Оптимизация качества поверхности при обработке формообразующих деталей на основе метода тагучи	86
Эрназаров А.А., Мусурмонов С.С., Хаитбаев Э.Б. Методика диагностирования легкового автомобиля по расходу топлива	91
Салохиддинова М.Н. Исследования по снижению потерь волокна при сепарации хлопка	99

СТРОИТЕЛЬСТВО

Чулпонов О. Динамика условий снижения кавитации за счёт аэрации в промежутках плоских затворов Резаксойского водохранилища	103
Раззаков С.Ж., Усманов Т. Расчёт деревянной балки двутаврового сечения	106
Мадалиев М.Э., Содиков М.У. Численное моделирование теплового состояния помещения с отопительным радиатором в программном комплексе ANSYS	110
Раззаков С.Ю., Фозилов О.К. Моделирование железобетонных балок из легкого бетона в ansys	116

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Товбоев А.Н., Тогаев И.Б. Анализ методов оптимизации потерь на корону в высоковольтных воздушных линиях электропередачи	122
Гоипов Э.А., Алиев Р. Устройство и принципы работы внутреннего и внешнего осевого гидроагрегата	126
Муродов М.Х., Барайшук С.М., Беркинов Э.Х., Набиев М.Я., Атамирзаев Т.У. Значение заземления солнечных панелей в фотоэлектрических системах для снижения влияния PID (Potential Induced Degradation)	136
Худаяров М.Б., Файзиев Ш.Ш. Рациональное использование и эффективность электроэнергии на промышленных предприятиях и в электросетях	142

Саматова Ш.Ю., Хамраев Ш.Г. Энергоэффективность солнечно-геотермальной системы теплоснабжения в условиях Кашкадарьинской области	147
Хайриддинов Б.Е., Умарова С.Ю., Нематов И.Л. Исследование радиационно-температурного режима и теплового баланса установки для сушки фруктов и овощей с солнечным коллектором	155
Мамарасулов К.Ш. Динамическое моделирование фотоэлектрических преобразователей в условиях нестационарного освещения на основе функции Грина	159
Тоиров О.З., Азимов Ш.Ш., Тоиров З. Вопросы повышения энергоэффективности путем совершенствования системы охлаждения устройств компенсации реактивной мощности	169
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Кобулов А.В., Уринов Н.Т. Комплексный анализ кибератак и кибербезопасности: новые тенденции и последние разработки	179
Порубай О.В., Турдиматов М.М. Алгоритм обучения нейро-аналитической сети и методы формирования функции принадлежности в электроэнергетических системах	192
Каримов С.И. Автоматическая классификация сельскохозяйственных культур на основе временных рядов спутниковых данных и нейронных сетей	199
Умурзакова Д.М. Синтез методов управления автономным турбогенератором на основе нейросетевых технологий	208
ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ	
Миробитов М.И., Умарова В.К., Примкулов М.Т. Построение математической модели процесса получения микрокристаллической целлюлозы из рисовой целлюлозы	216
Умарова В.К., Умаров Х.А., Миробитов М.И., Хамдамова Д.Ш., Примкулов М.Т. Микрокристаллическая целлюлоза из камыша для добавки строительных растворов	224
Йулбарсова М.В. Химическая активация фосфоритового шлама с помощью кислотных комплексных соединений мочевины	228
Кураязов З.Р., Равшанов С.С., Зайнобиддинов М.З.Т. Значение сухой обработки при подготовке зерна пшеницы и ржи к помолу высококачественной муки	236
Ибдуллаев М.Х., Абдурахмонов О.Р., Кодиров О.Ш., Абдулаев Ф.Р., Джураев К.А. Ускорение процесса извлечения бутадиена-1,3 из природного газа ректификацией и экстракцией	242
СОЦИАЛЬНО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Тухтаров И. Живая река не перестанет течь	249
К сведению авторов !	254

CONTENTS

FUNDAMENTAL SCIENCES

Istamov D.B., Abdulkhayeva A.R., Yodgorova D.M., Khasanov S.F. Limiting characteristics of silicon diode temperature sensors under various current transport mechanisms	9
Utamuradova Sh.B., Xaydarov B.Z. Physical processes in a photosensitive system based on CdTe-SnO ₂	13
Ayibzhanov M., Tuychibaev B.K., Yuldashev N.Kh., Yuldasheva E.N. Microstructure of photosensitive CdSe:Cu,Cl films with longitudinal conductivity, heat-treated in pure vacuum and in air in CuCl ₂ vapor	16
Muhamediyeva D.K., Nurumova A.Y., Mamatov A.U., Sotvoldiev D.M. Analysis of a biological system in a two-component medium with spatially variable density	21

MECHANICS

Berdiyev D.M., Tashmatov R.K. Comprehensive analysis of the kinetics of isothermal transformation of austenite during heat treatment of stamping tools and increasing their durability ..	31
Toshov B.R., Muminov R.O., Tukhtaev B.I., Juraev D.D., Qayumov B.B., Kushimov F. Main types of anchoring technologies and the study of their geometric parameters	35
Arifjanov A.M., Orazimbetova G.J., Atakulov D.Y., Parpiyev S.F. Laboratory study of operated and reconstructed steel pipe	40
Xashimov X.X., Ruziboyev J.Sh. Experimental study of the effectiveness of restoring worn jin ribs using special electrodes	44
Axunov J.A., Tojiboyev Sh.I. Scientific-technical and legal approach to measurement errors of vehicle radars and speedometers	49
Ortikov S.S. Filtering and purifying vehicle exhaust gases using innovative and cheap methods	56
Xashimov X.X. Experimental research results on increasing the service life of grid bars through vibratory mounting to the support	60
Kasimov B.M., Shin I.G. Influence of technological residual stresses on the strength characteristics of machine parts	65
Muydinov A.Sh. Future trends in the field of operation, restoration and repair of agricultural and land reclamation machinery	74
Xalilov I.I., Karimov I.T. Experimental determination of the resistance coefficients of the porous discharges of the absorption device	78
Jalilova T.A. Dynamic Expansion of a spherical cavity in soils and rocks	83
Akbarov D.A., Khusanov Y.Y. Optimization of surface quality in mold part machining based on the taguchi method	86
Ernazarov A.A., Musurmonov S.S., Khaitbaev E.B. The methodology of diagnosing a passenger car by fuel consumption	91
Salokhiddinova M.N. Research on reducing fiber loss during cotton separation	99

BUILDING

Chulponov O. Dynamics of conditions for reducing cavitation through aeration in the gaps of the flat gates of the rezaksoy reservoir	103
Razzakov S.J., Usmanov T. Calculation of a wooden beam with an I-shaped cross-section	106
Madaliev M.E., Sodikov M.U. Numerical modeling of the thermal state of a room with a heating radiator using ansys	110
Razzakov C.J., Fozilov O.Q. Modeling of reinforced concrete beams made of lightweight concrete in ansys	116

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING

Tovboyev A.N., Togaev I.B. Analysis of methods for optimizing corona losses in high-voltage overhead power lines	122
Goipov E.A., Aliev R. Structure and operating principles of internal and external axial hydro-unit ..	126
Murodov M.Kh., Baraishuk S.M., Berkinov E.Kh., Nabiev M.Ya., Atamirzaev T.U. The importance of grounding solar panels in mitigating the effect of potential induced degradation (PID) in photovoltaic systems	136
Hudayarov M.B., Fayziyev Sh.Sh. Rational use and efficiency of electric power in industrial enterprises and in power grids	142

CONTENTS

Samatova Sh.Y., Khamraev Sh.G. Energoeffektivnost solnechno-geothermal systemy teplosnabzheniya v usloviyax Kashkadarinskoy oblast	147
Khayriddinov B.E., Umarova S.U., Ne'matov I.L. Study of the radiation-temperature condition and thermal balance of a fruit and vegetable drying unit with a solar collector	155
Mamarasulov Q.Sh. Dynamic modeling of photovoltaic cells under non-stationary lighting conditions based on the Green function	159
Toirov O.Z., Azimov Sh.Sh., Toirov Z. Issues of increasing energy efficiency by improving the cooling system of reactive power compensation devices	169
ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES	
Kobulov A.V., Urinov N.T. Comprehensive analysis of cyberattacks and cybersecurity: new trends and recent developments	179
Porubay O.V., Turdimatov M.M. Training algorithm of neuro-analytical network and methods for forming membership functions in electric power systems	192
Karimov S.I. Automatic classification of agricultural crops based on time series of satellite data and neural networks	199
Umurzakova D.M. Synthesis of autonomous turbo generator control methods based on neural network technologies	208
CHEMICAL TECHNOLOGY AND ECOLOGY	
Mirobitov M.I., Umarova V.K., Primkulov M.T. Construction of a mathematical model for the process of obtaining microcrystalline cellulose from rice cellulose	216
Umarova V.K., Umarov X.A., Mirobitov M.I., Xamdanova D.Sh., Primkulov M.T. Microcrystalline reed cellulose for addition to building mortars	224
Yulbarsova M.V. Chemical activation of phosphorite sludge using acidic complex compounds of urea	228
Kurayazov Z.R., Ravshanov S.S., Zaynobiddinov M.Z.T. The importance of dry processing in preparing wheat and rye grains for grinding high-quality flour	236
Ibdullayev M.Kh., Abdurahmonov O.R., Kodirov O.Sh., Abdulayev F.R., Ju'rayev Q.A. Acceleration of the process of extracting butadiene-1, 3 from natural gas by rectification and extraction	242
SOCIAL AND ECONOMIC SCIENCES	
Tukhtarov I. The living river will never stop flowing	249
Information to the authors !	255

KREMNIYLI DIOD TEMPERATURA DATCHIKLARINING TURLI TOK O'TISH MEKANIZMLARIDAGI CHEGARAVIY XARAKTERISTIKALARI

D.B. Istamov^{a,*}, A.R. Abdulxayeva^a, D.M. Yodgorova^a, S.F. Xasanov^b

^aO'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi S.A. Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti,

^bToshkent Davlat Agrar Universiteti, *e-mail: istamov@uzsci.net

(Qabul qilindi 06.10.2025 y.)

Annotatsiya. Ushbu maqolada kremniy diodli termodatchiklarning chegaraviy xarakteristikalarini diffuzion va generatsion-rekombinatsion (G-R) kabi ikki asosiy tok tashish mexanizmi doirasida tahlil qilingan. Tadqiqotda har bir mexanizm uchun matematik modellar ishlab chiqilib, ularning asosida kuchlanishning haroratga bog'liqligi aniqlangan. Ushbu natijalar diodning elektrofizik parametrlari bilan metrologik xarakteristikalar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni chuqurroq anglash va material parametrlarini optimallashtirish imkonini beruvchi xaritalash grafigini tuzish uchun xizmat qiladi. Olingan natijalar yuqori haroratlarda barqaror ishlaydigan va turli o'lchash aniqliklariga ega kremniy asosidagi termodatchiklarni yaratishda amaliy ahamiyatga egadir.

Tayanch so'zlar: diod temperatura datchigi, kremniy, $p-n$ o'tish, diffuzion mexanizm, generatsion-rekombinatsion mexanizm, chegaraviy xarakteristika, model.

Аннотация. В данной статье анализируются предельные характеристики кремниевых диодных термодатчиков в рамках двух основных механизмов переноса тока - диффузионного и генерационно-рекомбинационного (Г-Р). Для каждого механизма разработаны математические модели, на основе которых определена зависимость напряжения от температуры. Полученные результаты служат основой для построения картографического графика, позволяющего глубже понять взаимосвязь между электрофизическими параметрами диода и его метрологическими характеристиками, а также оптимизировать параметры материала. Полученные данные имеют практическое значение при создании кремниевых термодатчиков, устойчиво работающих при высоких температурах и обладающих различной точностью измерения.

Ключевые слова: диодный термодатчик, кремний, $p-n$ -переход, диффузионный механизм, генерационно-рекомбинационный механизм, предельная характеристика, модель.

Abstract. This paper analyzes the limiting characteristics of silicon diode temperature sensors within two main current transport mechanisms — diffusion and generation–recombination (G–R). Mathematical models were developed for each mechanism, based on which the voltage–temperature relationship was determined. The obtained results provide the basis for constructing a mapping graph that enables a deeper understanding of the correlation between the diode's electrophysical parameters and its metrological characteristics, as well as the optimization of material parameters. These findings are of practical significance for the development of silicon-based temperature sensors that operate stably at high temperatures and offer various measurement accuracies.

Keywords: diode temperature sensor, silicon, $p-n$ junction, diffusion mechanism, generation–recombination mechanism, limiting characteristics, model.

KIRISH

Yuqori temperaturali sanoat, energetika, aviatsiya va kosmik texnika sohalarida ishonchli va aniq temperaturadatchiklarga talab tobora ortib bormoqda [1-4]. Kremniy (Si) diod temperatura datchiklari an'anaviy ravishda past va o'rta haroratlarda (cryogenic darajadan bir necha yuz Kelvinlargacha) o'lchash uchun keng qo'llanib kelgan. Biroq so'nggi yillarda SOI texnologiyasi, CMOS-integratsiya va material muhandisligidagi taraqqiyotlar Si asosidagi qurilmalarni yuqori temperatura rejimlarida ham samarali ishlash imkonini yaratmoqda [5,6]. Bu esa datchiklarning elektrofizik chegaralarini qayta baholashni va diodlarning tok tashish mexanizmlarini (diffuziya, generatsion-rekombinatsion va boshqalar) chuqurroq o'rganishni talab etadi.

2000-yillargacha bo'lgan tadqiqotlar asosan past temperaturali o'lchovlarga qaratilgan edi [7]. Yu. M. Shvartsning 2000 yildagi fundamental ishida kremniy diod temperatura datchiklarining chegaraviy xususiyatlari nazariy va eksperimental asosda tahlil qilingan [8]. Unda diodlarning o'lchov chegaralarini belgilovchi elektrofizik va konstruksion parametrlarni aniqlash mezonlari ishlab chiqilib, yuqori kiritma darajasi va ishchi tokning sezgirlik hamda ishchi temperatura

diapazoniga ta'siri ko'rsatib berilgan. Shuningdek, $n^+ - p$ va $p^+ - n$ tipidagi strukturalar asosida 703 K gacha barqaror ishlaydigan keng diapazonli datchiklarni yaratish imkoniyati isbotlangan. Ushbu natijalar keyingi yillarda yuqori haroratli, barqaror va ixcham kremniy asosidagi termodatchiklarni yaratishga zamin bo'ldi.

Keyinchalik olib borilgan eksperimental ishlar [9-11] kremniy diod temperatura datchiklarini chip darajasida mikroisitgich bilan integratsiyalash orqali yuqori ishonchlilikka ega, ixcham strukturalarni ishlab chiqish imkonini ko'rsatdi. Bu tadqiqotlarda 1028 K gacha bo'lgan haroratlarda ishlay oladigan kremniyli diod temperatura datchiklarini olish mumkinligi isbotlangan.

Ushbu ilmiy asoslar va tajribaviy yutuqlardan kelib chiqib, ushbu ishda kremniy asosidagi diod temperatura datchiklarining berilgan o'lchash aniqliklaridagi chegaraviy xarakteristikalarini tadqiq qilish maqsad qilingan. Taklif etilgan yondashuv datchiklarning elektrofizik chegaralarini qayta baholash, tok tashishning diffuzion va generatsion-rekombinatsion mexanizmlarini analitik jihatdan tahlil qilish hamda yakunda ularning metrologik imkoniyatlarini xaritalash orqali ko'rsatishga qaratilgan.

TADDIQOT METODOLOGIYASI

Diod temperatura datchiklarining ishlashini baholovchi bir qancha modellar mavjud bo'lib, odatda, ushbu modellar dioddagi tok-kuchlanish bog'lanishini ifodalaydigan tok tenglamasi orqali aniqlanadi. Jumladan, $p - n$ - o'tish asosidagi diodlarda tok o'tish jarayoni umumiy holda quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

bu yerda: I_s – to'yinish toki, q – elektronning zaryadi, V – diodga ($p - n$ o'tishga) berilgan kuchlanish, k – Bolsman doimiysi, T – absolyut temperatura, n -noideallik koeffitsienti.

Ushbu (1) ifodadan to'g'ri yo'nalishda $I = \text{const}$, o'zgarmas tokda kuchlanish o'lchanadi. Bu o'lchovlarda tokni temperaturaga bog'liq emas deb hisoblaymiz. Shundan kelib chiqib, ushbu modellarda to'yinish toki I_s ning temperaturaga bog'liqligi, diodning temperaturaga bog'liqligini ifodalaydi.

To'yinish toki I_{s1} , tok tashishning diffusion mexanizmi uchun, ya'ni noideallik koeffitsienti ($n = 1$) hol uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{s1}(T) = qAn_i^2(T) \left(\frac{\left(\frac{kT}{q}\mu_p\right)}{L_p N_D} + \frac{\left(\frac{kT}{q}\mu_n\right)}{L_n N_A} \right), \quad (2)$$

bu yerda: $A - p - n$ -o'tish asosidagi diodning aktiv kesim yuzasi, n_i -baza sohasi materiali uchun xususiy kontsentratsiya, μ_n, μ_p – elektron va kovaklarning harakatchanliklari, L_n, L_p – kovaklar va elektronlarning diffuziya uzunligi, N_A, N_D – aktseptor va donorlarni kontsentratsiyalari.

(1) ifodadan $I_{s1}^* = I_{s1} \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \right]$ belgilash kiritib [12], hamda $V_k \gg \frac{kT}{q}$ ekanligini inobatga olib quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I_{s1}^* = q \left(\frac{L_p N_A}{\tau_p} + \frac{L_n N_D}{\tau_n} \right) \quad (3)$$

Tok tashishning generatsion-rekombinatsion mexanizmi uchun, ya'ni noideallik koeffitsienti ($n = 2$) hol uchun esa to'yinish toki I_{s2} , quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{s2}(T) = qA \frac{n_i W}{\tau}, \quad (4)$$

bu yerda: W – baza sohasi kengligi, τ – zaryad tashuvchilarning yashash vaqti.

Va yuqorida ta'kidlaganimizdek, tok tashishning generatsion-rekombinatsion mexanizmi uchun quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$I_{s2}^* = qA \frac{W \sqrt{N_A N_D}}{\tau} \quad (5)$$

Dioddagi tok tashish mexanizmiga qarab to'yinish toki I_s , xususiy konsentratsiya n_i yoki n_i^2 ning temperaturaga bog'liqligi orqali aniqlanib, $I_s \sim T$ ga proporsional bo'ladi. Shuning uchun bu bog'liqlik tok tashish mexanizmini aniq ko'rsatishni talab etadi. Odatda, mavjud modellarda bu diffuzion mexanizm uchun ko'riladi.

Umumiy holatda ya'ni tok tashish mexanizmini n ga teng bo'lgan holat uchun kremniyli diod temperatura datchiklarini chegaraviy xarakteristikalarini aniqlashda quyidagi asosiy tenglamadan foydalanamiz [13]:

$$V(T) = V_k(T) - \frac{nkT}{q} \ln \frac{I_S^*}{I} + \frac{nkT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_S(T)}{I} \right), \quad (6)$$

bu yerda V_k – kontakt potentsiallar farqi.

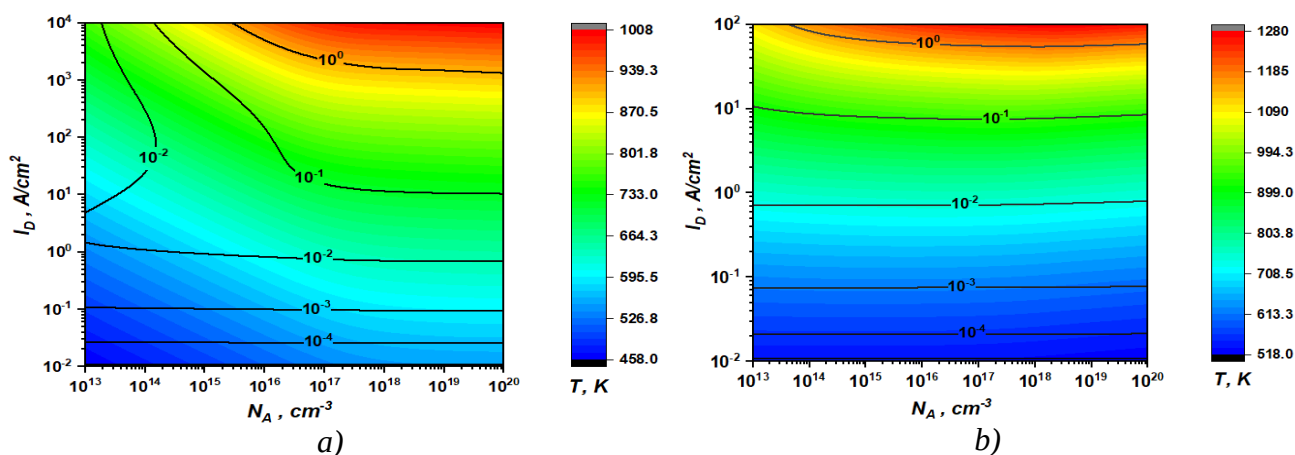
NATIJALAR VA MUHOKAMA

(6)-ifodadan foydalanib $V_k(T)$, (2) va (3) ifodalarni qo'llash orqali diffuzion, hamda (4) va (5) ifodalarni qo'llash orqali generatsion–rekombinatsion tok tashish mexanizmlarida kremniyli diod temperatura datchiklarining chegaraviy xarakteristikalarini aniqlash imkonini beruvchi tenglamalar hosil qilindi. Ushbu tenglamalar yordamida analitik hisob-kitoblar bajarilib, har bir mexanizm uchun alohida natijalar olindi.

Diffuzion va G–R mexanizmlariga asoslangan holda taklif qilingan analitik modellardan foydalanib, kremniyli diod temperatura datchiklarining temperaturaga sezgirlik egri chiziqlari hisoblandi. Tajriba natijalari bilan solishtirilganda, ushbu egri chiziqlar temperaturaning keng diapazonida yuqori darajada mos kelishi aniqlanib, modelning ishonchliligi va amaliy qo'llanilish imkoniyati tasdiqlandi [12].

Tadqiqotning asosiy natijasi sifatida kremniyli diod termodatchiklarning chegaraviy ish haroratini (T) diodning asosiy elektrofizik parametrlari bo'lgan tok zichligi (I_D) va akseptor legirlash konsentratsiyasi (N_A) bilan bog'laydigan uch o'lchamli xaritalash grafigi (1-rasm) shakllantirilgan. Ushbu grafik ikki asosiy tok tashish mexanizmini – a) Diffuzion mexanizm va b) Generatsiya-rekombinatsiya (G-R) mexanizmi – alohida ko'rib chiqish orqali termodatchikning barqaror ishlash oralig'ini aniqlaydi. Har ikkala grafikda ishchi temperaturasi ranglar shkalasi va o'lchash aniqligi esa kontur chiziqlari orqali ko'rsatilgan.

Diffuzion mexanizm ustunlik qiladigan rejim uchun olingan natijalar (1-rasm, a) shuni ko'rsatadiki, maksimal harorat chegarasi taxminan 1008 K (taxminan 735°C) ga yetishi mumkin. Xaritalash grafigining o'ziga xosligi shundaki, biz bunda har xil N_A va I_D qiymatlarida datchikning maksimal ishchi temperaturasi o'lchash xatoligi darajalari uchun baholash imkoniyatiga egamiz. Masalan, agar biz maksimal ishchi temperaturani 750 K deb oladigan bo'lsak, bunga bir necha usulda erishish mumkin: Yuqori tok va past konsentratsiya orqali ± 0.01 K aniqlikdagi datchik yaratish mumkin. Yoki konsentratsiyasni yanada pasaytirish orqali aniqlikni yanada oshirishimiz mumkin. Biroq, yuqori operatsion toklardan foydalanish keng tarqalgan strategiya hisoblanadi, ammo bu o'z-o'zidan qizish muammosini keltirib chiqaradi. Va bunga yechim sifatida tokning qiymatini kamaytirib konsentratsiyani oshirish orqali kerakli maqsadni taminlash imkoniga ega bo'lamiz.



1-rasm. Kremniyli diod temperatura datchiklarining chegaraviy xarakteristikalari tok tashishning diffuzion (a) va generatsion–rekombinatsion (b) mexanizmlari asosida aniqlangan 3D xaritalash grafigi.

Generatsion-rekombinatsion (G-R) mexanizmi uchun olingan natijalar (1-rasm, b) ancha yuqori harorat chegaralarini ko'rsatadi. Bu mexanizm orqali maksimal harorat chegarasi taxminan 1280 K (taxminan 1007°C) ga yetishi mumkin.

Har ikkala mexanizm uchun tuzilgan xaritalash grafiki diodli termodatchiklarning yuqori haroratda barqaror ishlashini ta'minlash uchun muhim bo'lgan ikkita prinsipial natijani ko'rsatadi.

Generatsion-rekombinatsion mexanizmi diffuzion mexanizmga qaraganda kremniy diodining harorat chegarasini sezilarli darajada kengaytiradi (Diffuziya uchun maksimal ~1008 K, G-R uchun esa ~1280 K). Bu farq, yuqori harorat sharoitida G-R jarayonlari orqali yaratilgan zaryad tashuvchilarni boshqarish va ularning tok zichligiga ta'sirini hisobga olish orqali termodatchikning xususiyatlarini optimallashtirish imkoniyatini ochadi.

Xaritalash grafiki muhandislik amaliyoti uchun aniq ko'rsatmalar beradi:

Yuqori Haroratli Ilovalar ($T > 1000$ K): Bunday sharoitlarda ishlash uchun datchikni faqatgina G-R mexanizmi orqali loyihalash zarur. Buning uchun asosiy talablar: 1) legirlash konsentratsiyasini $N_A \geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ darajasida tanlash va 2) datchikni yuqori ish tok zichligida ($I_D \geq 10^1 \text{ A/cm}^2$) boshqarish;

O'rtacha Yuqori Haroratli Ilovalar ($T < 800$ K): Bu diapazonda muhandis past legirlashni tanlashi mumkin, bu yerda Diffuziya mexanizmi ustunlik qiladi va o'rtacha darajadagi I_D bilan yetarli barqarorlikka erishish mumkin.

Shuni ta'kidlash kerakki, amaliyotda tok zichligining yuqori qiymatlari diodning o'z-o'zidan qizishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun, I_D ning eng yuqori qiymatlari (masalan, 10^2 A/cm^2 dan yuqori) nazariy maksimal chegarani ifodalasa-da, amalda termal buzilishlarni minimallashtirish uchun I_D ni optimallashtirish talab etiladi. Xaritalash grafiki esa, muhandislarga belgilangan harorat va legirlash cheklavlari asosida eng maqbul I_D qiymatini tezkor tanlash imkonini beradi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot natijalari diodning elektrofizik parametrlari (I_D , N_A) va metrologik xarakteristikalarini (berilgan o'lchash aniqligidagi ish harorati chegarasi) o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni tushunish uchun asos yaratadi. Xaritalash grafiki yordamida har bir berilgan harorat chegarasi (T) uchun mos I_D va N_A ni tanlab, datchikning ishchi rejimini yuqori haroratlarda barqarorlik va aniqlik talablariga muvofiq sozlash mumkin. Yakuniy xulosaga ko'ra, yuqori haroratli ($T > 1000$ K) ilovalar uchun an'anaviy past legirlashli diffuzion mexanizm yetarli emas. Bunday sharoitlarda o'lchash aniqligi va barqarorligini ta'minlash uchun yuqori legirlash darajalarida ustuvor ravishda generatsion-rekombinatsion (G-R) mexanizmi asosida ishlaydigan rejimga o'tish tavsiya etiladi. Olingan natijalar yuqori haroratli sanoat, energetika, aviatsiya va kosmik texnikada qo'llash uchun samarali va ishonchli kremniy diod temperatura datchiklarini yaratishda muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Yutong Zhang and Yi Jiang, "An All-Sapphire Fiber Diaphragm-Free Extrinsic Fabry–Perot Interferometric Sensor for the Measurement of Gas Pressure at Ultrahigh Temperature" // IEEE Sensors Journal, 23(6), pp. 5718–5823, (2023). <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3240417>
- [2]. Ribeiro, L., Saotome, O., d'Amore, R., de Oliveira Hansen, R. High-Speed and High-Temperature Calorimetric Solid-State Thermal Mass Flow Sensor for Aerospace Application: A Sensitivity Analysis // Sensors, 22, 3484, (2022). <https://doi.org/10.3390/s22093484>.
- [3]. Y. Zhang and Yi Jiang, "An All-Sapphire Fiber Diaphragm-Free Extrinsic Fabry–Perot Interferometric Sensor for the Measurement of Gas Pressure at Ultrahigh Temperature" // IEEE Sensors Journal, 23(6), pp. 5718–5823, (2023). <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3240417>.
- [4]. S.S. Courts, "A standardized diode cryogenic temperature sensor for aerospace applications" //Cryogenics. vol.74, pp.172–179, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2015.09.006>.
- [5]. X. Xue, H. Xiong, Zh. Song, Y. Du, D. Wu, L. Pan, and Zh. Wang, "Silicon Diode Uncooled FPA With Three-Dimensional Integrated CMOS Readout Circuits," IEEE Sensors J, 19(2) pp. 426–434, (2019). <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2878098>.
- [6]. S.Rao, G. Pangallo, and F.G. Della Corte, "4H-SiC pin diode as highly linear temperature sensor," IEEE Trans. Electron Devices, 63(1), pp. 414–418, (2016). <https://doi.org/10.1109/TED.2015.2496913>.
- [7]. P.C. McDonald Silicon diode temperature sensors for process systems // Cryogenics, Volume 35, Issue 3, 1995, Pages 199–201. [https://doi.org/10.1016/0011-2275\(95\)93994-B](https://doi.org/10.1016/0011-2275(95)93994-B)
- [8]. Y. M. Shwarts, V. L. Borblik, N. R. Kulish, E. F. Venger, and V. N. Sokolov, "Limiting characteristics of diode

- temperature sensors,” // Sensors Actuators, A Phys., 86(3), pp. 197–205, (2000). [https://doi:10.1016/S0924-4247\(00\)00445-3](https://doi:10.1016/S0924-4247(00)00445-3).
- [9]. M. Kimura, “Micro temperature sensors and their applications to MEMS thermal sensors,” Lect. Notes Electr. Eng., vol. 49, pp. 309–326, (2009). <https://doi:10.1007/978-3-642-00578-719>.
- [10]. Santra, Sumita, Guha, Prasanta K., Ali, Syed Z., Haneef, Ibraheem and Udrea, Florin (2010) *Silicon on insulator diode temperature sensor: a detailed analysis for ultra-high temperature operation*. IEEE Sensors Journal, Volume 10 (Number 5). pp. 997-1003. <https://doi:10.1109/JSEN.2009.2037822>.
- [11]. M. Mansoor, I. Haneef, S. Akhtar, A. De Luca, and F. Udrea, “Silicon diode temperature sensors - A review of applications,” // Sensors Actuators, A Phys., vol. 232, pp. 63–74, (2015). <https://doi:10.1016/j.sna.2015.04.022>.
- [12]. D.B. Istamov, O.A. Abdulkhayev, Sh.M. Kuliyeu, N. Abdullayev, A.Sh. Ashirov, D.M. Yodgorova. Temperature response curve of silicon diode temperature sensors // East Eur. J. Phys. 2, P.-p. 287-291., (2025), <https://doi.org/10.26565/2312-4334-2025-2-35>
- [13]. Damir B. Istamov, Oybek A. Abdulkhayev, Shukurullo M. Kuliyeu. Limiting characteristics of silicon diode temperature sensors for determining the maximum temperature with specified measurement accuracy // UNEC J. Eng. Appl. Sci., 2025. Vol. 5. № 1. pp. 63-69. <https://doi.org/10.61640/ujeas.2025.0507>

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ CdTe-SnO₂

Ш.Б. Утамурадова¹, Б.З. Хайдаров²

¹НИИ Физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана

²Ферганский государственный технический университет тел: 916669111

bunyodbek.haydarov.com@gmail.com

(Получена 17.10.2025 г.)

Аннотация: В настоящей работе были изучены электрические характеристики газоразрядной ячейки с фотоэлектродом из монокристаллического теллурида кадмия. Экспериментально доказано, что теллурид кадмий является один из немногих полупроводниковых материалов обеспечивающий работоспособность газоразрядной ячейки в преобразовательных условиях оптических сигналов.

Ключевые слова: фотоприёмник, газоразрядная ячейка, вольтамперная характеристика, монокристалл, теллурид кадмий.

Annotation: In this paper, the electrical characteristics of a gas-discharge cell with a photoelectrode made of monocrystalline cadmium telluride were studied. It was experimentally proven that cadmium telluride is one of the few semiconductor materials that ensures the operability of a gas-discharge cell under converting conditions of optical signals.

Key words: photoreceptor, gas discharge cell, voltammetric characteristic, single crystal, cadmium telluride.

Annotatsiya: Ushbu ishda monokristalli kadmiy telluriddan tayyorlangan fotoelektrodlil gaz razryadli elementning elektr xarakteristikalarini o'rganildi. Kadmiy tellurid optik signallarni konvertatsiya qilish sharoitida gaz deyarli xujayrasining ishlashini ta'minlaydigan bir nechta yarim o'tkazgichlardan biri ekanligi eksperimental ravishda isbotlangan.

Kalit so'zlar: fotodetektor, gaz razryadli element, tok kuchlanish xarakteristikasi, monokristal, kadmiy tellurid.

Введение

Физические процессы в газоразрядной ячейке с полупроводниковыми электродами в настоящее время мало изучены, кроме того, результаты исследований опубликованных в открытой печати порой являются противоречивыми [1-5]. Поскольку к фотоприёмникам в газоразрядной ячейке предъявляются высокие и нетривиальные требования, очевидно, что расширение круга фоточувствительных полупроводников, обеспечивающих работоспособность газоразрядной ячейки, является весьма актуальной проблемой. В настоящей работе были приведены результаты экспериментальных исследований физических процессов в газоразрядной ячейке с фотоприёмником на основе монокристаллического теллурида кадмия.

Методика эксперимента

Экспериментальная установка собрана на основе полупроводниковой фотографической ионизационной камеры [6-9]. Наблюдаемым объектом являлась щель ИК-монокроматора с призмой NaCl и источником света типа «глобар с ферритовым стрежнем». Изображение щели проектировалось линзой из BaF_2 на приёмную поверхность фотоприёмника из теллурида кадмия в газоразрядной ячейке. Интенсивность излучения, падающего на фотоприёмник, была определена прямыми измерениями метрологическим термостолбиком типа ЛЭТИ с чувствительностью 0,72 В/Вт. Входная сторона полупроводниковых пластин снабжена устойчивым омическим контактам. Регистрирующим элементом в газоразрядной ячейке является волоконно-оптическая шайба, имеющая диаметр 36 мм и длину 22 мм, снабжённая проводящим покрытием из SnO_2 . Волоконно-оптическая шайба, в свою очередь, стыкуется с входом электронно-оптического преобразователя (ЭОП) типа ЭП-16 (производство России), а выход последнего сопряжён с входом видеоконтрольного устройства (ВКУ). Оптический сигнал на экране ЭП-16 передаётся на монитор компьютера через ВКУ. Таким образом, обеспечивается компьютерная обработка сигналов.

Между полупроводниковой пластиной и волоконно-оптической шайбой прикладывается, напряжение из источника питания типа УИП-2. Давление остаточного воздуха в газоразрядной ячейке обеспечивается вакуумным насосом. На выходе волоконно-оптической шайбы невидимый оптический сигнал усиливается с помощью ЭП-16, а далее ВКУ преобразует его в цифровой сигнал. Таким образом, собранная нами фотографическая установка ИК-изображений имеет модернизированный вид с применением современных устройств.

Технология изготовления фотоприёмника.

Кристаллы теллурида кадмия выращивались из расплава методом горизонтальной направленной кристаллизации и легировались в процессе выращивания хлором. Высокоомные кристаллы, легированные хлором, имели p -тип проводимости: $p = 10^8 \text{ см}^{-3}$, $m_n = 800 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $m_p = 40$, $\tau_n = \tau_p = 5 \cdot 10^{-7} \text{ с}$. Для исследования отбирали монокристаллические пластины, полученные в результате резки кристалла. Двойников кристаллы не имели. Плотности дислокации, определенная как методом рентгеновской топографии, так и по ямкам травления, составляла $\approx 10^3 \text{ см}^{-2}$.

Необходимую геометрическую форму образцам придавали разрезанием пластины

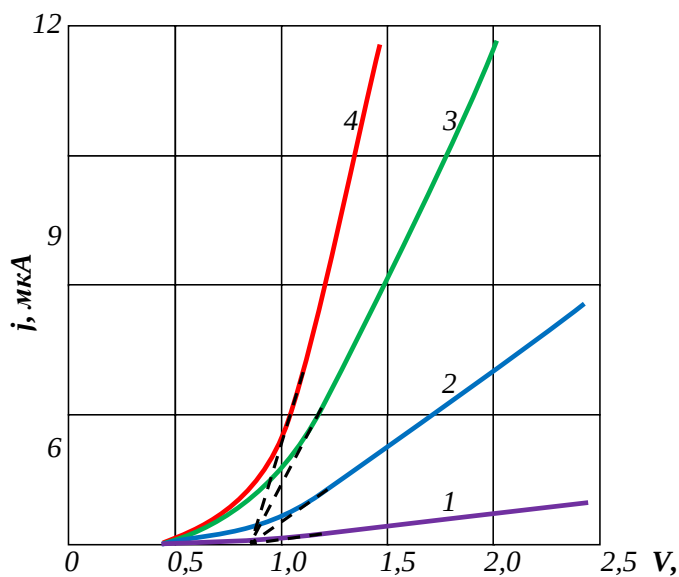


Рис. 1. Серия начальных участков вольтамперных характеристик при $p=0,2$ атм и $T=300$ К при разных значениях интенсивности освещения J для фотоприёмника CdTe с Ni контактом. J равно: 1-0 Вт/см², 2-2, $6 \cdot 10^{-5}$, 3-7, $1 \cdot 10^{-5}$, 4-1, $85 \cdot 10^{-4}$ Вт/см².

или шлифовкой. При резке использовался абразивный порошок с величиной зерна ≈ 14 мкм. Шлифовка образца осуществлялась на порошках с зернистости M10, M5, M3, полировка – на алмазной пасте АСМ 1,0. Для удаления нарушенного механической обработкой слоя CdTe , образец погружали в травитель следующего состава; 10 мл бутилового спирта и 0,5 мл Br_2 (жидкий). Скорости травления - 1 мкм/мин. Травитель удаляли с поверхности кристалла промыванием в бутиловом спирте, затем в этиловом спирте и в дистиллированной воде. Величина удаляемого шлифовкой, полировкой и травлением слоя теллурида кадмия составляла примерно пятнадцатикратный размер зерна абразивного материала.

Вольтамперные характеристики светочувствительной системы на основе CdTe-SnO₂ при T=300 К.

На рис. 1 представлены ВАХ системы с фотоприёмником из CdTe, снабжённым никелевым контактом, снятых при остаточном давлении воздуха 0,08 атм. и при разных значениях интенсивности освещения. Особенности этих кривых состоит в том, что даже при напряжении 500 В в системе идёт значительный ток, величина которого зависит от освещённости фотоприёмника. При дальнейшем увеличении напряжения наклон кривой возрастает и далее остаётся постоянным. Продолжения ВАХ на втором участке для разных интенсивностей освещённости фотоприёмника. При дальнейшем увеличении напряжения наклон кривой возрастает и далее остаётся постоянным. Продолжения ВАХ на втором участке для разных интенсивностей освещения пересекаются в одной точке, примерно соответствующей по величине с напряжением пробоя разрядного промежутка [7].

Таким образом, создаётся впечатление, что при напряжении $V_1 \cong 500 В$ происходит пробой по поверхности торца слюдяной прокладки, при этом между значениями напряжений $V_1 = 500 В$ и $V_2 = 800 В$ пробой идет по периметру газоразрядного зазора. При напряжении больше V_2 зажигается газовый разряд по всей поверхности разрядного промежутка. Величина тока при напряжении V ($V_1 < V < V_2$) зависит от освещения.

Был проведён следующий опыт (рис. 2). Газоразрядный зазор был ограничен не одной, а двумя слюдяными пластиками, имеющими вырезы различных по величине диаметров. Этим самым был значительно удлинён путь поверхностного разряда и ожидалось, что

участок «поверхностного пробоя» на ВАХ при этом будет отсутствовать. Из кривых (рис. 3) видно, что вольтамперные характеристики линейны и дают возможность точно определить напряжение зажигания, которое имеет постоянную величину для всех кривых при разных интенсивностях освещения. Такие характеристики типичны для газоразрядной ячейки [8].

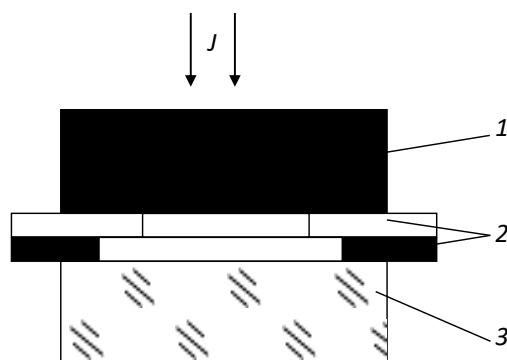


Рис. 2. Схема конструкции ограничения газоразрядного зазора с удлиненным расстоянием для поверхностного разряда.

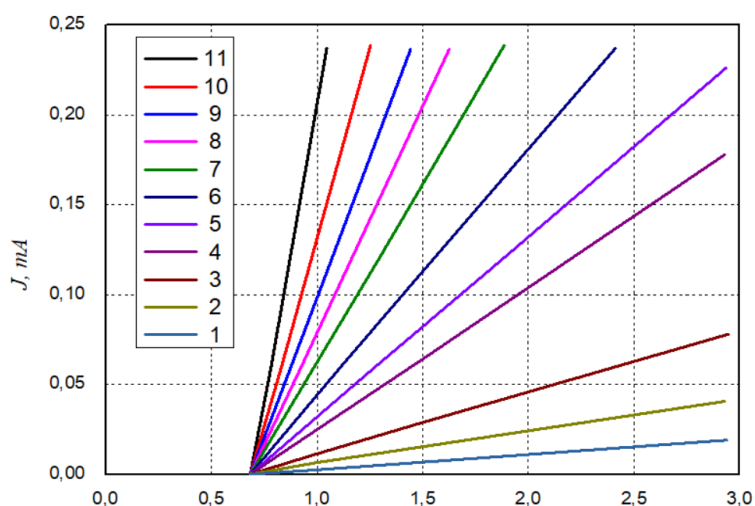


Рис. 3. Серия ВАХ системы с фотоприёмником из CdTe с Ni контактом при $p=0,2$ атм и $T=300$ К при разных значениях интенсивности освещения J . J равно: 1-0 Вт/см², 2- $5 \cdot 10^{-5}$, 3- $1,12 \cdot 10^{-4}$, 4- $2,92 \cdot 10^{-4}$, 5- $6,15 \cdot 10^{-4}$, 6- $9,65 \cdot 10^{-4}$, 7- $1,66 \cdot 10^{-3}$, 8- $2,43 \cdot 10^{-3}$, 9- $3,16 \cdot 10^{-3}$, 10- $4 \cdot 10^{-3}$, 11- $5,33 \cdot 10^{-3}$ Вт/см².

Выводы

Сложный вид ВАХ (рис. 1) газоразрядной ячейки на начальном участке связан с поверхностным разрядом по периметру слюдяной прокладки, ограничивающей разрядный зазор. Как видно из приведённых данных (рис. 3), начальные участки вольтамперных характеристик в довольно широком интервале напряжений являются линейными или, во всяком случае, близки к ним. Некоторые незначительные отклонения сверхлинейного характера, на начальном участке ВАХ могут быть связаны с поверхностной проводимостью,

ограничивающей слюдяной прокладки. Таким образом, имеет место сильная зависимость фототока от интенсивности света, которая фактически сохраняется при всех напряжениях, меньших, чем напряжение насыщения.

Список литературы

1. Xaydarov Z. Calculation of lifetime and impurity photoconductivity in the development of photodetectors for the gas-discharge cell. UNEC Journal of Yengineering and Applied Sciences Volume 4, No 1 (2024), pages 61-64. <https://doi.org/10.61640/ujeas.2024.0506>
2. Otajonov, S., Yergashev, R., Xaydarov, Z., Botirov, K., Bahromov, M., Axmedov, T., & Raxmonkulov, M. (2024). Creation of an optical sensor based on the pCdTe–nCdS and pCdTe–nCdSe heterostructure for detecting polluted air. In Ye3S Web of Conferences (Vol. 582, p. 05001). YeDP Sciences. doi.org/10.1051/ye3sconf/202458205001
3. Khaydarov, Z., Yuldashev, K., Khaydarov, B., Sultanov, S., Yergashov, Q., & Axmadjonov, M. (2024). Non-equilibrium processes in a gas-discharge cell with plasma contacts. In Ye3S Web of Conferences (Vol. 587, p. 01006). YeDP Sciences. doi.org/10.1051/ye3sconf/202458701006
4. Sh.B. Utamuradova, Z. Khaydarov, B.Z. Khaydarov. Characterization of plasma contacts to cadmium telluride photodetector in ultrathin gas discharge cell. UNEC Journal of Yengineering and Applied Sciences. Vol. 4, No.2, 2024, pp. 55-61. <https://doi.org/10.61640/ujeas.2024.1206>
5. Utamuradova, Sh B., and B. Z. Khaydarov. "Yenlightenment kinetics on bismuth films under the action of gas discharge in a superfine gas discharge cell." AIP Conference Proceedings. Vol. 3304. No. 1. AIP Publishing LLC, 2025. <https://doi.org/10.1063/5.0269081>
6. Otajonov, Salim, yet al. "Study of photodetectors in optical sensors based on wide-bandgap heterostructures pCdTe-nCdS and pCdTe-nCdSe." AIP Conference Proceedings. Vol. 3304. No. 1. AIP Publishing LLC, 2025. <https://doi.org/10.1063/5.0269590>

538.911, 935, 958, 975

МИКРОСТРУКТУРА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЕНОК CdSe:Cu,Cl С ПРОДОЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ, ТЕРМООБРАБОТАННЫХ В ЧИСТОМ ВАКУУМЕ И НА ВОЗДУХЕ В ПАРАХ CuCl₂

М. Айибжанов¹, Б.К. Туйчибаев¹, Н.Х. Юлдашев, Ё.Н. Юлдашева²

¹Ферганский государственный технический университет

²Ферганский академический лицей при Ферганском государственном техническом университете
e-mail: uzferfizika@mail.ru
(Получена 22.04.2025 г.)

Abstract. The results of electron diffraction and electron microscopy studies of films with different process parameters are also presented. It is shown that the scattering angle of the texture axis increases, the proportion of the hexagonal modification, the sizes of crystallites and the regions of coherent X-ray scattering D_{cr} . After annealing in air in the presence of CuCl₂ ($T_{ann} = 300^{\circ}C$), films obtained at $T_s = 250^{\circ}C$ exhibit a reorientation of crystallites from the (111)_c+(0002)_h plane, parallel to the substrate plane, to through the plane.

Keywords: photosensitive film, CdSe, CdSe:Cu,Cl longitudinal photoconductivity, polycrystal, texture, substrate temperature, heat treatment, sensitization kinetics, coherent X-ray scattering size.

Аннотация. Приведены результаты электронографических и электронно-микроскопических исследований пленок с различными технологическими параметрами. Показано, что с ростом T_n от 250 до 400 $^{\circ}C$ увеличивается угол рассеяния оси текстуры, возрастает доля гексагональной модификации, размеры кристаллитов и областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей $D_{окр}$. После отжига на воздухе в присутствии CuCl₂ ($T_{отж} = 300^{\circ}C$) в пленках, полученных при $T_n = 250^{\circ}C$, происходит переориентация кристаллитов от плоскости (111)_к+(0002)_г, параллельной плоскости подложки, к (10 $\bar{1}3$) через плоскость (311)_к+(11 $\bar{1}2$)_г.

Ключевые слова: фоточувствительная пленка, CdSe:Cu,Cl продольная фотопроводимость, поликристалл, текстура, температура подложки, термическая обработка, кинетика очувствления, размер когерентного рассеяния рентгеновских лучей.

Annotatsiya. Turli xil texnologik parametrlariga ega bo'lgan plyonkalarining elektron difraksiyasi va elektron mikroskopiya tadqiqotlari natijalari ham keltirilgan. T_t ning 250 dan 400 $^{\circ}C$ gacha oshishi bilan tekstura o'qining sochilish burchagi, geksogonal modifikatsiyaning ulushi, kristallitlarning o'lchamlari va rentgen nurlarining kogerent sochilish sohasining o'lchami D_{ks} oshib borishi ko'rsatilgan. CuCl₂ ($T_{qiz} = 300^{\circ}C$) ishtirokida havoda qizdirilgandan so'ng, $T_t = 250^{\circ}C$ da olingan plyonkalar taglik tekisligiga parallel

ravishdagi $(111)_k + (0002)_g$ tekisligidan, $(311)_k + (1\bar{1}12)_r$ tekislik orqali $(10\bar{1}3)$ kristallitlarning qayta yo'nalishi namoyon bo'ladi. Bu kristallitlarning o'lchamlari va D_{ks} ning ortishi, shuningdek, panjara parametri va minimal dislokatsiya zichligining pasayishi bilan birga yuz beradi.

Kalit so'zlar: fotosensitiv plyonka, CdSe:Cu,Cl, bo'ylama fotoo'tkazuvchanlik, polikristal, tekstura, substrat harorati, issiqlik bilan ishlov berish, sensibilizatsiya kinetikasi, kogerent rentgen nurlarining tarqalish o'lchami.

1. Введение. Поликристаллические пленки селенида кадмия широко применяются в оптоэлектронике и фотонике как элементов памяти, детекторы видимого и γ -излучения, светодиоды и фоторезисторы [1-5]. Интенсивно изучаются различные параметры, как фотопроводимость, подвижность и время жизни носителей, фоточувствительность, люкс-амперная и другие характеристики, определяющие эффективность фотоэлектрических устройств на основе пленок CdSe. Однако количественных исследований параметров субструктуры поликристаллических пленок CdSe рентгеновскими, микрофотографическими методами проведено мало. Цель настоящей работы является изучение морфологии поверхности и анализ субструктуры фоточувствительных пленок CdSe:Cu,Cl в зависимости от таких физико-технологических факторов, как температура подложки и время термической обработки в чистом вакууме и атмосферном воздухе в присутствии паров CuCl_2 . Дополнительно проведены, также, электронографические и электронно-микроскопические исследования пленок с различными технологическими параметрами.

Известно, что селенид кадмия кристаллизуется с элементарной ячейкой правильного тетраэдра, в четырех углах которого находятся атомы другого элемента. Из таких тетраэдров возможно образование двух типов структур: сфалерита (кубическая) и вюрцита (гексагональная) [6-9]. В обеих структурах, во второй координационной сфере каждый атом окружен 12 атомами того же элемента. Разница между общими структурами состоит в положении атомов третьей координационной сферы, поскольку расстояние до атомов, расположенных в третьей координационной сфере в структуре вюрцита, несколько меньше, чем сфалерита [10,11]. Поэтому, в зависимости от условий получения, можно иметь пленки обеих модификаций.

Проведенные в настоящей работе рентгеновские исследования показали, что пленки, полученные испарением исходного материала CdSe в вакууме порядка 10^{-5} мм рт. ст. при перпендикулярном падении парового потока на стеклянные подложки со скоростью конденсации 2500 Å/мин и имеющие толщину 5-10 мкм, в интервале $T_n = 250-400^\circ\text{C}$ являются текстурованными и полифазными. Они состоят из кубической и гексагональной модификаций.

2. Субструктура пленок, очувствленных на воздухе в присутствии CuCl_2 и в вакууме.

Обсуждение результатов. Одним из самых эффективных способов увеличения фоточувствительности свежеприготовленной пленки CdSe является ТО их на воздухе в присутствии CuCl_2 [12, 13]. Здесь будут рассмотрены измерения параметров субструктуры пленок CdSe после ТО на в среде CuCl_2 , а также оптимально очувствленных в чистом вакууме по методу, предложенному в работе [14-16]. Экспериментальные исследования показали, что наиболее стабильные с воспроизводимыми параметрами фоточувствительные пленки получается способом ТО на воздухе в присутствии CuCl_2 при температуре отжига 300°C в течение 4-6 минут. Установлено, что после кратковременной ТО пленок, полученных при $T_n = 250^\circ\text{C}$, наблюдается увеличение угла рассеяния оси текстуры $(111)_k + (0002)_r$ и увеличение интенсивности линии $(311)_k + (1\bar{1}12)_r$ (рис. 1a, b) ($t=2$ мин.). Дальнейшее увеличение времени ТО приводит к переориентировке кристаллитов плоскостью $(10\bar{1}3)$ параллельно плоскости подложки (рис. 1c). Более длительное время ТО приводит к увеличению размеров кристаллитов, а существенного изменения их преимущественной ориентации не наблюдается (рис. 1 d). Однако нужно отметить, что в этом случае имеются и кристаллиты, ориентированные беспорядочно.

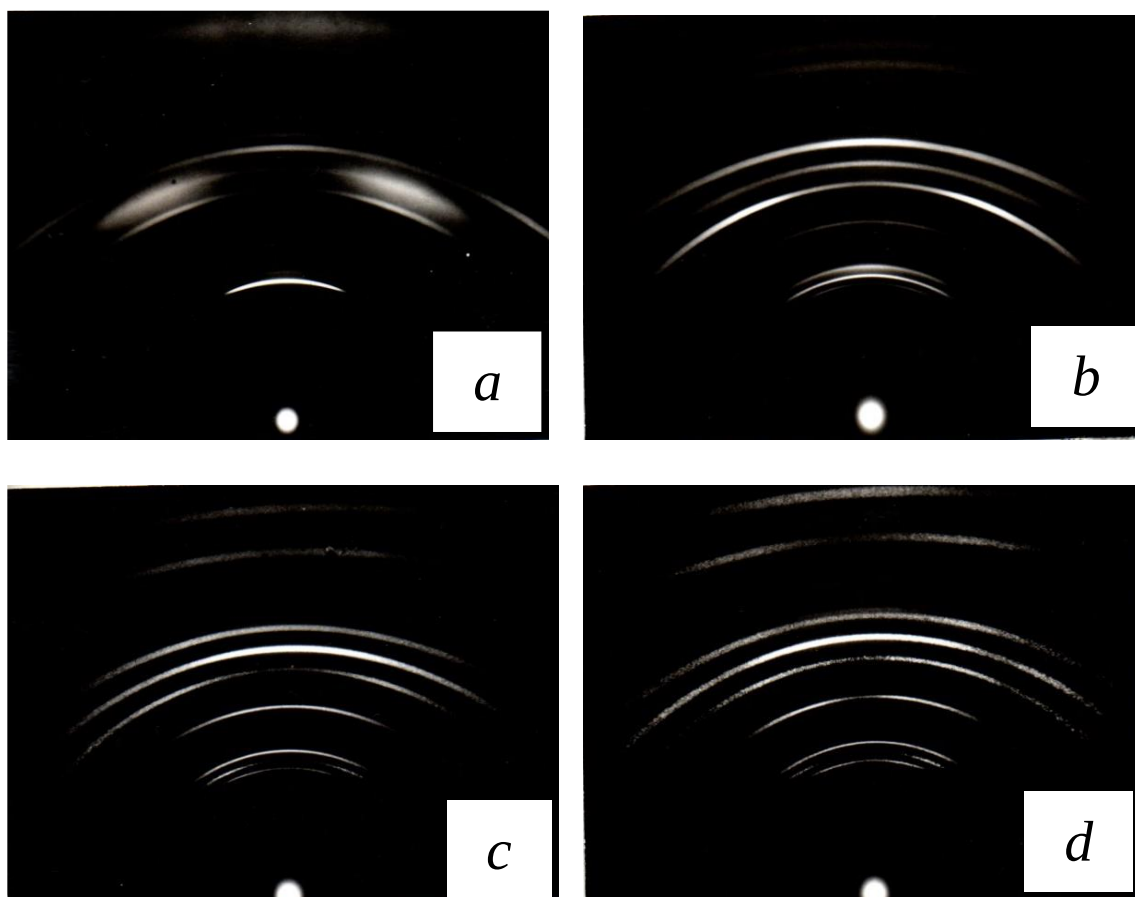


Рис.1. Фоторентгенограммы пленок $CdSe$, полученных при $T_n = 250^\circ C$ до и после ТО на воздухе в присутствии $CuCl_2$: *a* - исходный; *b* – $t=2$ мин.; *c*- 3 мин.; *d* - $t=4$ мин.

В пленках, полученных при более высоких T_n , небольшие времена ТО ($t = 1$ мин.) приводят к появлению преимущественной ориентации кристаллитов плоскостью $(311)_k + (11\bar{1}2)_r$ параллельно плоскости подложки, однако с увеличением времени ТО преимущественной опять становится ориентация $(111)_k + (0002)_r$. По-видимому, это связано с тем, что в данном случае температура отжига равна или меньше температуры осаждения пленок. Увеличение размеров кристаллитов и при больших временах отжига связано с диффундированием в объем пленки Cu . Поскольку медь является стимулятором рекристаллизации для соединений A_2B_6 , то и при этой сравнительно низкой температуре отжига происходит увеличение размеров кристаллитов. Результаты экспериментальных данных по определению областей когерентного рассеяния также показывает, что после ТО происходит увеличение их размеров. Для пленок, полученных при $T_n = 350^\circ C$, являющейся наиболее оптимальной температурой подложки, где с максимальной вероятностью реализуется продольный режим фотопроводимости, после отжига в течение 6 минут размеры $D_{окр}$ достигают 120 нм, а минимальная плотность дислокаций- $210^{10} см^{-2}$. На основе экспериментальных результатов установлено, что параметр кристаллической решетки, определенный по положению линии (333) , с увеличением времени ТО уменьшается от 0,6082 до 0,60817 нм.

На рис. 2*a* представлены электронные микрофотографии поверхности пленок после ТО в течение 4 мин ($T_n = 350^\circ C$). Видно, что хотя имеются кристаллиты и малых размеров, но в целом наблюдается увеличение средних размеров кристаллитов относительно свежеприготовленных пленок, полученных при той же T_n . Электронные микрофотографии поперечного скола пленок, показывают, что столбчатая структура в основном распространяется на всю толщину пленки (рис. 2*b*).

В случае **ТО пленок в чистом вакууме** оптимальная температура отжига равна 480°C. При более высоких температурах отжига больше 550°C наблюдается сублимация пленки от поверхности подложки, а при низких температурах меньше 450°C необходимо более длительное время отжига для достижения высокой фоточувствительности.

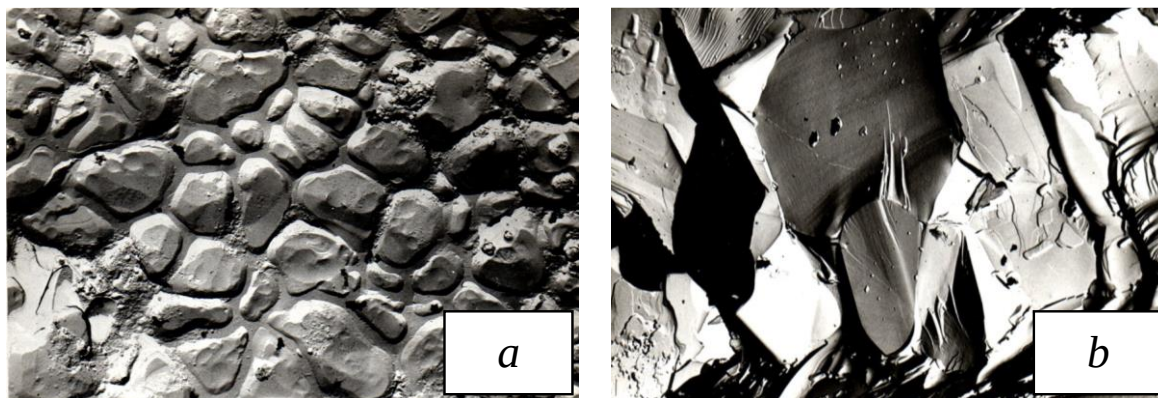


Рис.2. Электронные микро-фрактограммы поверхности (a) и поперечного скола (b) $CdSe$, после ТО на воздухе в присутствии $CuCl_2$ ($t=4$ мин, $T_n=350^\circ C$).

Исследование структуры оптимально очувствленных в вакууме пленок $CdSe$ показывает, что в этом случае наблюдается увеличение размеров кристаллитов относительно свежеприготовленных пленок. Преобладающей ориентировкой кристаллитов является $(111)_k + (0002)_r$ и увеличивается интенсивность линии $(10\bar{1}3)$. На электронограмме, полученной на отражение электронов от поверхности пленки, также наблюдаются другая текстура. Однако в этом случае имеется больше беспорядочно ориентированных кристаллитов. Доля гексагональной модификации составляет 67 %.

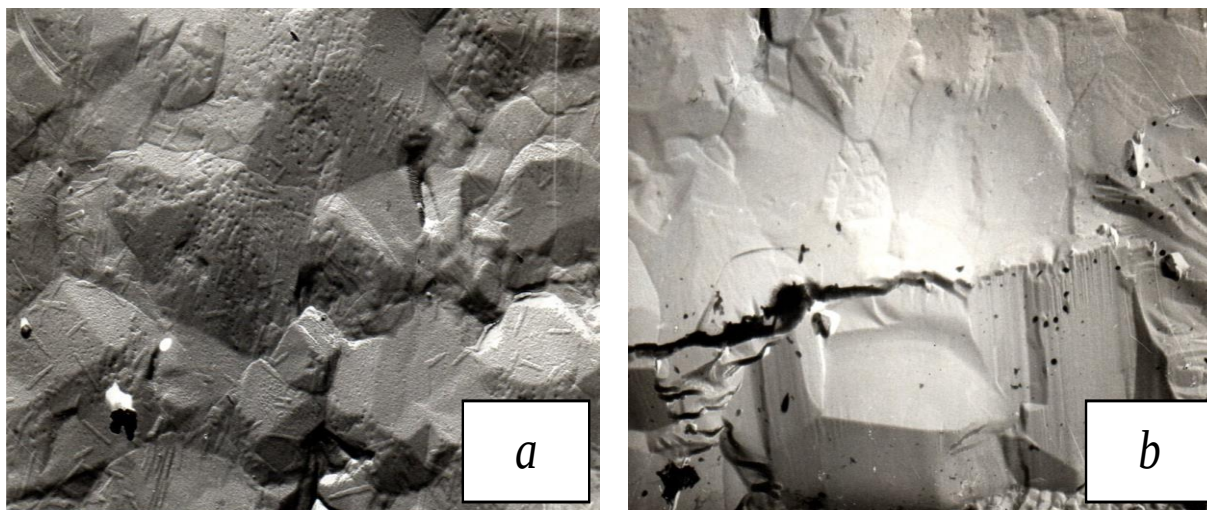


Рис.3. Электронная микрофотография поверхности (a) и поперечного скола (b), оптимально очувствленной в вакууме пленки $CdSe$.

Размеры областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей $D_{окр}$ для пленок, полученных при $T_n=350^\circ C$ увеличиваются от 97 нм до 180 нм, а для пленок, полученных при $T_n=400^\circ C$ - до 200 нм. Минимальная плотность дислокаций уменьшается от $3,2 \cdot 10^{10}$ до $9,2 \cdot 10^9$, $7,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, соответственно. Но результатам изучения морфологии поверхности пленок параллельно плоскости подложки электронно-микроскопическими методами установлено, что средние размеры кристаллитов увеличиваются до 2,25 мкм (рис. 3a). Размеры отдельных кристаллитов достигает 3+4 мкм. Поперечное строение пленок в направлении нормали к подложке, как это следует из представленной на рис.3b фрактограммы, становится

МОНОЛИТНЫМ.

В заключение отметим, что при ТО на воздухе в присутствии CuCl_2 ($T_{\text{отж}} = 300^\circ\text{C}$) в пленках, полученных при $T_{\text{п}} = 250^\circ\text{C}$ происходит переориентировка кристаллитов от плоскости $(111)_k + (0002)_r$ параллельной плоскости подложки к $(10\bar{1}3)$ через плоскость $(311)_k + (11\bar{1}2)_r$. В пленках, полученных при более высоких $T_{\text{п}}$, наибольшие времена ТО также приводят к появлению преимущественной ориентации кристаллитов плоскостью $(311)_k + (11\bar{1}2)_r$ параллельно плоскости подложки, однако с дальнейшим увеличением времени ТО преимущественной опять становится ориентация $(111)_k + (0002)_r$. При этом наблюдается увеличение размеров кристаллитов, размер области когерентного рассеяния $D_{\text{окр}}$, а также уменьшение параметра решетки a и минимальной плотности дислокации ρ_D . Длительные времена ТО в вакууме ($t = 120$ мин) способствует еще более существенному увеличению размеров кристаллитов и $D_{\text{окр}}$, пленки приобретают монокристаллический характер в поперечном направлении.

Список литературы

- [1] Ayibzhanov, M., Salomov, U.R., Tuychibaev, B.K., Yuldashev, N.K. and Tolibjanovna, M.D. (2025) Spectral Distribution, Optical and Thermal Quenching of Longitudinal Photoconductivity in CdSe/SnO_2 Films. Journal of Applied Mathematics and Physics, 13, 2452-2464. <https://doi.org/10.4236/jamp.2025.137140>
- [2]. Dhaneswar Kalita, P. K. Mochahari, J. Environ. Investigation on Thickness Dependent Structural, Optical and Electrical Properties of Cadmium Selenide Thin Films Deposited via Thermal Process // Nanotechnol., Volume 14, No 3 (2025) pp. 364-370. <https://doi.org/10.13074/jent.2025.09.2531675>
- [3]. V. Ciupina, A. Petcu, P. Rambu, C. Baban, L.C. Petcu, G. Prodan, G.I. Rusu, V. Pomazan. Study of structure and optical properties of CdSe thin films // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 10, No. 11, November 2008, p. 2993 – 2995.
- [4]. Hussain S, Iqbal M, Khan AA, Khan MN, Mehboob G, Ajmal S, Ashfaq JM, Mehboob G, Ahmed MS, Khisro SN, Li C-J, Chikwenze R and Ezugwu S (2021) Fabrication of Nanostructured Cadmium Selenide Thin Films for Optoelectronics Applications. Front. Chem. 9:661723. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.661723>
- [5]. Anuradha Purohit, S. Chander, S.P. Nehra, C. Lal, M.S. Dhaka. Effect of thickness on structural, optical, electrical and morphological properties of nanocrystalline CdSe thin films for optoelectronic applications // Optical Materials, Vol. 47, September 2015, P. 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2015.05.053>
- [6]. Girolami G. S. X-ray Crystallography. – MIT Press, 2015. <https://doi.org/10.1107/S2053273315020331>
- [7]. Glusker J. P., Trueblood K. N. Crystal structure analysis: a primer. – Oxford University Press, 2010. – T. 14. <https://www.researchgate.net/publication/254224616>
- [8]. Dinnebier R. E., Leineweber A., Evans J. S. O. Rietveld refinement: practical powder diffraction pattern analysis using TOPAS. – Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018. <https://doi.org/10.1107/S1600576719011178>
- [9]. Etter M., Dinnebier R. E. A century of powder diffraction: a brief history // Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. – 2014. – T. 640. – №. 15. – С. 3015-3028. <https://doi.org/10.1002/zaac.201400526>
- [10]. O’Keeffe M., Yaghi O. M. Deconstructing the crystal structures of metal–organic frameworks and related materials into their underlying nets // Chemical reviews. – 2012. – T. 112. – №. 2. – С. 675-702. <https://doi.org/10.1021/cr200205j>
- [11]. Zagorac D. et al. Recent developments in the Inorganic Crystal Structure Database: theoretical crystal structure data and related features // Applied Crystallography. – 2019. – T. 52. – №. 5. – С. 918-925. <https://doi.org/10.1107/S160057671900997X>
- [12]. Goel N. et al. Hall effect instruments, evolution, implications, and future prospects // Review of Scientific Instruments. – 2020. – T. 91. – №. 7. <https://doi.org/10.1063/5.0009647>
- [13]. Chen Y., Yi H. T., Podzorov V. High-resolution ac measurements of the Hall effect in organic field-effect transistors // Physical Review Applied. – 2016. – T. 5. – №. 3. – С. 034008. <https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.5.034008>
- [14]. Meng T. et al. Cadmium tin oxide thin films deposited by RF magnetron sputtering for photovoltaic applications // Journal of alloys and compounds. – 2013. – T. 556. – С. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.12.146>
- [15]. Du Z. et al. High-quality cadmium stannate annealed in N_2 atmosphere for low-cost thin film solar cell // RSC advances. – 2017. – T. 7. – №. 30. – С. 18545-18552. <https://doi.org/10.1039/C7RA00394C>
- [16]. Maxammatdovidovich, M. O., & Khaydarovich, Y. N. (2021). Feature of technology for obtaining by thermovacuum evaporation method of film n-CdS/p-CdTe heterostructures with photovoltaic and photoresistive properties. European science review, (1-2), 30-34. <https://doi.org/10.29013/ESR-21-1.2-30-34>

ANALYSIS OF A BIOLOGICAL SYSTEM IN A TWO-COMPONENT MEDIUM WITH SPATIALLY VARIABLE DENSITY

D.K. Muhamediyeva¹, A.Y. Nurumova², A.U. Mamatov³, D.M. Sotvoldiev⁴

¹Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi
matematikha@inbox.ru call:903196652

²Kimyo International University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

³National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

a.nurumova@kiut.uz

⁴Mamun University Khiva, Uzbekistan sotvoldiev_dilshodbek@mamunedu.uz
call: 97 263 45 67

(Received on September 22 th, 2025.)

Abstract. The study focuses on a nonlinear system of partial differential equations that models the interactions between two biological populations within a spatially heterogeneous two-component medium exhibiting variable density. The model incorporates nonlinear diffusion of porous medium type, weighted by spatially dependent coefficients, and includes source terms reflecting interspecies interaction. A transformation to self-similar variables is applied to analyze the qualitative behavior of solutions, including the existence of compactly supported profiles and asymptotic behavior. Critical conditions for global solvability and finite speed of propagation are established using comparison principles. The study determines the critical exponent that delineates global existence from blow-up, expressed in terms of the system's parameters. The analysis provides insight into the spatial spreading and localization mechanisms of biological species in structured environments.

Keywords: biological population model, nonlinear diffusion, variable density medium, self-similar solution, finite speed of propagation, critical exponent, reaction-diffusion system, coupled parabolic equations.

Аннотация. Исследование сосредоточено на нелинейной системе уравнений в частных производных, которая моделирует взаимодействие двух биологических популяций в пространственно неоднородной двухкомпонентной среде переменной плотности. Модель включает нелинейную диффузию типа пористой среды, взвешенную пространственно зависимыми коэффициентами, и включает источники, отражающие межвидовое взаимодействие. Преобразование к самоподобным переменным применяется для анализа качественного поведения решений, включая существование профилей с компактным носителем и асимптотическое поведение. Критические условия глобальной разрешимости и конечной скорости распространения устанавливаются с использованием принципов сравнения. Исследование определяет критический показатель, который разграничивает глобальное существование от взрыва, выраженный через параметры системы. Анализ дает представление о механизмах пространственного распространения и локализации биологических видов в структурированных средах.

Ключевые слова: биологическая популяционная модель, нелинейная диффузия, среда переменной плотности, автомодельное решение, конечная скорость распространения, критический показатель, система реакция-диффузия, связанные параболические уравнения.

Annotatsiya. Tadqiqot o'zgaruvchan zichlikni ko'rsatadigan fazoviy heterojen ikki komponentli muhitda ikkita biologik populyatsiyalar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni modellashtiradigan chiziqli bo'lmagan qisman differentsial tenglamalar tizimiga qaratilgan. Model fazoga bog'liq koeffitsientlar bilan og'irlikda bo'lgan g'ovakli muhit tipidagi chiziqli bo'lmagan diffuziyani o'z ichiga oladi va turlararo o'zaro ta'sirni aks ettiruvchi manba atamalarini o'z ichiga oladi. O'z-o'ziga o'xshash o'zgaruvchilarga o'zgartirish yechimlarning sifatli xatti-harakatlarini, shu jumladan ixcham qo'llab-quvvatlanadigan profillar va asimptotik xatti-harakatlarning mavjudligini tahlil qilish uchun qo'llaniladi. Taqqoslash tamoyillari yordamida global hal qilish va tarqalishning cheklangan tezligi uchun muhim shartlar belgilanadi. Tadqiqot global mavjudlikni portlashdan ajratib turuvchi muhim ko'rsatkichni aniqlaydi, bu tizim parametrlari bo'yicha ifodalanadi. Tahlil tuzilgan muhitda biologik turlarning fazoviy tarqalishi va lokalizatsiya mexanizmlari haqida tushuncha beradi.

Kalit so'zlar: biologik populyatsiya modeli, chiziqli bo'lmagan diffuziya, o'zgaruvchan zichlikdagi muhit, o'ziga o'xshash yechim, tarqalishning chekli tezligi, kritik ko'rsatkich, reaksiya-diffuziya tizimi, bog'langan parabolik tenglamalar.

1 INTRODUCTION

Mathematical modeling of biological population dynamics in heterogeneous environments plays a vital role in various scientific and practical fields, including ecology, epidemiology, environmental management, and agricultural planning. For example, understanding how invasive species spread through fragmented habitats, how diseases propagate through heterogeneous populations, or how plant species compete for unevenly distributed nutrients in soil can be effectively approached through nonlinear diffusion models.

This work addresses the analysis of a coupled nonlinear parabolic system modeling the dynamics of two interacting biological populations within a two-component medium whose density varies spatially. The system is formulated with nonlinear diffusion of porous medium type, where diffusion coefficients depend on population densities and spatial variables through power-law weights. Such formulations are especially relevant in modeling population migration through terrain with physical barriers, patchy food sources, or gradients in environmental conditions (e.g., light, moisture, or temperature).

The model also incorporates nonlinear reaction terms that capture interspecific interactions—such as competition for limited resources or mutualistic relationships—which are modeled through power-type nonlinearities. This mathematical framework can, for instance, represent interactions between predator-prey pairs, competing bacterial strains, or symbiotic microorganisms in spatially structured environments.

A key method employed in this study involves self-similar (automodel) transformations, which simplify the PDE system and facilitate a qualitative investigation of its solutions. Through this approach, we investigate features such as compact support, finite propagation speed, and long-time asymptotic behavior of solutions. Moreover, we derive critical parameter thresholds that determine whether the system admits global solutions or experiences finite-time blow-up.

This study contributes not only to the theoretical understanding of nonlinear PDEs with spatial heterogeneity but also provides tools applicable to real-world ecological forecasting, epidemic modeling in uneven populations, and biophysical simulations of species spread in stratified environments.

2 MATHEMATICAL MODEL AND PROBLEM STATEMENT

We consider the system of equations for $\Phi = \{(t, x) : 0 < t < \infty, x \in \mathbb{R}^N\}$ in the domain under investigation

$$\begin{cases} \frac{\partial u_1}{\partial t} = \nabla \left(|x|^n u_1^{m_1-1} |\nabla u_1^k|^{p-2} \nabla u_1 \right) + a_1(t)u_1 - \gamma(t)b_1(t)u_2^{\beta_1}, \\ \frac{\partial u_2}{\partial t} = \nabla \left(|x|^n u_2^{m_2-1} |\nabla u_2^k|^{p-2} \nabla u_2 \right) + a_2(t)u_2 - \gamma(t)b_2(t)u_1^{\beta_2}, \end{cases} \quad (1)$$

$$u_1|_{t=0} = u_{10}(x), \quad u_2|_{t=0} = u_{20}(x), \quad (2)$$

involves diffusion coefficients $|x|^n u_1^{m_1-1} |\nabla u_1^k|^{p-2} \nabla u_1, |x|^n u_2^{m_2-1} |\nabla u_2^k|^{p-2} \nabla u_2$ and includes positive parameters $m_1, m_2, n, p, \beta_1, \beta_2, 0 < \gamma(t) \in C(0, \infty)$ is the specified function, $\nabla(\cdot) - \text{grad}(\cdot), \beta_1, \beta_2 \geq 1, x \in \mathbb{R}^N$.

Where $u_2 = u_2(t, x) \geq 0, u_1 = u_1(t, x) \geq 0$ the unknown solutions to be determined.

In the system of equations (1), by performing the substitution

$$u_1(t, x) = e^{\int a_1(t) dt} v_1(\tau(t), x), \quad u_2(t, x) = e^{\int a_2(t) dt} v_2(\tau(t), x)$$

we obtain:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_1}{\partial \tau} = \nabla \left(|x|^n v_1^{m_1-1} |\nabla v_1^k|^{p-2} \nabla v_1 \right) + b_1(t)e^{\beta_1 \int a_2(t) dt - [(p-2)k + m_1] \int a_1(t) dt} v_2^{\beta_1}, \\ \frac{\partial v_2}{\partial \tau} = \nabla \left(|x|^n v_2^{m_2-1} |\nabla v_2^k|^{p-2} \nabla v_2 \right) + b_2(t)e^{\beta_2 \int a_1(t) dt - [(p-2)k + m_2] \int a_2(t) dt} v_1^{\beta_2}. \end{cases} \quad (3)$$

$$v_1|_{\tau=0} = v_{10}(x), \quad v_2|_{\tau=0} = v_{20}(x). \quad (4)$$

Choosing

$$\tau(t) = \frac{e^{[(m_1-1)+(p-2)k]\int a_1(t)dt}}{[(m_1-1)+(p-2)k]\int a_1(t)dt} = \frac{e^{[(m_2-1)+(p-2)k]\int a_2(t)dt}}{[(m_2-1)+(p-2)k]\int a_2(t)dt},$$

if $[(p-2)k+(m_1-1)]\int a_1(t)dt = [(p-2)k+(m_2-1)]\int a_2(t)dt$ we obtain the system of the form:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_1}{\partial \tau} = \nabla \left(|x|^n v_1^{m_1-1} |\nabla v_1^k|^{p-2} \nabla v_1 \right) + k_1(t) \tau^{l_1} v_1^{\beta_1}, \\ \frac{\partial v_2}{\partial \tau} = \nabla \left(|x|^n v_2^{m_2-1} |\nabla v_2^k|^{p-2} \nabla v_2 \right) + k_2(t) \tau^{l_2} v_1^{\beta_2}. \end{cases} \quad (5)$$

Where

$$k_1(t) = b_1(t) \left([(m_1-1)+(p-2)k]\int a_1(t)dt \right)^{l_1}, \quad l_1 = \frac{\beta_1 \int a_2(t)dt - [m_1+(p-2)k]\int a_1(t)dt}{[m_1+(p-2)k]\int a_1(t)dt}$$

$$k_2(t) = b_2(t) \left([(m_2-1)+(p-2)k]\int a_2(t)dt \right)^{l_2}, \quad l_2 = \frac{\beta_2 \int a_1(t)dt - [m_2+(p-2)k]\int a_2(t)dt}{[m_2+(p-2)k]\int a_2(t)dt}$$

As an initial step toward obtaining the self-similar form of the equation, we first solve the corresponding system of ordinary differential equations:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{v}_1}{d\tau} = k_1(t) \tau^{l_1} v_2^{\beta_1}, \\ \frac{d\bar{v}_2}{d\tau} = k_2(t) \tau^{l_2} v_1^{\beta_2}. \end{cases}$$

Assuming that $k_i(t) = \text{const}$, $i=1,2$ and $l_i=0$ the solution can be represented as

$$\bar{v}_1(\tau) = (\tau(t))^{-\alpha_1}, \quad \alpha_1 = \frac{1+\beta_1}{\beta_1\beta_2-1}, \quad \bar{v}_2(\tau) = (\tau(t))^{-\alpha_2}, \quad \alpha_2 = \frac{1+\beta_2}{\beta_1\beta_2-1},$$

Assuming that $l_i \neq 0$, and $k_i(t) = \text{const}$, $i=1,2$

$$\bar{v}_1(\tau) = (\tau(t))^{-\alpha_1}, \quad \alpha_1 = \frac{(l_1+1)+\beta_1(l_2+1)}{\beta_1\beta_2-1}, \quad \bar{v}_2(\tau) = (\tau(t))^{-\alpha_2}, \quad \alpha_2 = \frac{(l_2+1)+\beta_2(l_1+1)}{\beta_1\beta_2-1}.$$

Subsequently, we look for a solution to system (2) in the form given below

$$v_1(t, x) = \bar{v}_1(\tau) w_1(\tau(t), \varphi(|x|)), \quad v_2(t, x) = \bar{v}_2(\tau) w_2(\tau(t), \varphi(|x|)).$$

If $\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] = \alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)]$, and the structure of the function $\varphi(r)$ are defined as follows

$$\varphi(r) = \frac{1}{p_1} |r|^{p_1}, \quad |r| = \sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2}, \quad p_1 = \frac{p-n}{p}, \quad s = p \frac{N}{p-n}, \quad n < p,$$

the function $\tau = \tau(t)$ is selected as follows

$$\tau_1(\tau) = \int_0^\tau \bar{v}_1^{(p-2)k+(m_1-1)}(t)dt = \begin{cases} \frac{(T+\tau)^{1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)]}}{1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)]}, & \text{if } 1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] \neq 0, \\ \ln(T+\tau), & \text{if } 1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] = 0, \\ (T+\tau), & \text{if } p=2 \text{ u } m_1=1. \end{cases}$$

Given $w_i(\tau(t), x)$, $i=1,2$ the system can be written in the following form [1-4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial w_1}{\partial \tau} = \nabla \left(w_1^{m_1-1} |\nabla w_1^k|^{p-2} \nabla w_1 \right) + \psi_1(-w_1 + w_2^{\beta_1}), \\ \frac{\partial w_2}{\partial \tau} = \nabla \left(w_2^{m_2-1} |\nabla w_2^k|^{p-2} \nabla w_2 \right) + \psi_2(-w_2 + w_1^{\beta_2}). \end{cases} \quad (6)$$

Where:

$$\psi_1 = \begin{cases} \frac{1}{(1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)])\tau}, & \text{if } 1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] > 0, \\ \alpha_1 c_1^{-1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)]}, & \text{if } 1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] = 0, \end{cases}$$

$$\psi_2 = \begin{cases} \frac{1}{(1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)])\tau}, & \text{if } 1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)] > 0, \\ \alpha_2 c_2^{-\tau^{1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)]}}, & \text{if } 1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)] = 0. \end{cases}$$

If $1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)] > 0$ is satisfied, the self-similar solution to system (6) can be expressed as

$$w_1(\tau, \varphi) = f_1(\xi), \quad w_2(\tau, \varphi) = f_2(\xi), \quad \xi = \frac{\varphi(r)}{\tau^{1/p}}. \quad (7)$$

Upon substituting (7) into (6), under the assumption $(1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)]) > 0$ the system of self-similar equations governing $f_i(\xi)$ is obtained as

$$\begin{cases} \xi^{1-s} \frac{d}{d\xi} (\xi^{s-1} f_1^{m_1-1} \left| \frac{df_1}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{df_1}{d\xi}) + \frac{\xi}{p} \frac{df_1}{d\xi} + \mu_1(-f_1 + f_2^{\beta_1}) = 0, \\ \xi^{1-s} \frac{d}{d\xi} (\xi^{s-1} f_2^{m_2-1} \left| \frac{df_2}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{df_2}{d\xi}) + \frac{\xi}{p} \frac{df_2}{d\xi} + \mu_2(-f_2 + f_1^{\beta_2}) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

where $\mu_1 = \frac{1}{(1-\alpha_1[(p-2)k+(m_1-1)])}$ and $\mu_2 = \frac{1}{(1-\alpha_2[(p-2)k+(m_2-1)])}$.

3 ANALYSIS OF THE SLOW DIFFUSION REGIME $(m_1-1)+k(p-2) > 0$ and

$(m_2-1)+k(p-2) > 0$

We establish the properties of global solvability for weak solutions of system (5) by applying the comparison principle (see [4–14]). For this purpose, a new system of equations is constructed following the solution approach described in [15]:

$$\begin{cases} u_{1+}(t, x) = (T+t)^{\alpha_1} \bar{f}_1(\xi), \\ u_{2+}(t, x) = (T+t)^{\alpha_2} \bar{f}_2(\xi), \end{cases} \quad (9)$$

where $\alpha_i = -\frac{\beta_i+1}{\beta_i\beta_{2-i}-1}$, $\xi = \frac{\varphi(|x|)}{[\tau(t)]^{1/p}}$, $\tau(t) = \frac{1}{\lambda_i}(T+t)^{\lambda_i}$, $(1-\alpha_i[(p-2)k+(m_i-1)]) > 0$, $i=1,2$.

Assuming $[(p-2)k+(m_1-1)] \int a_1(t)dt = [(p-2)k+(m_2-1)] \int a_2(t)dt$

$$\bar{f}_1 = A(a-\xi^\gamma)_+^{n_1}, \quad \gamma = p/(p-1), \quad \bar{f}_2 = B(a-\xi^\gamma)_+^{n_2},$$

where A and B are constants, and

$$n_1 = \frac{k(p-2)+1}{(m_1-1)+k(p-2)}, \quad n_2 = \frac{k(p-2)+1}{(m_2-1)+k(p-2)}.$$

Here $a > 0$, $(b)_+ = \max(0, b)$.

Theorem 1. Assume that $(m_1-1)+k(p-2) > 0$ and $(m_2-1)+k(p-2) > 0$.

$$\beta_i > \frac{(m_{3-i}-1)+k(p-2)}{(m_i-1)+k(p-2)}, \quad i=1,2,$$

$$-\frac{N}{p} + \frac{a_1(\beta_1+1)}{\beta_1\beta_2-1} + \mu_1 a^{n_2\beta_1-n_1} \leq 0,$$

$$-\frac{N}{p} + \frac{a_2(\beta_2+1)}{\beta_1\beta_2-1} + \mu_2 a^{n_1\beta_2-n_2} \leq 0,$$

$$u_{1+}(0, x) \geq u_{10}(x), \quad u_{2+}(0, x) \geq u_{20}(x), \quad x \in R^N.$$

Consequently, if $u_{10}(x), u_{20}(x)$ is sufficiently small, the following assertion

$$u_1(t, x) \leq e^{\int a_1(t)dt} A_1 u_{1+}(t, x), \quad u_2(t, x) \leq e^{\int a_2(t)dt} A_2 u_{2+}(t, x) \quad \text{in } Q, \quad (10)$$

where the functions $u_{1+}(t, x), u_{2+}(t, x)$ are defined as described earlier, and $A_1 > 0, A_2 > 0$ denote constants.

Proof. The demonstration of Theorem 1 relies on the application of the comparison principle. We consider the functions $Au_{1+}(t, x), A_2u_{2+}(t, x)$, as comparison solutions, where $A_1 > 0, A_2 > 0$.

It can be readily verified that

$$\bar{u}_1^{-(m_1+k(p-2))} L_1(A_1 u_{1+}, A_2 u_{2+}) = \left[-A_1^{(m_1-1)+k(p-2)} (\gamma \gamma_1)^{p-1} N + a_1 \frac{\beta_1+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \right] \bar{f}_1^{\beta_1} + \mu_1 A_2^{\beta_1} \bar{f}_2^{\beta_1},$$

$$\bar{u}_2^{-(m_2+k(p-2))} L_2(A_1 u_{1+}, A_2 u_{2+}) = \left[-A_2^{(m_2-1)+k(p-2)} (\gamma \gamma_2)^{p-1} N + a_2 \frac{\beta_2+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \right] \bar{f}_2^{\beta_2} + \mu_2 A_1^{\beta_2} \bar{f}_1^{\beta_2},$$

if $A_1^{(m_1-1)+k(p-2)} (\gamma \gamma_1)^{p-1} = 1/p$, $A_2^{(m_2-1)+k(p-2)} (\gamma \gamma_2)^{p-1} = 1/p$.

Consequently, we obtain

$$\bar{u}_1^{-(m_1+k(p-2))} L_1(A_1 u_{1+}, A_2 u_{2+}) = \left[-\frac{N}{p} + a_1 \frac{\beta_1+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \right] \bar{f}_1^{\beta_1} + \mu_1 A_2^{\beta_1} \bar{f}_2^{\beta_1},$$

$$\bar{u}_2^{-(m_2+k(p-2))} L_2(A_1 u_{1+}, A_2 u_{2+}) = \left[-\frac{N}{p} + a_2 \frac{\beta_2+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \right] \bar{f}_2^{\beta_2} + \mu_2 A_1^{\beta_2} \bar{f}_1^{\beta_2}.$$

To apply the comparison principle, we first observe that $A(u_{1+}, u_{2+}) \leq 0$, $B(u_{1+}, u_{2+}) \leq 0$ within $\Xi = \{ (t, x) : t > 0, |x| \leq l(t) = a^{(p-1)/p} [\tau(t)]^{1/p} \}$. Because

$$\bar{f}_2^{\beta_1}(\xi) \bar{f}(\xi) = (a - \xi^{p/(p-1)})^{\beta_1 n_2 - n_1} = \exp \left(- \left[(p-1) \frac{\beta_1}{(m_2-1)+k(p-2)} - \frac{1}{(m_1-1)+k(p-2)} \right] \eta \right),$$

$$\bar{f}_1^{\beta_2}(\xi) \bar{f}_2(\xi) = (a - \xi^{p/(p-1)})^{\beta_2 n_1 - n_2} = \exp \left(- \left[(p-1) \frac{\beta_2}{(m_1-1)+k(p-2)} - \frac{1}{(m_2-1)+k(p-2)} \right] \eta \right),$$

therefore,

$$\max(\bar{f}_2^{\beta_1}(\xi) \bar{f}_1(\xi)) = a^{\beta_1 n_2 - n_1}, \max(\bar{f}_1^{\beta_2}(\xi) \bar{f}_2(\xi)) = a^{\beta_2 n_1 - n_2}.$$

Therefore, based on the assumptions of **Theorem 1** and the comparison principle, we have

$$u_1(t, x) \leq e^{\int_{a_1(t)}^{dt} A_1 u_{1+}(t, x)}, u_2(t, x) \leq e^{\int_{a_2(t)}^{dt} A_2 u_{2+}(t, x)} \text{ in } Q,$$

if

$$A_1 u_{1+}(0, x) \geq u_{10}(x), A_2 u_{2+}(0, x) \geq u_{20}(x), x \in R^N.$$

This concludes the proof of **Theorem 1**.

Corollary 1. Suppose the conditions of **Theorem 1** hold. Under these assumptions, the solution of problem (1)–(2) exhibits the property of finite propagation speed of perturbations. Indeed, for a weak solution of problem (9), we have

$$u_1(t, x) \leq e^{\int_{a_1(t)}^{dt} A_1 u_{1+}(t, x)}, u_2(t, x) \leq e^{\int_{a_2(t)}^{dt} A_2 u_{2+}(t, x)} \text{ within } Q.$$

It follows that

$$u_1(t, x) \equiv 0, u_2(t, x) \equiv 0, \text{ within } Q/D,$$

where $D = \{ (x, t) : t > 0, |x| < a^{(p-1)/p} [\tau(t)]^{1/(p-1)} \}$. This implies that the solution to problem (1), (2) possesses the property of finite speed of propagation.

5 CRITICAL DYNAMICS IN THE CASE OF $(m_i - 1) + k(p - 2) = 0$, $i = 1, 2$

Theorem 2. Suppose that $1 < p$, $(m_i - 1) + k(p - 2) < 0$, $i = 1, 2$, $\frac{\beta_1+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} < \frac{N}{p}$, $\frac{\beta_2+1}{\beta_1 \beta_2 - 1} < \frac{N}{p}$. Then, for sufficiently small values of $u_{10}(x), u_{20}(x)$ problem (1), (2) admits a global solution, and the following inequalities hold in Q

$$\begin{cases} u_1(t, x) \leq e^{\int a_1(t) dt} (T+t)^{-N/p} \exp\left(-\left(\frac{\xi^p}{p}\right)\right), \\ u_2(t, x) \leq e^{\int a_2(t) dt} (T+t)^{-N/p} \exp\left(-\left(\frac{\xi^p}{p}\right)\right), \end{cases} \quad (11)$$

here $\xi = \frac{\varphi(|x|)}{|\tau(t)|^{1/p}}$,

Proof. The verification of the theorem is founded on the comparison principle. We consider the functions

$$u_{1+}(t, x) = B_1(T+t)^{-N/p} \bar{f}_1(\xi),$$

$$u_{2+}(t, x) = B_2(T+t)^{-N/p} \bar{f}_2(\xi),$$

where $\bar{f}_1(\xi) = \exp\left(-\left(\frac{\xi^p}{p}\right)\right)$, $\bar{f}_2(\xi) = \exp\left(-\left(\frac{\xi^p}{p}\right)\right)$, $\xi = \frac{|\eta|}{(T+t)^{1/p}}$, $B_i > 0$, $i = 1, 2$.

It is easy to see that

$$\begin{cases} \bar{u}_1^{-(m_1+k(p-2))} L_1(B_1 u_{1+}, B_2 u_{2+}) = \left[-\frac{N}{p} + \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}\right] + B_2^{\beta_1} \bar{f}_2^{\beta_2 - 1} f_2^{\beta_1}, \\ \bar{u}_2^{-(m_2+k(p-2))} L_2(B_1 u_{1+}, B_2 u_{2+}) = \left[-\frac{N}{p} + \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}\right] + B_1^{\beta_2} \bar{f}_1^{\beta_1 - 1} f_1^{\beta_2}. \end{cases}$$

From the hypothesis of Theorem 2 and the last expression, we obtain

$$L_1(B_1 u_{1+}, B_2 u_{2+}) \leq 0,$$

$$L_2(B_1 u_{1+}, B_2 u_{2+}) \leq 0 \text{ within } Q,$$

provided that the constants B_1, B_2 satisfy the condition

$$B_1^{\beta_2} \leq -\frac{N}{p} + \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}, \quad B_2^{\beta_1} \leq -\frac{N}{p} + \frac{\beta_2 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}.$$

This inequality is a direct consequence of the comparison principle and serves to finalize the proof of the theorem.

The values of β_1, β_2 for which

$$\begin{aligned} \frac{N}{p} &= \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}, \\ \frac{N}{p} &= \frac{\beta_2 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1}, \end{aligned}$$

corresponds to the type of Fujita's critical exponent previously established by Escobedo and Herrero [15-17] for the case $p=2$.

6 QUALITATIVE BEHAVIOR AND ASYMPTOTIC STRUCTURE OF SELF-SIMILAR SOLUTIONS

Now let us consider asymptotically weak compact solutions of system (8) under the condition $\gamma(t) = \text{const}$ (see [18-21]). Let us consider this system of equations with the boundary condition

$$\begin{aligned} f_1(0) &= c_1 > 0, \quad f_2(d) = 0, \\ f_2(0) &= c_2 > 0, \quad f_2(d) = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

where $0 < d < +\infty$.

We look for a solution to system (8) in the following form

$$\begin{cases} f_1(\xi) = \bar{f}_1(\xi) y_1(\eta), \quad \eta = -\ln\left(a - \xi^{\frac{p}{p-1}}\right), \\ f_2(\xi) = \bar{f}_2(\xi) y_2(\eta), \quad \eta = -\ln\left(a - \xi^{\frac{p}{p-1}}\right), \end{cases} \quad (13)$$

where

$$\bar{f}_1(\xi) = (a - \xi^\gamma)_+^{q_1}, \quad \bar{f}_2(\xi) = (a - \xi^\gamma)_+^{q_2}, \quad a > 0, \quad (14)$$

$$q_1 = \frac{p-1}{(m_1-1)+k(p-2)}, \quad q_2 = \frac{p-1}{(m_2-1)+k(p-2)}, \quad \gamma = \frac{p}{p-1}.$$

Theorem 3. Suppose that $q_1 > 0$, $q_2 > 0$, $\beta_1 q_2 > q_1$, $\beta_2 q_1 > q_2$. Then the weakly compact solutions $f_1(\xi)$, $f_2(\xi)$ of system (8), under condition $\eta \rightarrow \infty$ ($\eta = -\ln(a - \xi^{p/(p-1)})$) exhibit the following asymptotic behavior

$$\begin{cases} f_1(\xi) = c_1 \bar{f}_1(\xi), \\ f_2(\xi) = c_2 \bar{f}_2(\xi), \end{cases}$$

where the coefficients c_1 , c_2 satisfy the system of algebraic equations

$$\begin{cases} -q_1^{p-1} c_1^{m_1+p-3} + a_1 \gamma^{-p} = 0, \\ -q_2^{p-1} c_2^{m_2+p-3} + a_2 \gamma^{-p} = 0. \end{cases}$$

Proof. It is straightforward to verify that

$$\begin{cases} \xi^{1-N} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^{N-1} \bar{f}_1^{m_1-1} \left| \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right) = -(\gamma q_1)^{p-1} \left(N \bar{f}_1 + \xi \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right), \\ \xi^{1-N} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^{N-1} \bar{f}_2^{m_2-1} \left| \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right) = -(\gamma q_2)^{p-1} \left(N \bar{f}_2 + \xi \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right), \quad \gamma = \frac{p}{p-1}. \end{cases}$$

We will demonstrate that the functions $\bar{f}_1(\xi)$, $\bar{f}_2(\xi)$ must constitute the leading term in the asymptotic solution of system (8). To this end, we seek a solution of system (8) in the form

$$\begin{cases} f_1(\xi) = \bar{f}_1(\xi) y_1(\eta), \\ f_2(\xi) = \bar{f}_2(\xi) y_2(\eta), \quad \eta = -\ln(a - \xi^{p/(p-1)}). \end{cases}$$

Using expression (8), it is straightforward to verify that

$$\begin{aligned} \xi^{s-1} \bar{f}_1^{m_1-1} \left| \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} &= \gamma^{p-1} \xi^s \bar{f}_1 L_1(y_1), \\ L_1(y_1) &= y_1^{m_1-1} \left| \frac{dy_1}{d\eta} - q_1 y_1 \right|^{p-2} \left(\frac{dy_1}{d\eta} - q_1 y_1 \right), \\ \xi^{s-1} \bar{f}_2^{m_2-1} \left| \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} &= \gamma^{p-1} \xi^s \bar{f}_2 L_2(y_2), \\ L_2(y_2) &= y_2^{m_2-1} \left| \frac{dy_2}{d\eta} - q_2 y_2 \right|^{p-2} \left(\frac{dy_2}{d\eta} - q_2 y_2 \right), \\ \begin{cases} \xi^{1-s} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^{s-1} \bar{f}_1^{m_1-1} \left| \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_1}{d\xi} \right) &= \gamma^{p-1} \bar{f}_1 \left[\left(s - q_1 \gamma \frac{\xi^\gamma}{a - \xi^\gamma} \right) L_1 y_1 + \gamma \frac{\xi^\gamma}{a - \xi^\gamma} \frac{d}{d\eta} L_1 y_1 \right], \\ \xi^{1-s} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^{s-1} \bar{f}_2^{m_2-1} \left| \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{d\bar{f}_2}{d\xi} \right) &= \gamma^{p-1} \bar{f}_2 \left[\left(s - q_2 \gamma \frac{\xi^\gamma}{a - \xi^\gamma} \right) L_2 y_2 + \gamma \frac{\xi^\gamma}{a - \xi^\gamma} \frac{d}{d\eta} L_2 y_2 \right]. \end{cases} \end{aligned}$$

Therefore, according to transformation (13), system (8) is reduced to the system

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{d}{d\eta} L_1(y_1) + \left(\frac{s}{\gamma} \varphi_1(\eta) - q_1 \right) L_1(y_1) + \frac{1}{p} \gamma^{-p} \varphi_1(\eta) \left(\frac{dy_1}{d\eta} - q_1 y_1 \right) - \frac{\beta_1 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \gamma^{-p} \varphi_1(\eta) y_1 + \\ & \quad + \gamma^{-p} \frac{e^{(-q_1 + \beta_1 q_2 - 1)\eta}}{a - e^{-\eta}} y_2^{\beta_1} = 0, \\ & \frac{d}{d\eta} L_2(y_2) + \left(\frac{s}{\gamma} \varphi_1(\eta) - q_2 \right) L_2(y_2) + \frac{1}{p} \gamma^{-p} \varphi_1(\eta) \left(\frac{dy_2}{d\eta} - q_2 y_2 \right) - \frac{\beta_2 + 1}{\beta_1 \beta_2 - 1} \gamma^{-p} \varphi_1(\eta) y_2 + \\ & \quad + \gamma^{-p} \frac{e^{(-q_2 + \beta_2 q_1 - 1)\eta}}{a - e^{-\eta}} y_1^{\beta_2} = 0, \end{aligned} \right. \quad (15)$$

where $\varphi_1(\eta) = \frac{e^{-\eta}}{a - e^{-\eta}}$.

The analysis of the previous system shows that the solution of system $w \rightarrow c_1, z \rightarrow c_2$, under condition $\eta \rightarrow \infty$, where the constants c_1, c_2 are solutions of the algebraic equation

$$\left\{ \begin{aligned} & -q_1^{p-1} c_1^{m_1+p-3} + a_1 \gamma^{-p} = 0, \\ & -q_2^{p-1} c_2^{m_2+p-3} + a_2 \gamma^{-p} = 0. \end{aligned} \right.$$

The theorem is thereby fully proven.

To solve the nonlinear system numerically, we apply a semi-implicit scheme with operator splitting. The nonlinear terms are handled using iterative linearization. We use two common methods: The Picard iteration is simple and stable but may require many steps, the Newton method is faster for strong nonlinearities but more computationally intensive. In practice, Picard is preferred for mild cases, while Newton performs better for stiff systems. A hybrid strategy combining both can improve efficiency.

To illustrate the dynamic behavior of the system, we simulate the solution on a bounded spatial domain with specific parameters:

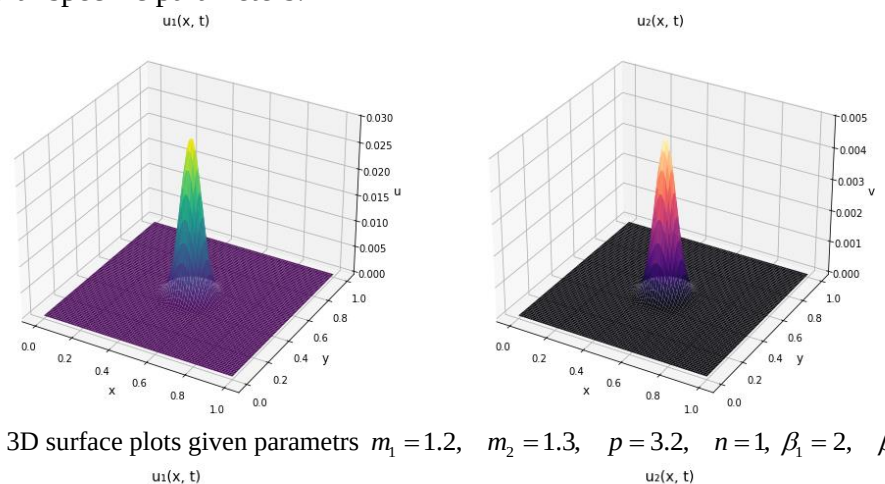


Figure 1. 3D surface plots given parameters $m_1 = 1.2, m_2 = 1.3, p = 3.2, n = 1, \beta_1 = 2, \beta_2 = 2$.

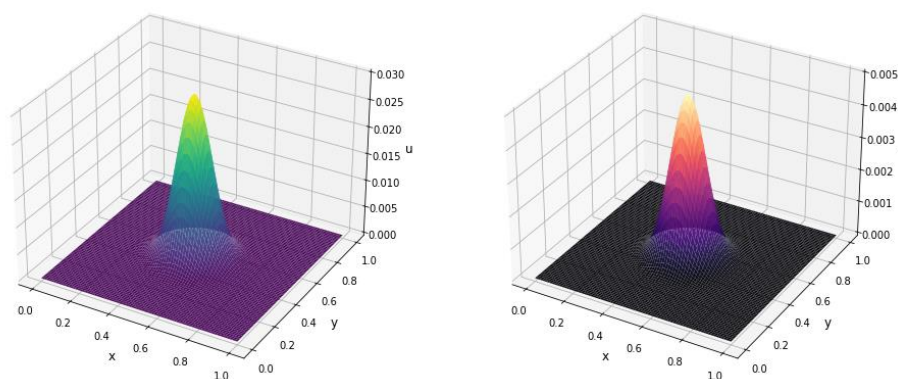


Figure 2. 3D surface plots given parameters $m_1 = 1.5, m_2 = 1.8, p = 2.5, n = 1, \beta_1 = 1.5, \beta_2 = 2.5$.

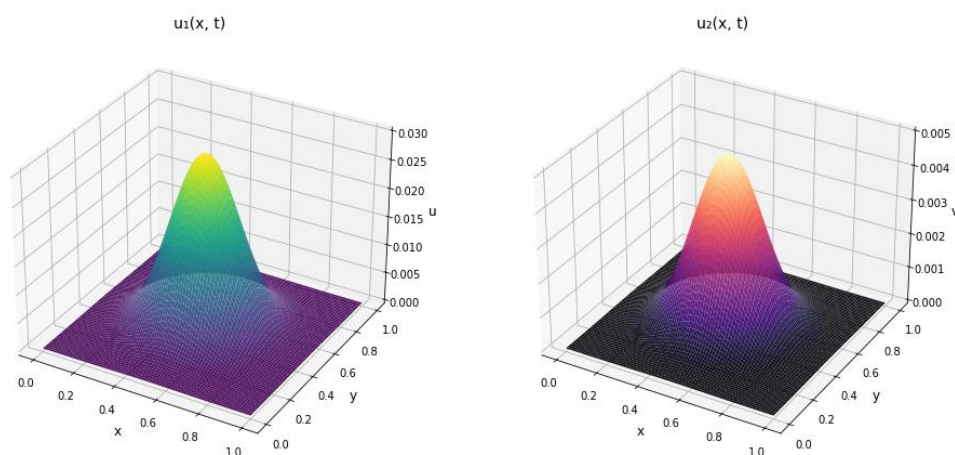


Figure 3. 3D surface plots given parameters $m_1 = 2.5$, $m_2 = 2.1$, $p = 3.5$, $n = 1.6$, $\beta_1 = 2.5$, $\beta_2 = 3.5$.

7. CONCLUSION

This study analyzed a nonlinear reaction-diffusion system modeling the interaction of two biological populations in a heterogeneous medium with variable density. The system incorporates nonlinear diffusion of porous medium type, weighted by spatial factors, and nonlinear reaction terms representing interspecies interactions.

Using self-similar transformations, we investigated qualitative behaviors such as the existence of compactly supported solutions and finite speed of propagation. Critical conditions ensuring global existence were established analytically. A Peaceman–Rachford numerical scheme combined with the Thomas algorithm was implemented to approximate the solutions. Simulations confirmed theoretical predictions and illustrated the evolution of population densities in 3D surface plots. Among iterative methods, the Newton linearization showed faster convergence compared to Picard iterations. The results provide insight into the dynamics of biological dispersal in structured environments and may be extended to more complex ecological systems or coupled diffusion processes.

References

- [1] M.A. Tsiganov, V.N. Biktashev, J. Brindley, A.V. Holden, G.R. Ivanitsky, Cross-diffusion waves in systems - a special class of nonlinear waves, UFN, 2007, Vol. 177, No. 3, 275-300.
- [2] Wu, Z.Q., Zhao, J.N., Yin, J.X. and Li, H.L., Nonlinear Diffusion Equations, Singapore: World Scientific, 2001.
- [3] Aripov M.M. Methods of basic equations for solving nonlinear boundary value problems. - Tashkent, Fan, 1988.
- [4] Kalashnikov A.S. Some problems of the qualitative theory of degenerate parabolic equations of the second order // UMN, Volume 42, Issue 2 (254), 1987, 135-176.
- [5] Murray J.D. Mathematical Biology, 3rd ed., Berlin: Springer, 2002-2003.
- [6] Malchow H, Petrovskii SV, Venturino E. Spatiotemporal Patterns in Ecology and Epidemiology: Theory, Models and Simulations. London: Chapman & Hall/CRC Press; 2008.
- [7] Levine, H., The Role of Critical Exponents in Blow-up Theorems, SIAM Rev., 32 (2), 1990, 262-288.
- [8] Wang S, Xie C H, Wang M X. Note on critical exponents for a system of heat equations with coupled boundary conditions. J Math Analysis Appl, 1998, 218: 313-324.
- [9] Wang S, Xie C H, Wang M X, Blow-up rate for a system of heat equations fully coupled in boundary conditions. Nonlinear Analysis, 1999, 35: 389-398.
- [10] Quiros F, Rossi J D. Blow-up set and Fujita-type curves for a nonlinear degenerate parabolic system with conditions. Indiana University Mathematics Journal, 2001, 50: 629-654.
- [11] Zheng S N, Song X F, Jiang Z X. Critical Fujita exponents for degenerate parabolic equations coupled by nonlinear boundary flux. J Math Analysis and Applications, 2004, 298: 308-324.
- [12] Aripov, M., Sadullaeva, S. "Computer simulation of nonlinear diffusion processes," National University Press, Tashkent, 2020.
- [13] A. Mamatov, Properties of solutions of a nonlinear reaction-diffusion system with variable density and source, Uzbek Mathematical Journal, 66(4), pp. 70-79.
- [14] A. Mamatov and A. Nurumova, Modeling of nonequilibrium cross-diffusion systems, Journal of Physics: Conference Series, 2388(1), 2022, pp. 012027.
- [15] A. Mamatov and A. Nurumova, Investigate the interaction of nonlinear thermal conductivity process with density and source in a nonhomogeneous environment, (Journal of American Institute of Physics, 2432, 2021) , pp. 050031(1)-050031(6).

- [16] A. Nurumova, Blow-up case for some nonlinear differential inequalities, (Journal of Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2020, 12(3)), pp. 147-158.
- [17] M. Aripov, M. Bobokandov, M. Mamatkulova, Analysis of a double nonlinear diffusion equation in inhomogeneous medium, Journal of Mathematical Sciences (United States), 2024, 024, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10958-024-07384-7>
- [18] M. Aripov, M. Bobokandov, The Cauchy problem for a doubly nonlinear parabolic equation with variable density and nonlinear time-dependent absorption, Journal of Mathematical Sciences 277, no. 3 (2023): 355-365.
- [19] M. Aripov, M. Bobokandov, M. Mamatkulova, To numerical solution of the non-divergent diffusion equation in non-homogeneous medium with source or absorption, In AIP Conference Proceedings, vol. 3085, no. 1. AIP Publishing, 2024.
- [20] Kh. Abdugapor and A. Mamatov, Modeling of double nonlinear thermal conductivity processes in two-dimensional domains using solutions of an approximately self-similar, (AIP Conference Proceedings 2781, 2023), pp. 020067.
- [21] Q. Zhang and P. Shi, Global solutions and self-similar solutions of semi-linear parabolic equations with nonlinear gradient terms, (Journal of Nonlinear Anal. T.M.A, 72(3), 2010), pp. 2744–2752.

SHTAMP ASBOBLARIGA TERMİK ISHLOV BERISHDAGI AUSTENITNING IZOTERMİK O'ZGARISH KINETIKASINI KOMPLEKS TAHLILI VA SHTAMP ASBOBLARINING CHIDAMLILIGINI OSHIRISH

D.M. Berdiyev, R.K. Tashmatov

Olmaliq davlat texnika instituti

[\(Qabul qilindi 17.10.2025 y.\)](#)

Ushbu ishda sovuq holatda list shtamplash sanoatida keng qo'llaniladigan U8 markali evtektoidli asbobsozlik po'latidan tayyorlangan puanson va matritsalar kabi shtamplash asboblarining ekspluatatsion chidamliligini oshirish ko'rib chiqilgan. Maqolada ilg'or termik ishlov berish rejimlarining nazariy asoslari, xususan, austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi (C-diagramma) orqali boshqariladigan parchalanish kinetikasi chuqur tahlil qilingan. Tadqiqot obyekti uchun takomillashtirilgan, oraliq qizdirib bo'shatishni o'z ichiga olgan rejim ishlab chiqilgan. Ilmiy tahlil natijalari bu rejimning an'anaviy usullarga nisbatan yuqori, bir xil qattqlik (58-62 HRC) va chala martensitli maydonlarda qoldiq austenitni saqlab qolish orqali asbobning darz ketishga chidamliligini oshirishini ko'rsatadi. Metodik yondashuv turli tahlil usullari integratsiyasiga asoslangan bo'lib, bu asboblarning xizmat muddatini uzaytirish uchun fundamental asos yaratadi.

Tayanch iboralar: puanson, matritsa, U8, termik ishlov berish, austenitning izotermik parchalanishi, beynitli o'zgarish, qoldiq austenit, chidamlilik, martensit, C-diagramma.

В данной работе рассматривается повышение эксплуатационной стойкости штамповочного инструмента, такого как пуансоны и матрицы, изготовленного из эвтектоидной инструментальной стали марки У8, широко применяемой в холодной листовой штамповке. В статье дан углубленный анализ теоретических основ прогрессивных режимов термической обработки, в частности, кинетики распада аустенита, контролируемой диаграммой изотермического превращения (С-диаграмма). Для объекта исследования разработан усовершенствованный режим, включающий промежуточные отжиги. Результаты научного анализа показывают, что данный режим по сравнению с традиционными методами повышает трещиностойкость инструмента за счет сохранения высокой, равномерной твердости (58-62 HRC) и остаточного аустенита в областях с пониженной мартенситной прочностью. Методический подход основан на комплексировании различных методов анализа, что создает фундаментальную основу для продления срока службы указанных инструментов.

Ключевые слова: пуансон, матрица, У8, термическая обработка, изотермический распад аустенита, бейнитное превращение, остаточный аустенит, вязкость, мартенсит, С-диаграмма.

This paper examines the improvement of the operational durability of stamping tools, such as punches and dies, made of eutectoid tool steel grade U8, which is widely used in cold sheet metal stamping. This article provides an in-depth analysis of the theoretical foundations of advanced heat treatment regimes, specifically the kinetics of austenite decomposition, as controlled by the isothermal transformation diagram (C-diagram). An improved regime, incorporating intermediate annealing, has been developed for the study object. The results of scientific analysis show that this mode, compared to traditional methods, increases the crack resistance of the tool by maintaining high, uniform hardness (58-62 HRC) and residual austenite in areas with reduced martensitic strength. The methodological approach is based on the integration of various analysis methods, which creates a fundamental basis for extending the service life of these instruments.

Key words: punch, matrix, U8, heat treatment, isothermal decomposition of austenite, bainitic transformation, retained austenite, toughness, martensite, C-diagram.

Shtamplash asboblari, xususan, puanson va matritsalar, materiallarni kesish, shakllantirish va teshish jarayonlarida yuqori kontakt zo'riqlashlar, ishqalanish, zarbiy yuklanishlar va qizib ketishlarga duch keladi. Ushbu og'ir ish sharoitlari asbobning ishchi qismlarida tez yeyilish, plastik deformatsiyalanish va mo'rt sinishga olib keladi. Natijada, asbobning xizmat muddati qisqaradi, ishlab chiqarish xarajatlari oshadi va uzilishlar yuzaga keladi. Shu sababli, shtamplash

asboblarining chidamliligini oshirish muhandislik metallurgiyasi oldida turgan eng muhim vazifalardan biridir [1-3].

Jahonda xususan, Buyuk Britaniya, AQSH, Kanada va boshqa rivojlangan mamlakatlarning ilmiy-tadqiqot muassasalari sovuq holda shtamplash asboblarining chidamliligini oshirishga katta e'tibor qaratmoqda. S.S. Manson, D.L. Henrylar po'latning qattiqligi va shtamplash sharoitlari o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish, shikastlanish nazariyalarini umumlashtirish, shuningdek, Ravi Kiran, Jalaj Kumar, Vikas Kumar kabi olimlar kam uglerodli po'latlarda zarbiy qovushqoqlikni oshirish texnologiyalarini ishlab chiqish orqali bu sohaga ulkan hissa qo'shishgan. Biroq, evtektoidli asbobsozlik po'latlari (masalan, U8) uchun termik ishlov berish rejimlarini austenitning parchalanish kinetikasi asosida kompleks optimallashtirish bo'yicha chuqur amaliy tadqiqotlar hali ham talab qilinmoqda.

U8 markali po'latdan tayyorlangan shtamplash asboblarining chidamliligini oshirish uchun ularga termik ishlov berishning optimal izotermik rejimini austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi asosida ilmiy-amaliy jihatdan asoslash va ishlab chiqish maqsadida U8 markali po'latdan seriyali ishlab chiqariladigan puanson va matritsa turlari, jumladan, OPK-1, OPM-1, OPKCh-2, OPB-3 va boshqa markali asboblarning ishchi qismlari obyekt sifatida tanlab olingan.

Termik ishlov berishda po'latning yakuniy mikrostrukturasi po'latning kritik harorat A_{c1} dan pastda qanday tezlikda va qanday haroratlarda sovutilishiga bog'liq. Austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi (C-diagramma) muvozanat haroratidan pastda bo'lgan mo'tadil austenitning har xil haroratlarda va vaqt o'tishi bilan perlit, beynit yoki martensitga parchalanish kinetikasini grafik tarzda ifodalaydi [4].

C-diagramma uchta asosiy nuqtaga ega:

1. Perlit nuqtasi: Eng tez perlitli parchalanish sodir bo'ladigan harorat.
2. Beynit nuqtasi: Eng tez beynitli parchalanish sodir bo'ladigan harorat.
3. Martensit nuqtasi: Martensitli o'zgarish boshlanadigan harorat.

Optimal termik ishlov berish rejimi C-diagrammadagi perlit va beynit nuqtalarini aylanib o'tish yoki ularni maqsadli kesib o'tish orqali tuziladi.

Teskari faza o'zgarishida austenitlanish jarayoni sodir bo'lib, dastlabki ferrit va sementit strukturalari yuqori haroratli austenitga aylanadi. Bu jarayonda yangi austenit donachalari asosan ferrit va sementit chegaralarida geterogen nasllanadi. Tadqiqotda matritsani yuqori haroratda qizdirish bilan termik ishlov berish texnologiyasi perlitning austenitga aylanishi natijasida ferrit bilan sementit chegarasida austenitning boshlang'ich mayda donalari hosil bo'lishi asosida ishlab chiqilgan. Qizdirish vaqtini va haroratini nazorat qilish orqali austenit donining haddan tashqari o'sishini cheklash va mayda donli strukturani shakllantirish mumkin [5].

Tadqiqot uchun diametri 20 mm va balandligi 5-7 mm bo'lgan silindrsimon namunalar (shtamp asboblarining ishchi qismlarini simulyatsiya qilish uchun) tayyorlandi.

Kimyoviy tarkibni aniqlash standart usullar orqali amalga oshirildi. Mikrostruktura tahlili MX-4XC PLUS mikroskoplarida o'tkazildi. Umumiy mikrostrukturani ko'rish uchun azot kislotasining etil spirtidagi 3% li eritmasidan foydalanildi.

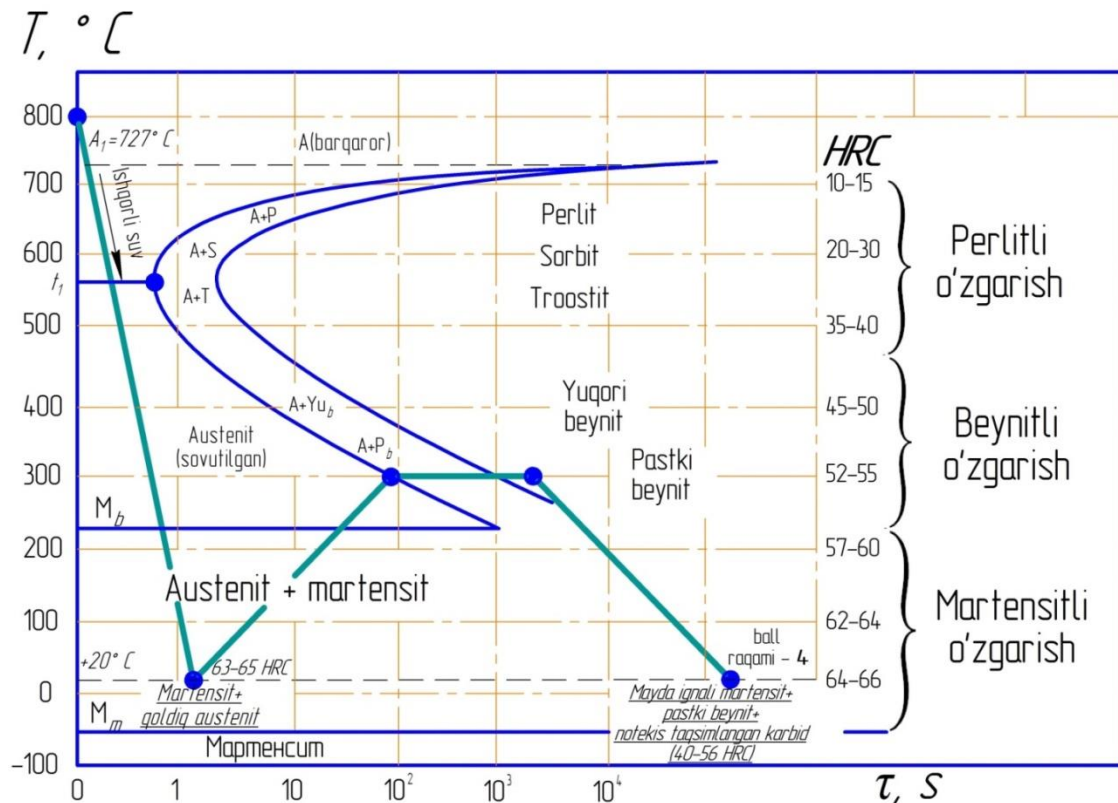
Austenit donachalarining chegaralarini aniqlash uchun oksidlash so'ngra azot kislotasida yedirilish usuli qo'llanildi. Bu usul yaltiratilgan shliflarni himoyalovchi atmosferada talab qilinadigan haroratgacha qizdirish, 30 soniya konteynerni ochib oksidlash va so'ngra toblashni o'z ichiga oladi. Austenit donachalarining chegaralari chuqurroq oksidlanishi tufayli, ular keyingi yaltiratsidan so'ng ham aniq ko'rinadi [6].

Qattiqlik sinovi HBRV-187.5 jihozida davlat standartlari bo'yicha o'tkazildi. Rentgenografik tahlil kogerent sochilish sohalari o'lchami va kristall panjara mikroog'ishlarini baholash o'rniga, dislokatsiyalar zichligini baholash va qoldiq austenit miqdorini aniqlashga e'tibor qaratildi.

Matematik tahlil korrelyatsion-regression tahlil asosida bashoratlash usullaridan foydalanildi.

Dastlab namunalarni SNOL 8,2/1100 markali mufelli qizdirish qurilmasida an'anaviy rejimda past austenitlanish haroratda qizdirilib (780-800 °C) va ishqorli suvda toblash qo'llanilgan. C-diagramma tahliliga ko'ra, tez sovutish tufayli o'zgarish inkubatsiya markazini kesib o'tmasdan martensit va qoldiq austenit hosil bo'lgan [7].

250-300 °C haroratda bo‘shatish o‘tkazilganda, o‘zgarish hududida notekis taqsimlangan karbidlar, pastki beynit va mayda ignali martensitni shakllantirgan. 40-56 HRC qattqlikni tashkil etgan (1-rasm).



1-rasm. Amaldagi texnologiya asosida austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi.

Takomillashtirilgan texnologiya austenitning parchalanish kinetikasini ikki bosqichda dastlabki toblash va beynitli o'zgarish orqali nazorat qilishni o'z ichiga oladi.

Ekstremal austenitlanish uchun shtamp asboblari termik ishlov berishda 1100 °C haroratda 5-6 daqiqa ushlab turish orqali sementitni to'liq erishini va uglerodning austenitda gomogen taqsimlanishini ta'minlaydi, shu bilan birga mayda austenit donalarini hosil qiladi. So'ngra dastlabki toblash moyda amalga oshirilib, bunda perlitli o'zgarish hududini kesib o'tish hisobiga sorbit strukturasini hosil qiladi [8].

450 °C haroratda 25-30 daqiqa ushlab turish orqali oraliq bo'shatiladi. Bu harorat beynitli o'zgarish hududiga to'g'ri keladi. Izotermik ushlab turish ichki zo'riqishlarni yumshatish bilan birga, austenitning bir qismini beynitga aylantiradi. Natijada bo'shatilgan martensit, troostit va beynit aralashmasi hosil bo'ladi.

Yakuniy austenitlanish uchun 820 °C haroratda 30 daqiqa ushlab turildi.

Yakuniy toblash suvda amalga oshirilib, evtektoidli po‘lat uchun inkubatsiya markazini kesib o‘tmasdan 62-66 HRC qattiqlikdagi mayda ignali martensit va qoldiq austenit hosil bo‘ldi.

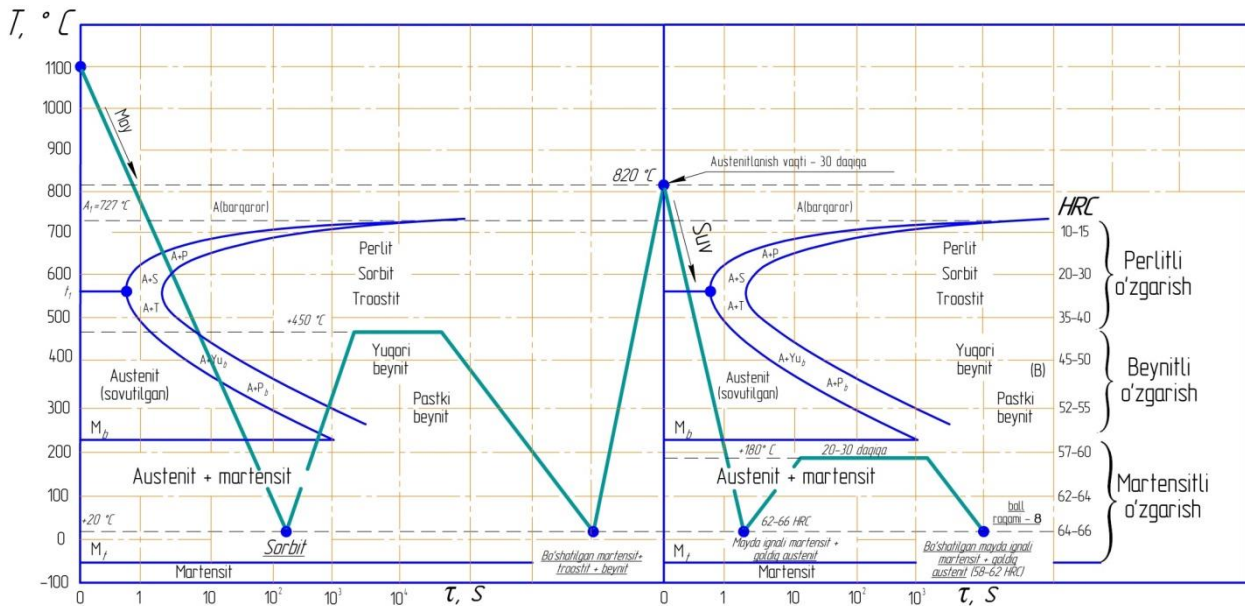
Yakuniy bo'shatish 180 °C haroratda 20-30 daqiqa davomida amalga oshirildi hamda qattqlik 58-62 HRCni tashkil etdi. Bu an'anaviy usul yuqori va yeyilishga chidamlilik talablariga javob beradi.

Ushbu termik ishlov berish texnologiyasi 8 raqamli ballga mos keladigan boʻshatilgan mayda ignali martensit va qoldiq austenit strukturasini yaratib, mayda donli martensit mustahkamlikni oshiradi (2-rasm).

Tadqiqotning eng muhim ilmiy yangiliklaridan biri chala martensit hosil qilingan maydonda qoldiq austenit mavjud bo'lganda darz ketish xavfi yo'qligini aniqlashdir.

Austenit faza yuqori plastiklikka ega bo'lib, toblash paytida hosil bo'ladigan ichki kuchlanishlarni qisman o'ziga oladi. Bu esa martensitli o'zgarish natijasida yuzaga keladigan hajm o'zgarishi va zo'riqishlar tufayli asbobning darz ketish ehtimolini pasaytiradi [9].

Qoldiq austenit tashqi yuklanish (shtamplash) ostida martensitga o'tish (parchalanish) qobiliyatiga ega bo'lishi mumkin. Bu strukturaning lokal mustahkamligini oshirib, zarbiy qovushqoqlikni saqlab qolishga yordam beradi.



2-rasm. Takomillashtirilgan texnologiya asosida austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi.

Xulosa

1. U8 markali po'latida austenitning izotermik o'zgarish diagrammasi orqali rejimni boshqarish (xususan, 450 °C haroratda oraliq bo'shatish) perlit va beynit o'zgarishlari kinikasini optimallashtirib, yakuniy strukturaning xossalari maqsadli shakllantirishga imkon beradi.
2. Takomillashtirilgan termik ishlov berish natijasida olingan 58-62 HRC qattqlik shtamplash asboblarning yeyilishga chidamliligini an'anaviy usulga nisbatan sezilarli darajada oshiradi.
3. Chala martensitli struktura ichidagi qoldiq austenitning mavjudligi asbobning toblash paytidagi va ekspluatatsiya davridagi mo'rt sinishga qarshiligini, shu bilan birga darz ketish hosil bo'lmasligini ta'minlaydi.
4. Olingan ilmiy-amaliy natijalar sovuq holatda list shtamplash asboblari ishlab chiqaruvchi korxonalarda termik ishlov berish jarayonini takomillashtirish uchun bevosita asos bo'lib xizmat qiladi, bu esa asboblarning xizmat muddatini uzaytiradi va ish unumdorligini oshiradi.

Adabiyotlar

- [1]. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: Монография / Г.А. Околович; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Изд. 2-е, переработанное, дополненное. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010, 202 с.
- [2]. Mukhamedov A.A. The Influence of the Thermal History on the structure and Properties of Steel // The physics of Metals and Metallography. 1992. – vol. 74. – №5. – P. 482-487.
- [3]. Dyuchenko S. S. Heredity in phase transformation: mechanism of the phenomenon and effect on the properties // Metall Science and heat treatment. 2000. Vol. 42. N. 3–4. P. 122–126.
- [4]. R. Tashmatov. Sovuq holatda shtamplash asboblari chidamliligini oshirish uchun termik puxtalash texnologiyasini takomillashtirish // «Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan. 42-b.
- [5]. D.M. Berdiev, A.A. Yusupov, R.K. Toshmatov, A.Kh. Abdullaev: Increasing Die Durability in Cold Stamping by Quenching with Intermediate Tempering | Russian Engineering Research. 42(10), 1011–1013 (2022). <https://doi.org/10.3103/S1068798X22100057>
- [6]. D.M. Berdiev, R.K. Toshmatov Phase and Structural Transformations of Structural Steels in Nontraditional Heat Treatment | Russian Engineering Research, 2021, vol. 41, no. 1, pp. 46–48. <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068798X21010068>
- [7]. Darob Berdiev, Lazizbek Raufov, Ravshan Tashmatov, Zarip Sadullayev, Dustmurat Fazilov, Shokhida Khojibekova.: The Influence of High-Chromium Powder Coatings on Wear Resistance of Working Parts | SpringerLink. ICoRSE 2025, LNNS 1592, pp. 15–26, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02508-1_2

- [8]. Д.М. Бердиев, А.А. Юсупов, Р.К. Тошматов Увеличение стойкости штампов холодной штамповки методом закалки с промежуточным отпуском // Вестник машиностроения. – 2022. – № 7. – С. 61–64.
- [9]. Д.М. Бердиев, Р.К. Тошматов, А. Х. Абдуллаев. Повышение стойкости штампов холодной штамповки закалкой с промежуточным отпуском // Литье и металлургия. – 2022. – № 3. – С. 91–93.

UDK 621.036

ANKERLASH TEXNOLOGIYALARINING ASOSIY TURLARI VA UNING GEOMETRIK PARAMETRLARINI TADQIQ QILISH

B.R. Toshov, R.O. Muminov, B.I. To'xtayev, D.D. Jo'rayev, B.B. Qayumov, F. Kushimov

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, O'zbekiston, rashid_81@mail.ru
(Qabul qilindi 13.06.2025 y.)

Annotatsiya. Mazkur maqolada ankerlash texnologiyalarining asosiy turlari, xususan, ankerlash uzunligiga qarab tasniflanishi, shuningdek, uch qismli ankerlashning o'ziga xos xususiyatlari va uning mahkamlovchi tarkiblar bilan o'zaro aloqasi ilmiy jihatdan tahlil qilinadi. Ankerlash konstruksiyalarni asosga mustahkamlashda qo'llaniladigan muhim texnologik jarayon bo'lib, uning samaradorligi ankerning geometrik parametrlari va asos materialining fizik-mexanik xususiyatlari bilan uzviy bog'liqligi ko'rsatib o'tiladi.

Kalit so'zlar: anker, deformatsiya, adgeziya, smola, mahkamlash, kimyoviy anker, mexanizm, mahaliy zo'riqish, sterjen, yuklanish, skvajena.

Аннотация. В данной статье научно анализируются основные виды анкерных технологий, в частности их классификация в зависимости от длины анкеровки, а также особенности трехкомпонентной анкеровки и ее взаимодействие с крепежными элементами. Анкеровка является важным технологическим процессом, используемым для крепления конструкций к основанию, и подчеркивается, что ее эффективность неразрывно связана с геометрическими параметрами анкера и физико-механическими свойствами материала основания.

Ключевые слова: анкер, деформация, адгезия, смола, закрепление, механизм, химический анкер, местное напряжение, стержень, нагрузка, скважина.

Annotation. This article scientifically analyzes the main types of anchoring technologies, in particular their classification depending on the anchorage length, as well as the features of three-part anchoring and its interaction with fastening elements. Anchoring is an important technological process used to secure structures to the base, and it is emphasized that its effectiveness is inextricably linked with the geometric parameters of the anchor and the physical and mechanical properties of the base material.

Key words: anchor, deformation, adhesion, resin, fastening, mechanism, chemical anchor, local stress, rod, load, borehole.

KIRISH

Tog' jinslarini mustahkamlashda qo'llaniladigan ankerlash tizimlari, ularning ankerlash uzunligiga qarab uch asosiy turga bo'linadi: uch qismli ankerlash, uzaytirilgan ankerlash va butun uzunlik bo'ylab ankerlash. Bu tasnif, ankerning tog' jinsi bilan o'zaro ta'sirlashuv mexanizmi va uning funksional vazifalarini tushunishda muhim ahamiyatga ega [1].

Uch qismli ankerlash (mexanik kengayuvchi ankerlar): Uch qismli ankerlash mexanizmining mahkamlovchi tarkib (masalan, mexanik kengaytiruvchi elementlar) asosan yopishish mustahkamligini emas, balki bosim va tiranch kuchlarini ta'minlashga xizmat qiladi. Bu turdagi ankerlar asos materialining qirqishga va ezilishga qarshiligiga tayanadi. Mahkamlovchi tarkibning vazifasi, bu holatda, ankerning muayyan cho'zilish kuchini ko'tara olishini ta'minlashdir. Biroq, bu cho'zilish kuchi ankerlashning oxirgi nuqtasidan tashqari, ankerning uzunligi bo'ylab nisbatan bir tekis taqsimlanadi. Bundan tashqari, yuklanishning asos materialiga uzatilishi asosan ankerning kengayuvchi qismidagi kontakt maydoni orqali amalga oshiriladi. Ankerlashning bu turida, asos materialining sifati (masalan, g'ovaklik darajasi, zichligi) va anker tuynugining geometriyasi (diametri, chuqurligi) ankerning cho'zilishga chidamliligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Mahalliy zo'riqishlarning yuqoriligi tufayli, ayniqsa tuynuk chetiga yaqin joylashganda, asosning

yorilishi xavfi mavjud bo'lib, bu ankerning samaradorligini pasaytirishi mumkin [2]. Ushbu turdagi ankerlash ko'pincha kentli yoki rospor ankerlar deb ataladi, asosan metallardan tayyorlangan bo'lib, tuynuk devorlariga mexanik bosim o'tkazish orqali mahkamlanadi va ankerlashda yuklanish asosan ankerning kengayuvchi qismidagi kontakt maydoni orqali asosga uzatiladi. Bu turdagi ankerlashda mahkamlanish asosan ankerning oxirgi qismida, ya'ni cheklangan va kichik bir maydonda amalga oshadi. Mexanik kengayuvchi (raspor) ankerlar bunga misol bo'la oladi. Ularning ishlash prinsipi, asosan, tiranch (friksiya) va kengayish hisobiga tuynuk devorlariga yuklanish taqsimlashga asoslanadi. Ishlash prinsipi quyidagicha, anker tuynukka o'rnatilgach, uning gaykasi yoki sterjeni tortiladi. Buning natijasida ankerning rospor elementlari kengayib, tuynuk devorlariga tashqi bosim P ni hosil qiladi. Bu bosim tufayli, asos materiali va anker yuzasi o'rtasida ishqalanish kuchi (friksiya) vujudga keladi, bu esa ankerning tortilishga qarshiligini ta'minlaydi. Mahkamlash mexanizmi ankerning cho'zilishga qarshiligiga asosan ishqalanish kuchiga bog'liq bo'lib, quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$F_t = \mu \cdot N \quad (1)$$

bu yerda: F_t – ankerning tortilishga qarshilik kuchi (cho'zilish kuchi), [N]. μ – anker va asos materiali o'rtasidagi statik ishqalanish koeffitsienti. N – ankerning asos devorlariga ko'rsatayotgan normal bosim kuchi, [N].

Normal bosim kuchi N ankerning kengayish mexanizmi va tortish momenti T bilan bog'liq.

Afzalliklari: Tez o'rnatish, namlikka chidamlilik, darhol yuklanish imkoniyati.

Kamchiliklari: Asos materialining sifatiga talabchanlik (g'ovakli va mo'rt materiallarda samarasiz), mahalliy yuqori zo'riqishlar tufayli asosning yorilishi xavfi (ayniqsa, tuynuk chetiga yaqin joylashganda) sodir bo'ladi.

Butun uzunlik bo'ylab to'liq mahkamlash (kimyoviy ankerlar): Bu eng samarali ankerlash turlaridan biri bo'lib, ankerning butun uzunligi bo'ylab asosga zich yopishish orqali amalga oshadi. Kimyoviy ankerlar, ularning tuynukni to'liq to'ldirishi va anker sterjenining butun uzunligi bo'ylab adgeziya (yopishish) hosil qilishi hisobiga, bu turdagi ankerlashga misol bo'ladi. Bunda yuklanish ankerning butun uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlanadi, bu esa asosga tushadigan mahalliy zo'riqishlarni kamaytiradi va yuklanish ko'tarish qobiliyatini oshiradi. Ishlash Prinsipi: Tuynukka kimyoviy smola joylashtiriladi va unga metall sterjen kiritiladi. Smola komponentlari aralashib, kimyoviy reaksiya natijasida qattiqlashadi va sterjen bilan asos materiali o'rtasida yuqori adgeziya hosil qiladi. Mahkamlash Mexanizmi: Ankerning cho'zilishga qarshiligi asosan smolaning sterjen va asos materiali bilan adgeziya mustahkamligiga bog'liq. Ankerning ko'tarish qobiliyati asos materialining qirqish mustahkamligi yoki anker sterjenining oqish chegarasi bilan cheklanishi mumkin [3].

Ankerning tortilishga qarshiligi F_t quyidagicha hisoblanadi:

$$F_t = \tau_b \cdot A_s \quad (2)$$

bu yerda: F_t – ankerning tortilishga qarshilik kuchi, [N]. τ_b – smola va sterjen, yoki smola va asos materiali o'rtasidagi o'rtacha yopishish (bond) mustahkamligi, [MPa]. A_s – anker sterjenining smola bilan kontakt yuzasi, [mm²].

$$A_s = \pi \cdot d \cdot L_b, \quad (3)$$

bu yerda: d – sterjen diametri, L_e – samarali ankerlash uzunligi.

Kimyoviy ankerlarda yuklanish ankerning butun samarali uzunligi L_e bo'ylab bir tekis taqsimlanadi, bu esa asosga tushadigan mahalliy zo'riqishlarni sezilarli darajada kamaytiradi. Shuningdek, asosning yorilish xavfi deyarli yo'qqa chiqariladi.

Afzalliklari: Yuqori yuklanish ko'tarish qobiliyati, g'ovakli va bo'sh materiallarda ham samarali, asosga zo'riqish bermaydi, dinamik va tebranish yuklanishlariga yuqori chidamlilik.

Kamchiliklari: O'rnatish jarayoni vaqt talab qiladi (smolaning qotishi uchun ma'lum vaqt kerak), haroratga bog'liqlik (past haroratlarda qotish vaqti uzayadi), narxi nisbatan qimmatroq.

Uzaytirilgan Ankerlash: Uzaytirilgan ankerlash – bu ankerning asosdagi tuynuk ichiga kiritilgan qismining uch qismli (nuqtaviy) ankerlashga nisbatan uzunroq bo'lishini anglatadi. Agar

uch qismli ankerlashda mahkamlanish asosan ankerning oxirgi, kengayuvchi nuqtasida sodir bo'lsa, uzaytirilgan ankerlashda yuklanish ankerning kattaroq yuzasi bo'ylab taqsimlanadi. Bu, odatda, anker sterjeni va asos materiali o'rtasidagi yopishish (adjeziya) orqali amalga oshadi. Kimyoviy ankerlar bu turdagi ankerlashning yorqin misolidir. Garchi kimyoviy ankerlar ko'pincha tuynukning butun uzunligi bo'ylab to'liq mahkamlash uchun ishlatilsa-da, ba'zi hollarda (masalan, cheklangan chuqurlikda yoki qisman to'ldirilganda) uzaytirilgan ankerlash rejimida ishlaydi. Uzaytirilgan ankerlashda asosiy mahkamlash mexanizmi anker sterjeni va asos materiali o'rtasidagi adjeziya va ishqalanishning kombinatsiyasiga asoslanadi. Ankerga tushgan cho'zilish kuchi (yoki boshqa turdagi yuklanish) ankerning uzunligi bo'ylab, asosan, bog'lanish kuchlari orqali asosga uzatiladi [4].

Ankerning cho'zilishga qarshilik kuchi F_t quyidagicha ifodalanadi:

$$F_t = \int_0 L_e \tau_{(x)} \cdot C_{(x)} d_x, \quad (4)$$

bu yerda: F_t – ankerning tortilishga qarshilik kuchi [N]. $\tau_{(x)}$ – ankerning x nuqtasidagi kontakt yuzasidagi qirqish (shear) kuchlanishi [MPa]. $C_{(x)}$ – anker sterjenining x nuqtasidagi perimetri [mm]. L_e – ankerning samarali ankerlash uzunligi [mm].

Agar $\tau_{(x)}$ ankerning butun uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlangan deb hisoblasak (ideal holat), formula soddalashadi:

$$F_t = \tau_{avg} \cdot A_s, \quad (5)$$

bu yerda: τ_{avg} – o'rtacha bog'lanish mustahkamligi [MPa]. A_s – ankerning asos materiali bilan kontakt yuzasi [mm²].

$$A_s = \pi \cdot d \cdot L_e, \quad (6)$$

bu yerda: d – anker sterjenining diametri.

Real sharoitlarda, $\tau_{(x)}$ doimiy bo'lmaydi. Yuklanish asosan ankerning asosga kirish joyida (ko'pincha tuynukning og'zida) va ma'lum darajada ankerning eng chuqur qismida yuqori bo'ladi. Yuklanishning notekis taqsimlanishi ankerlash uzunligi oshgan sari yanada yaqqol namoyon bo'lishi mumkin, chunki ma'lum bir uzunlikdan keyin qo'shimcha uzunlik yuklanish ko'tarish qobiliyatiga sezilarli hissa qo'shmaydi. Har qanday material va anker diametri uchun kritik ankerlash uzunligi L_{crit} mavjud. Bu uzunlikdan keyin ankerni yanada chuqurlashtirish uning cho'zilish kuchini sezilarli darajada oshirmaydi, chunki ankerning o'z materiali yoki asosning atrofdagi qismi cho'zilishga berilib ketadi (oqish yoki sinish). Kritik ankerlash uzunligini baholashda, anker sterjenining oqish chegarasi σ_y (yoki mustahkamlik chegarasi σ_{ult}) va bog'lanish mustahkamligi τ_b hisobga olinadi:

$$\frac{\pi d^2}{4} \sigma_y = \pi d \cdot L_{crit} \cdot \tau_b \quad (7)$$

bu yerdan L_{crit} uchun:
$$L_{crit} = \frac{d \sigma_y}{4 \tau_b}$$

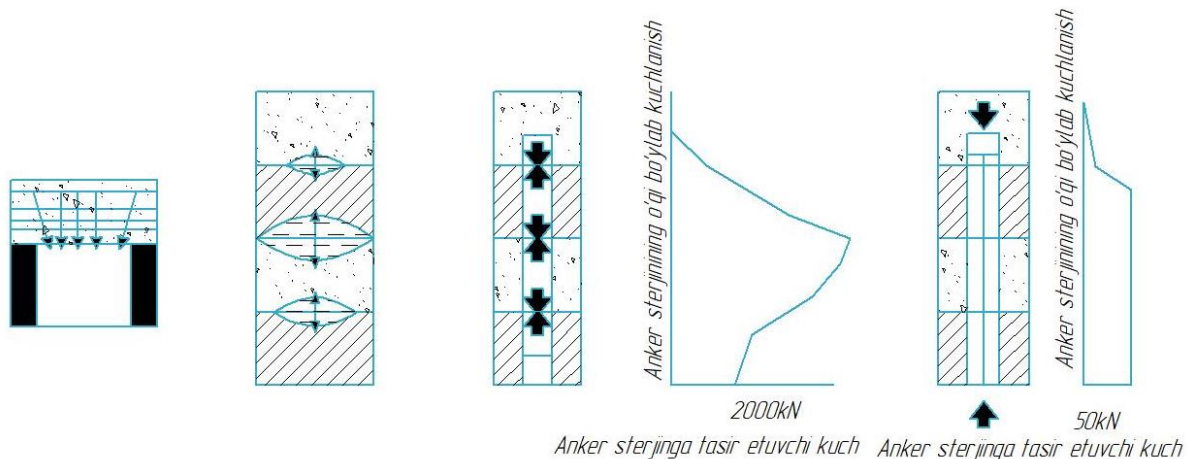
Bu formula, ideal sharoitda, anker sterjenining to'liq mustahkamligini ta'minlash uchun zarur bo'lgan minimal ankerlash uzunligini ko'rsatadi. Agar ankerlash uzunligi $L_e < L_{crit}$ bo'lsa, ankerning tortilishga qarshiligi asosan bog'lanish mustahkamligi bilan cheklanadi. Agar $L_e > L_{crit}$ bo'lsa, ankerning tortilishga qarshiligi uning o'z materialining mustahkamligi bilan cheklanadi.

Afzalliklari: Yuklanishning taqsimlanishi ankerning uzunligi bo'ylab taqsimlanadi, bu

asosdagi mahalliy zo‘riqlashlarni kamaytiradi va yorilish xavfini pasaytiradi.

Turli materiallarga moslashuvchanlik: G‘ovakli yoki nostandart asos materiallarida samaraliroq, chunki unda faqat bir nuqtaga emas, balki kattaroq yuzaga tayaniladi.

Dinamik yuklanishlarga chidamlilik: Yuklanishning kengroq maydonda taqsimlanishi dinamik va tebranish yuklanmalariga chidamlilikni oshiradi. Uzaytirilgan ankerlash, ayniqsa, kimyoviy ankerlar yordamida amalga oshiriladi. Bu, ayniqsa, qirqish kuchlanishlari yuqori bo‘lgan yoki asos materialining sifati bir xil bo‘lmagan hollarda muhimdir. 1-rasmda uch qismli ankerlash va butun uzunlik bo‘ylab to‘liq mahkamlash bilan ankerlash o‘rtasidagi prinsipial farq ko‘rsatilgan.



1-rasm. Nuqtali anker va butun uzunlik bo‘ylab mahkamlangan ankerning ishlashdagi farqi.

1-rasmda ankerlashning ikki asosiy turi – uch qismli ankerlash (mexanik kengayuvchi anker) va butun uzunlik bo‘ylab to‘liq mahkamlash (kimyoviy anker) uchun anker uzunligi bo‘ylab o‘q kuchining taqsimlanishi vizual tarzda tasvirlangan. Rasmning chap qismida uch qismli ankerlash sxemalari va undagi kuchlanish taqsimoti ko‘rsatilgan. Birinchi sxema (Eng chapda): Bu ankerning asosga (masalan, betonga) kiritilgan holatini aks ettiradi. Ankerning pastki qismida kengaytiruvchi elementlar mavjud bo‘lib, ular anker tortilganda asos devorlariga radiatsion bosim (strelkalar bilan ko‘rsatilgan) hosil qiladi. Ikkinchi sxema (Ikkinchi chapdan): Uch qismli anker tortilganda, asos materialida yuzaga keladigan kuchlanish maydonlarini ko‘rsatadi. Kengaytiruvchi qismda asosga markazdan chetga yo‘naltirilgan kuchlanishlar (ellipslar bilan ifodalangan) yuzaga keladi. Bu kuchlanishlar asosning yorilishiga olib kelishi mumkin, ayniqsa asos materiali nozik bo‘lsa yoki anker tuynukning chetiga yaqin joylashgan bo‘lsa. Bu holatda asos materialida yorilish chiziqlari paydo bo‘lish ehtimoli yuqori. Uchinchi sxema (Uchinchi chapdan): Anker sterjenidagi o‘q kuchining taqsimlanishini grafik tarzda ko‘rsatadi. Ko‘rinib turibdiki, ankerning o‘q kuchi (aksial kuchlanish) asosan uning mahkamlangan nuqtasida (kengayuvchi qismda) to‘planadi. Masalan, grafikda 2000 kN deb ko‘rsatilgan maksimal kuchlanish aynan ankerning tortilish nuqtasida konsentratsiyalanadi. Ankerning yuqori qismida esa kuchlanish juda past yoki nolga teng. Bu shuni anglatadiki, bu turdagi ankerlashda asos materialining tortilishga qarshilik kuchi asosan ankerning oxirgi qismidagi ishqalanish va qirqish mustahkamligi hisobiga ta‘minlanadi [5].

Butun uzunlik bo‘ylab to‘liq mahkamlash (o‘ng tomondagi sxemalar): rasmning o‘ng qismida butun uzunlik bo‘ylab to‘liq mahkamlash (kimyoviy anker) sxemalari va undagi kuchlanish taqsimoti aks ettirilgan. To‘rtinchi sxema (birinchi o‘ngdan): Bu kimyoviy ankerning asosga o‘rnatilgan holatini tasvirlaydi. Anker sterjeni butun uzunligi bo‘ylab maxsus mahkamlovchi tarkib (smola) bilan skvajena ichida mahkamlangan. Mahkamlovchi tarkib anker sterjeni va asos materiali o‘rtasidagi bo‘shliqni to‘liq to‘ldirib, monolit birikma hosil qiladi. Beshinchi sxema (oxirgi o‘ngda): Butun uzunlik bo‘ylab ankerlangan sterjendagi o‘q kuchining taqsimlanishini ko‘rsatadi. Bu holatda, anker sterjenidagi aksial kuchlanish ankerning butun mahkamlash uzunligi bo‘ylab nisbatan bir tekisda taqsimlangan (masalan, grafikda 50 kN deb ko‘rsatilgan). Bundan tashqari, kuchlanishning taqsimlanish egri chizig‘i tekis, bu esa yuklanishning asosga sekin-asta, bir maromda uzatilishini anglatadi [6].

Qiyosiy Tahlil

1-jadval

Xususiyatlar	Uch qismli ankerlash (Mexanik)	Butun uzunlik bo'ylab to'liq mahkamlash (Kimyoviy)
Mahkamlash prinsipi	Ishqalanish va mexanik kengayish, friksiya va o'zini tirash	Kimyoviy yopishish (adageziya)
Yuklanish taqsimlanishi	Mahalliy, ankerning oxirgi qismida	Butun ankerlash uzunligi bo'ylab tekis
Asosga ta'siri	Zo'riqish beradi, yorilish xavfi bor	Zo'riqish bermaydi, yorilish xavfi yo'q
Ko'tarish qobiliyati	O'rtacha, cheklangan	Yuqori
Asos materiallari	Zich va yuqori mustahkamlikka ega	Keng doiradagi materiallar, shu jumladan g'ovakli
Dinamik yuklanish	Past chidamlilik	Yuqori chidamlilik
O'rnatish vaqti	Tez	Qotish vaqti talab etiladi
Qo'llanish sohasi	O'rtacha yuklangan konstruksiyalar, tez montaj	Og'ir va dinamik yuklangan konstruksiyalar, murakkab asoslar
Namlikka chidamlilik	Yuqori	Yuqori (maxsus turlari)
Narxi	Arzonroq	Qimmatroq

Farqlarni tahlil qilish: Uch qismli ankerli ankerlash uchun ankerning barcha qismlaridagi kuchlanish va deformatsiya bir xil bo'ladi. Ankerlash zonasi ichida tog' massivining istalgan joyda ajralishi ankerning butun uzunligi bo'ylab bir tekis taqsimlanadi, natijada ankerdagi kuch tog' jinsining deformatsiyasi va ajralishiga sezgir bo'lmaydi va mustahkamlash qattiqligi past bo'ladi. Butun uzunlik bo'ylab ankerlash uchun bunday taqsimlanish mumkin emas, bu esa anker uzunligi bo'ylab kuchlanish va deformatsiyaning o'ta notekis taqsimlanishiga olib keladi. Katta ajralish va sirg'alish zonalaridagi ankerdagi kuch juda katta bo'ladi va ankerdagi kuch tog' jinsining deformatsiyasi va ajralishiga juda sezgir bo'ladi, bu esa tog' jinsining ajralishi va sirg'alishini o'z vaqtida bostirishga imkon beradi va yuqori mustahkamlash qattiqligini ta'minlaydi. Uch qismli ankerlar kuchlanishlarni bir tekis taqsimlash orqali past qattiqlikni namoyon etsa, butun uzunlik bo'ylab ankerlar notekis taqsimlanish va yuqori sezgirlik hisobiga tog' jinsi deformatsiyalarini o'z vaqtida bostirish va yuqori mustahkamlash qattiqligini ta'minlaydi. Ankerlash tizimini tanlashda, tog' jinsining geologik va geomexanik xususiyatlari, kutilayotgan deformatsiya darajasi va loyihaning umumiy talablari hisobga olinishi lozim [7].

Xulosa qilib aytganda, uch qismli ankerlash va butun uzunlik bo'ylab to'liq mahkamlash har biri o'ziga xos afzallik va kamchiliklarga ega bo'lib, ularni tanlash konkret loyihaning texnik talablari, asos materialining xususiyatlari, kutilayotgan yuklanish xarakteri va iqtisodiy jihatlar asosida amalga oshirilishi kerak. Uch qismli ankerlash tezkor va arzonroq yechim bo'lib, o'rtacha yuklangan konstruksiyalar uchun mos keladi. Aksincha, butun uzunlik bo'ylab to'liq mahkamlash (kimyoviy anker) yuqoriroq mahkamlash ishonchliligini, kengroq qo'llanish sohasini va og'ir hamda dinamik yuklanmalarga chidamlilikni ta'minlaydi, lekin bunga ko'proq vaqt va mablag' talab etiladi. Qaysi usulni tanlash kerakligi, asos materialining xususiyatlari, kutilayotgan yuklanish turi va montaj sharoitlariga bog'liq.

Adabiyotlar

- [1]. Сидоренко А.А., Апарин А.Г., Дмитриев П.Н. Совершенствование методики расчета параметров анкерной крепи выработок угольных шахт в зонах влияния сближенных угольных пластов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. (2022). 3: 82–94 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-82-94.
- [2]. Suchowerska Iwanec A.M., Carter J. P., Hambleton J. P. Geomechanics of subsidence above single and multi-seam coal mining. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. (2016). 8 (3): pp. 304–313. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.11.007>

- [3]. Жураев Д. Д. У. и др. Исследование динамики эффективной конструкции сепаратора для разделения рушанки хлопковых семян //Universum: технические науки. – 2024. – Т. 2. – №. 1 (118). – С. 35-42
- [4]. Sui W., Hang Y., Ma L., Wu Z., Zhou Y., Long G., Wei L. Interactions of overburden failure zones due to multiple-seam mining using longwall caving. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. (2015). 74: 1019–1035. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0674-9>
- [5]. Juraev D. et al. Determination of the angle and speed of interaction of cotton seed rush with the multifaceted screen drum of the separator //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 548. – С. 04005
- [6]. Muminov R.O., Ruzibaev A.N., Juraev N.N., Ravshanov J.R., Kuziev D.A. Development of measures to enhance the rotation and feed mechanism of a drill rig. ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • ugol' – russian Coal Journal, (2024). № 1, pp. 94-99 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>
- [7]. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса. // Записки Горного института Горный журнал. (2017). 225: No 92. <https://doi.org/10.18454/pmi.2017.3.292>.

UO‘K 532.5

EKSPLUATATSIYADAGI VA REKONSTRUKSIYA QILINGAN PO‘LAT QUVURNING LABORATORIYA SHAROITIDA TADQIQOTI

A.M. Arifjanov¹, G.J. Orazimbetova², D.Y. Atakulov¹, S.F. Parpiyev²

„¹Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muxandislari instituti“

Milliy tadqiqot universiteti, www.obi-life@mail.ru, d.atakulov@tiame.uz

*¹Andijon davlat texnika instituti, gulistanorazimbetova0430@gmail.com, parpiyevs@astiedu.uz
(Qabul qilindi 18.08.2025 y.)*

Annotatsiya. Ushbu ilmiy tadqiqot ishida ma‘lum vaqt davomida foydalanilgan hamda rekonstruksiya qilingan po‘lat quvurning absolyut g‘adir-budirlikni raqamli indikator yordamida aniqlangan. Olingan natijalardan foydalanib quvur gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlashda foydalanish mumkin.

Kalit so‘zlar: absolyut g‘adir-budirlik, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti, po‘lat quvur, Reynolds soni.

Аннотация. В данном научном исследовании с помощью цифрового индикатора определена абсолютная шероховатость стальной трубы, которая использовалась в течение определённого времени и была реконструирована. Полученные результаты могут быть использованы при определении гидравлического коэффициента трения трубы.

Ключевые слова: абсолютная шероховатость, гидравлический коэффициент трения, стальная труба, число Рейнольдса.

Abstract. In this scientific study, the absolute roughness of a steel pipe, which had been used for a certain period of time and then reconstructed, was determined using a digital indicator. The obtained results can be applied in determining the hydraulic friction coefficient of the pipe.

Keywords: absolute roughness, hydraulic friction coefficient, steel pipe, Reynolds number.

Keywords: absolute roughness, hydraulic friction coefficient, steel pipe, Reynolds number.

Kirish. Jahon bo‘yicha iqtisodiy o‘shish sur‘atlari shaharlar uchun suv ta‘minoti va oqova tizimlariga bo‘lgan ehtiyojni oshirmoqda. Bu esa o‘z navbatida, korroziyaga bardoshli va silliq yuzali yangi quvur turlarining – masalan, shisha tolali plastmassa quvurlar yoki zamonaviy qoplamali cho‘yan quvurlar – ishlab chiqarilishini tezlashtirishni talab etadi. Bu turdagi quvurlar esa gidravlik samaradorlik va uzoq muddatli xizmat ko‘rsatish talablariga javob beradi.

Bosim yo‘qotilishini aniqlash va quvur tarmoqlarini loyihalashda gidravlik ishqalanish koeffitsienti muhim hisoblanadi. Bu parametr irrigatsiya va qurilish muhandisligi sohalarida keng qo‘llaniladi. Yangi materiallar asosida tayyorlangan quvurlar uchun oqimga bo‘lgan qarshilik bo‘yicha to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchovlar yetarli emas. Shu sababli, bunday quvurlarni gidravlik jihatdan baholashda asosiy qadam – quvur devorini g‘adir-budirlikni aniqlashdan boshlanadi. Bu ko‘rsatkich ko‘pincha ekvivalent qum zarrachasi diametri sifatida ifodalanadi.

Ishqalanish yoki g‘adir-budirlikni baholash uchun bir qancha usullar mavjud. Colebrook, Nikuradse, Moody kabi tadqiqotchilar tomonidan taklif etilgan formulalar g‘adir-budirlik ta‘sirini hisobga olishda keng ishlatiladi. Colebrook tenglamasi – silliq, g‘adir-budir va oraliq oqim zonalariga mos bo‘lgan universal model bo‘lib, aralash uzunlik nazariyasi va logarifmik tezlik

profili asosida ishlab chiqilgan. Bu tenglama to'g'ridan-to'g'ri ishqalanish koeffitsientini emas, balki uni iteratsiya yoki taxminiy hisoblash orqali aniqlash imkonini beradi.

Quvur yuzasining g'adir-budirligi – ya'ni k qiymatini aniqlashning ikkita asosiy yo'li mavjud:

1. Laboratoriya tajribalari asosida: turli quvurlar bo'yicha oqim sarfi va bosim yo'qotilishi o'lchanib, ular orqali Reynolds soni va ishqalanish koeffitsienti aniqlanadi. Keyin esa Colebrook formulasi orqali k baholanadi. Biroq, katta diametrli va silliq yuzali quvurlar bilan tajriba o'tkazishda, oqim ko'pincha to'liq turbulent rejimga yetmaydi. Bu esa hisob-kitoblarga aniqlik kiritishni qiyinlashtiradi.

2. Sirt strukturasini fizik o'lchash orqali: atom kuch mikroskopi, lazerli skanerlar yoki sirt profilometrlar yordamida qo'pollik ko'rsatkichlari (masalan, Ra, Rq, Rz) aniqlanadi. Bu qiymatlar empirik formulalar asosida ekvivalent qum zarrachasi qo'polligiga aylantiriladi. Ayrim tadqiqotchilar, masalan, Farshad va Pesacreta, quvur yuzasining eng baland va eng past nuqtalari orasidagi farq (Rzd) eng ishonchli ko'rsatkich bo'lishi mumkinligini ta'kidlaydi.

Mualliflar avvalroq uch xil turdagi qoplamali cho'yan quvurlar bo'yicha laboratoriya tajribalari o'tkazgan. Sement qorishmasi, epoksi va poliuretan bilan qoplangan quvurlar uchun Colebrook tenglamasi orqali olingan k qiymatlari quyidagicha bo'lgan:

- Sement qoplamali quvurlar: 0.016 – 0.036 mm
- Epoksi bilan qoplangan quvurlar: 0.008 – 0.037 mm
- Poliuretan bilan qoplangan quvurlar: 0.003 – 0.011 mm

Nazariy jihatdan, biror quvur turi uchun k qiymati vaqt o'tishi mobaynida o'zgarmas bo'lishi kerak. Biroq amaliy tajribalarda ushbu qiymat Reynolds soniga qarab o'zgaradi. Bu esa o'lchov ma'lumotlaridagi noaniqliklar bilan izohlanadi.

Metodlar. Laboratoriya tadqiqotlari “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti laboratoriyasida olib borildi. Tadqiqotda 30 yil mobaynida ekspluatatsiyada bo'lgan po'lat quvurdan foydalanildi. Po'lat quvurning uzunligi 2 m, qalinligi 3-4 mm, ichki diametri 165 mm tashkil etadi. GOST 8732-78 bo'yicha tashqi diametr 180 mm, biroq quvur yillar mobaynida korroziyaga uchraganligi sababli uning ichki diametri biroz kattalashgan.

Tadqiqotni olib borish uchun quvurni gorizontall teng ikki qismga bo'lindi.

Birinchi qismi (a) tabiiy holatda, ikkinchi holatda (b) quvur ichiga sement-qum qoplamasi yordamida rekonstruksiya qilinganda g'adir-budirligi o'lchandi.

G'adir-budirligini o'lchash uchun dastlab TIME 3221 profilometridan foydalanildi, biroq uning o'lchash diapazoni 400 mkm gacha bo'lganligi sababli urinish muvaffaqiyatsizlikka uchradi. Shu sababli uning g'adir-budirligini soat tipidagi raqamli ИЧ-10 indikator yordamida aniqlandi.

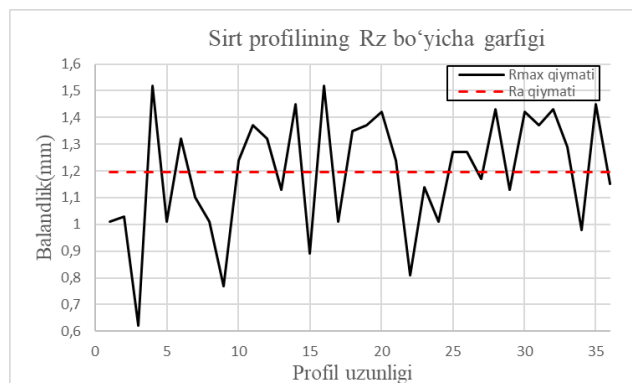
Buning uchun indikator ignasiga qo'shimcha o'zgartirishlar kiritildi.

Quvurning har bir qismda oraliq masofasi 20 sm bo'lgan 4 kesimda g'adir-budirlik qiymatlari olindi. Har bir kesimda 40 tadan kam bo'lmagan o'lchovlar amalga oshirildi. Barcha Ra qiymati hamda unga bog'liq ravishda Rz qiymatlari aniqlandi.

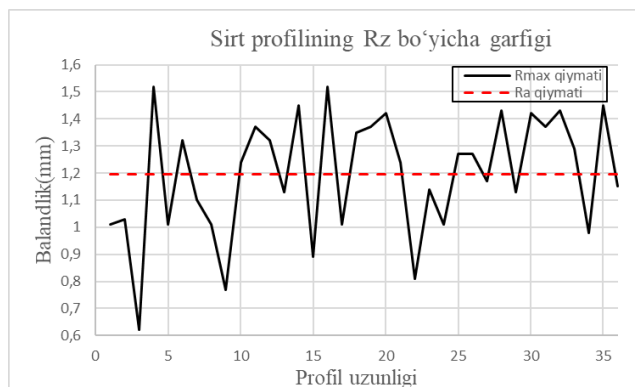
Natijalar. Oddiy quvurning Rz qiymatlari yordamida har bir kesim g'adir-budirlik profillari qurildi.



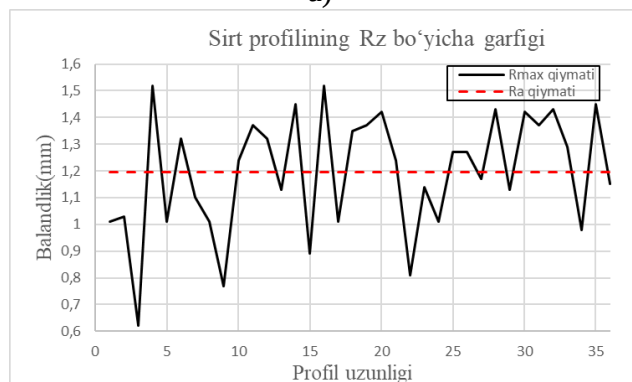
a) 1-rasm. Oddiy (a) va rekonstruksiya qilingan (b) quvurning umumiy ko'rinishi.



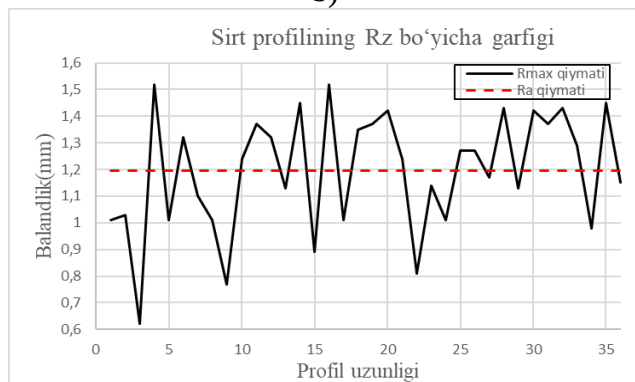
a)



b)

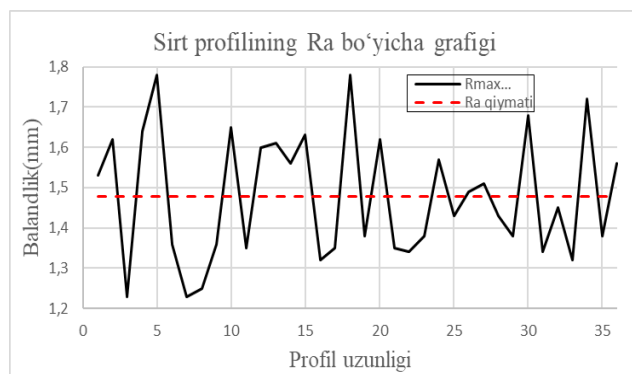


c)

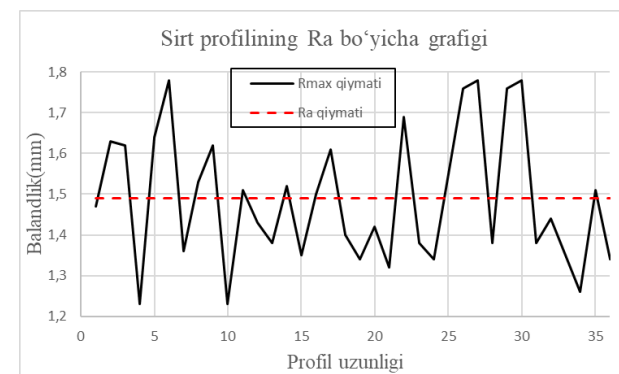


d)

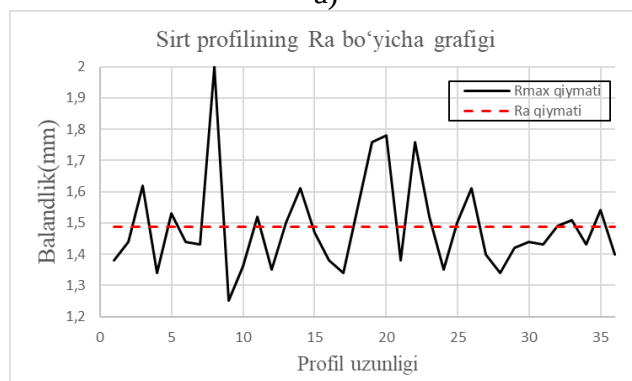
2-rasm.Ekspluatatsiya qilingan quvurning g'adir-budirlik profillari.a) 1 - kesim b)2 – kesim
c) 3 – kesim d) 4 – kesim



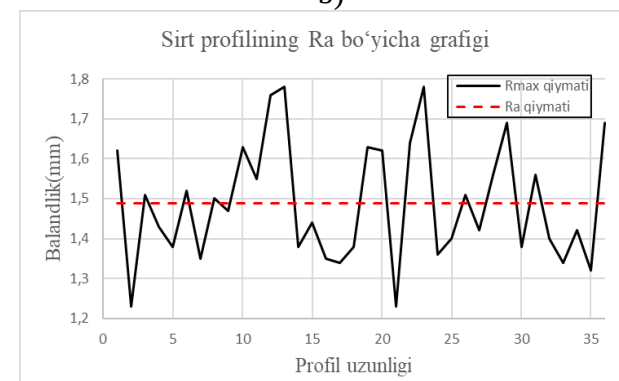
a)



b)



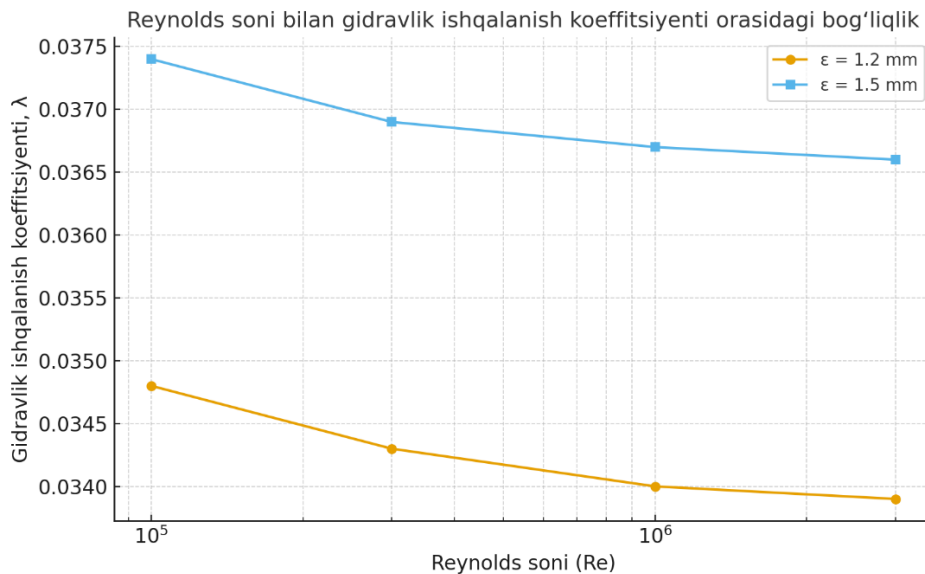
c)



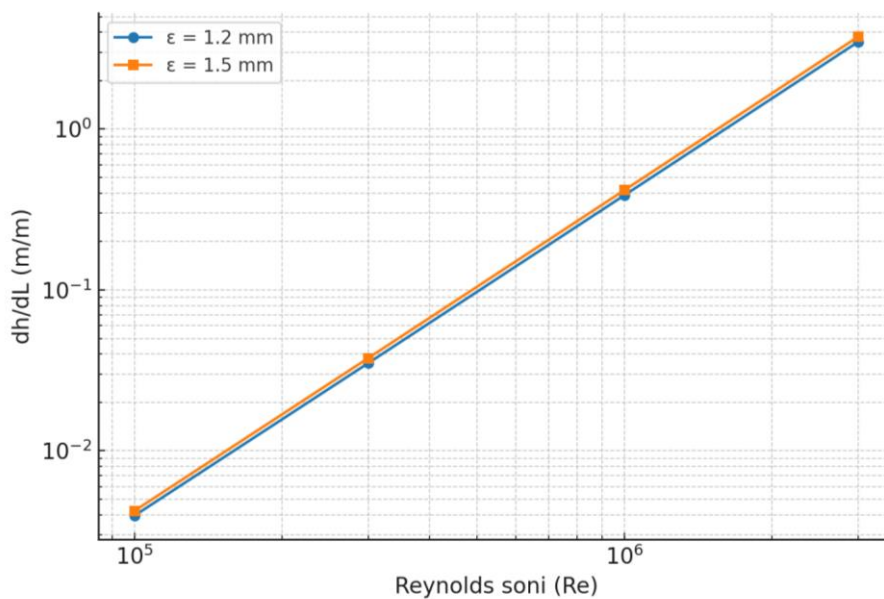
d)

3-rasm.Rekonstruksiya qilingan quvurning g'adir-budirlik profillari.a) 1 - kesim b)2 – kesim
c) 3 – kesim d) 4 – kesim

Hisoblash natijalari shuni ko'rsatdiki, torkretlangan quvurdagi nisbiy g'adir-budurlik ($\varepsilon/D = 0,0091$) oddiy quvurdagidan ($\varepsilon/D = 0,0073$) biroz katta. Biroq, oqimning turli Reynolds sonlari uchun hisoblangan napor yo'qolishi qiymatlarida farq 7–8% dan oshmadi. Demak, gidravlik samaradorlik jihatidan ikkala quvur deyarli bir xil bo'lib qolmoqda.



4-rasm. Gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini Reynolds soniga bog'liqlik grafigi.



5-rasm. Gidravlik nishablikni Reynolds soniga bog'liqlik grafigi.

Muhokama. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, g'adir-budurlik 1,2 mm dan 1,5 mm gacha ortishi 165 mm diametrli quvurlarda gidravlik yo'qotishlarga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Napor yo'qolishidagi 7–8% farq amaliyotda qo'llaniladigan zaxira koeffitsientlari doirasida qoladi. Shunday qilib, torkretlash quvurni mustahkamlash va xizmat muddatini uzaytirishda samarali usul bo'lib, gidravlik samaradorlikni deyarli o'zgartirmaydi

Xulosa. O'tkazilgan tadqiqot asosida aytish mumkinki, rekonstruksiya qilingan quvur gidravlik samaradorlik jihatidan oddiy quvurdan deyarli farq qilmaydi. Shu bois, torkretlash orqali rekonstruksiya qilingan quvurlar ham suv uzatishda yetarli gidravlik barqarorlikni ta'minlay oladi va amaliyotda qo'llash uchun samarali hisoblanadi.

Adabiyotlar

- [1]. Arifjanov A. et al. Hydrotransport of river sediments in hydroelevators //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – T. 869. – №. 7. – C. 072003.
- [2]. Parpiyev S. F. Quvur turlari, tasniflanishi va asosiy xarakteristikallari //Educational Research in Universal Sciences. – 2023. – T. 2. – №. 8. – C. 179-188.
- [3]. Parpiyev, S. F. (2023). Uzun quvurlarni gidravlik hisoblash. Educational Research in Universal Sciences, 2(3), 231-237.
- [4]. Parpiyev, S. F. (2023). Magistral suv quvurlari tizimini hisoblashga doir ilmiy ishlar tahlili. Educational Research in Universal Sciences, 2(3), 376-382.

UO‘K 677.051.152.6

**YEYILGAN KOLOSNIKLARNI MAXSUS ELEKTRODLAR YORDAMIDA TIKLASH
SAMARADORLIGINING EKSPERIMENTAL TADQIQI**

X.X. Xashimov, J.Sh. Ruziboyev

Andijon davlat texnika instituti,
Xoshimov1989@bk.ru, javohirruziboyev05215@gmail.ru
(Qabul qilindi 20.10.2025 y.)

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda paxta tolasini chigitdan ajratuvchi arrali jin mashinalari kolosniklarining ishchi yuzalarida turli omillar ta'sirida yuzaga kelgan yeyilish muammosini yeyilishga chidamli qoplama qoplash orqali bartaraf etish usullari o'rganilgan.

Kalit so'zlar: Jin kolosniklari, payvandlab qoplash, elektrodlar, yeyilish miqdori, yeyilishga sinash.

Аннотация. В данной работе исследованы методы устранения износа рабочих поверхностей волокуш пильных джинов, отделяющих хлопковое волокно от семян, под воздействием различных факторов путем нанесения износостойкого покрытия.

Ключевые слова: джин колосники, наплавочная сварка, электроды, скорость износа, испытания на износ.

Abstract. This paper examines methods for eliminating wear on the working surfaces of saw gins separating cotton fiber from seeds under the influence of various factors by applying a wear-resistant coating.

Keywords: Jin ribs, welding, electrodes, wear rate, wearing testing.

Kirish.

Paxtani qayta ishlash sanoatida tolani chigitdan ajratish (jinlash) eng muhim texnologik bosqichlardan biri hisoblanadi. Bu jarayon paxta xomashyosidan tayyor mahsulot olishning dastlabki bosqichi bo'lib, uning sifati va samaradorligi keyingi barcha ishlov berish jarayonlarining natijasiga bevosita ta'sir ko'rsatadi [1]. Jinlash jarayonining to'g'ri tashkil etilishi nafaqat tola sifati, balki umumiy ishlab chiqarish samaradorligini ham belgilaydi.

Amaliyotda tolani chigitdan ajratish asosan ikkita asosiy usul - valikli va arrali jinlash qurilmalari yordamida amalga oshiriladi [2]. Valikli jinlash an'anaviy usul bo'lib, unda tolalar parallel valiklar orasidan o'tkazib ajratiladi. Biroq, zamonaviy korxonalarda arrali jinlash usuli tobora keng qo'llanilmogda, chunki u valikli usulga nisbatan bir qator afzalliklarga ega.

Arrali jinlash usulining asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

- Yuqori ish unumdorligi va tezkorlik
- Tola ajratish sifati va tozalik darajasining yuqoriligi
- Mexanik jarayonlarni avtomatlashtirish imkoniyati
- Kamroq energiya sarfi
- Uzoq xizmat muddati

Ayniqsa, zamonaviy yuqori unumli paxta navlarini qayta ishlashda arrali jinlash usuli o'zining samaradorligi va ishonchliligi bilan ajralib turadi. Shu sababli, ko'plab zamonaviy korxonalar ushbu usulni afzal ko'rmoqda va keng qo'llamoqda.

Arrali jinlash usuli paxta tolasini chigitdan ajratishning texnologik jihatdan ilg'or usuli hisoblanadi. Ushbu usulning ishlash printsiplari mashinaning ikkita asosiy ishchi qismi - arrali silindr

va kolosniklarning o'zaro ta'siriga asoslangan. Maxsus tayanch buruslariga o'rnatilgan bu qismlar panjara tizimini hosil qiladi, ularning o'rtasida ma'lum o'lchamdagi tirqishlar mavjud. Aynan shu panjara tizimi orqali paxta massasi o'tkazilganda, ikki ishchi qismning bir-biri bilan texnologik muloqoti natijasida tola chigitdan samarali ajratib olinadi [3].

Arrali jinlashning asosiy afzalliklaridan biri shundaki, yaratilgan panjara tuzilmasi chigitlarning orasidan o'tishiga yo'l qo'ymaydi. Buning natijasida faqatgina tola qismi ajratib olinadi, chigit postlog'i esa qayta ishlanmaydi. Bu esa tolaning sifati va tozalik darajasini sezilarli darajada oshiradi.

Kolosnik - bu arrali jinlash mashinasining kalit qismi bo'lib, murakkab geometrik shaklga ega. U odatda Cч 15-35 markali cho'yandan tayyorlanadi va yuqori aniqlik bilan ishlab chiqariladi [4]. Kolosnikning asosiy vazifasi, maxsus o'rnatilgan holda ma'lum kattalikdagi tirqishlar hosil qilish va ushbu tirqishlar orqali o'tayotgan chigitlarni ushlab turishdan iborat. Shu orqali tola qismi erkin ajralib chiqadi, chigit esa qayta ishlovga ulanmaydi.

Kolosniklarning murakkab shakli va aniq o'lchamlari ularning samarali ishlashini ta'minlaydi. Har bir kolosnik maxsus hisob-kitob asosida loyihalangan bo'lib, u nafaqat chigitlarni ushlab turishni, balki tolaning uzilmasdan o'tishini ham ta'minlaydi. Bu esa tolaning mexanik shikastlanishining oldini oladi va mahsulot sifatini saqlaydi.

Chigitdan tolani ajratish jarayonida arralarning barqaror ishlashi va sifatli mahsulot olish muhim ahamiyatga ega. Biroq, bir qator texnologik omillar ta'sirida arralarning asosiy ishchi qismi bo'lgan kolosniklarning ishchi yuzasi yeyiladi, bu esa ularning samaradorligini keskin pasaytiradi [5].

Ushbu yeyilishning asosiy sabablari va ularning mexanizmi quyidagicha tavsiflanadi:

Tolaning ishqalanish ta'siri: Chigit tolalari o'ziga xos qattqlikka va xususiyatlarga ega. Jarayon davomida ularning kolosniklar metall yuzasi bilan doimiy ishqalanishi mikroskopik darajada materialning uzilishiga olib keladi, bu esa asta-sekin yuzaning yeyilishiga sabab bo'ladi.

Arra diskrlarining noto'g'ri joylashishi: Agar arra diskrlari o'zaro aylanish o'qi bo'yicha qattiy ya'ni, tirqish markazida joylashmasa, tollaning arra diskiga ta'sir qiluvchi kuch ikki tarafidan teng taqsimlanmaydi. Natijada ko'proq ta'sir ko'rsatayotgan tarafdin kolosnikga ta'sir kuchi ham ortib ketadi va yeyilish jadalligi ortib ketadi [6].

Arra diskrlarining tebranma harakati: Paxta tolasining namligi va ifloslik darajasining ortishi natijasida arra diskrlarining tebranishi vujudga keladi hamda kolosnikga tegib o'tadi. Bu tegib o'tish jarayonida kolosniklar ma'lum miqdorda yeyiladi.

Yeyilish natijasida kolosniklar panjarasi orasidagi tirqish kengayadi. Bu esa, tolalar bilan birgalikda, chigit postlog'ining ham o'tib ketishiga imkon beradi. Chigit postlog'ining aralashuvi natijasida tola ifloslanadi, bu esa uning sifatining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Paxta tozalash korxonalarida olib borilgan amaliy kuzatishlar va monitoringlar shuni ko'rsatadiki, arrali jin mashinalarida qo'llaniladigan kolosniklarning o'rtacha ishlash muddati ancha qisqa bo'lib, atigi 3-4 oyni tashkil etadi [7]. Kolosniklarning ishchi yuzasi 1,0 mm dan ortiq miqdorda yeyilganda, ular yaroqsiz deb topiladi va almashtirilishi talab qilinadi. Bu yeyilgan miqdor, ko'rinadagidan ahamiyatsiz bo'lsa-da, aslida kolosnikning umumiy hajmining 2% gacha qismiga to'g'ri keladi.

Har 3-4 oyda kolosniklarni almashtirish, ulardan foydalanish muddati to'liq tugamagan bo'lsada, juda ko'p miqdorda metallni maishiy chiqindiga aylantiradi. Bu nafaqat materiallarning behuda sarf bo'lishi, balki barqaror ishlab chiqarish tamoyillariga ham ziddir. Doimiy almashtirish jarayoni yangi qismlarni sotib olish, zaxira qismlarini saqlash, texnik xizmat ko'rsatish va o'rnatish uchun ishchilarning ish vaqtini talab qiladi. Bu barcha omillar korxonaning umumiy operatsion xarajatlarini sezilarli darajada oshiradi. Almashtirish operatsiyasi mashina ishini to'xtatishni talab qiladi, bu esa ishlab chiqarish jarayonida uzilishlar yuzaga kelishiga va shu bilan birga korxona daromadining pasayishiga olib keladi.



1-rasm. Arrali jin kolosniklari.

Materiallar va uslublar.

Yuqorida keltirilgan kolosniklarni yeyilish muammosiga samarali yechim sifatida, yeyilgan kolosniklarni oddiygina almashtirish o'rniga, ularni maxsus yeyilishga chimalilik, qatqililik kabi mexanik xossalari yuqori bo'lgan elektrodlar yordamida qayta tiklab, uning ish resursini oshirish taklif etiladi. Taklif etilgan qoplash usulining samaradorligini eksperimental tarzda tekshirish maqsadida tajribalar o'tkazildi. Tajriba ob'ekti sifatida paxta tozalash korxonasida xizmat muddati tugagan va ishchi yuzasi 1,0 mm dan ortiq miqdorda yeyilgan bir qator kolosniklar tanlab olindi.

Yeyilishga qarshi himoya qatlami hosil qilish uchun tanlangan kolosniklarning ishchi yuzalariga to'rtta xil turdagi elektrodlardan foydalanib, qo'lda yoy payvandlash usuli yordamida qoplama qoplandi. Tajribada quyidagi elektrod navlari qo'llanildi:

T-590 Elektrod markasi: Asosan yuzalarni qoplash va ta'mirlash uchun mo'ljallangan bo'lib, yuqori darajadagi yeyilishga chidamlilik va abraziv shikastlanishga qarshi mustahkamlik bilan tavsiflanadi.

Z408 Elektrod markasi: Cho'yan qismlarni ta'mirlashda qo'llaniladi, yaxshi ishqalanishga bardoshli va zarba yuklamalariga nisbatan chidamli xususiyatga ega.

CB-08Г2С Elektrod markasi: Uglerodli va past legirlangan po'latlarni payvandlashda keng qo'llaniladigan sim bo'lib, mustahkam va yaxshi payvandlanadigan tikuv hosil qiladi.

УОИИ-13/45 Elektrod markasi: Yuqori sifatli, elektr yoyi ostida barqaror payvandlovchi qoplamaga ega bo'lgan, strukturaviy po'latlar uchun mo'ljallangan himoya gaz muhitida payvandlash elektrodi.

Qoplash jarayonining sifati va qoplamaning yeyilishga chidamliligini ta'minlash maqsadida, barcha namunalar uchun mos payvandlash rejimi tanlab olindi. Payvandlash rejimiga ko'ra payvandlash toki 90–110 A oralig'ida sozlandi. Bu diapazon elektrod va asosiy material orasida barqaror eritma hosil bo'lishi uchun optimal miqdor hisoblanadi.

Yoy kuchlanishi esa 24–28 V tanlandi. Bu kuchlanish yoyning barqarorligini ta'minlaydi va qoplamaning sifatiiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Tok qutbliligi sifatida teskari qutblilik rejimi tanlandi. Bu rejimda elektrod ijobiy, detal esa manfiy qutbga ulanadi. Bu esa issiqlik taqsimotini yaxshilab, asosiy materialning ortiqcha qizib ketishining oldini oladi va chuqurroq eritishni ta'minlaydi.

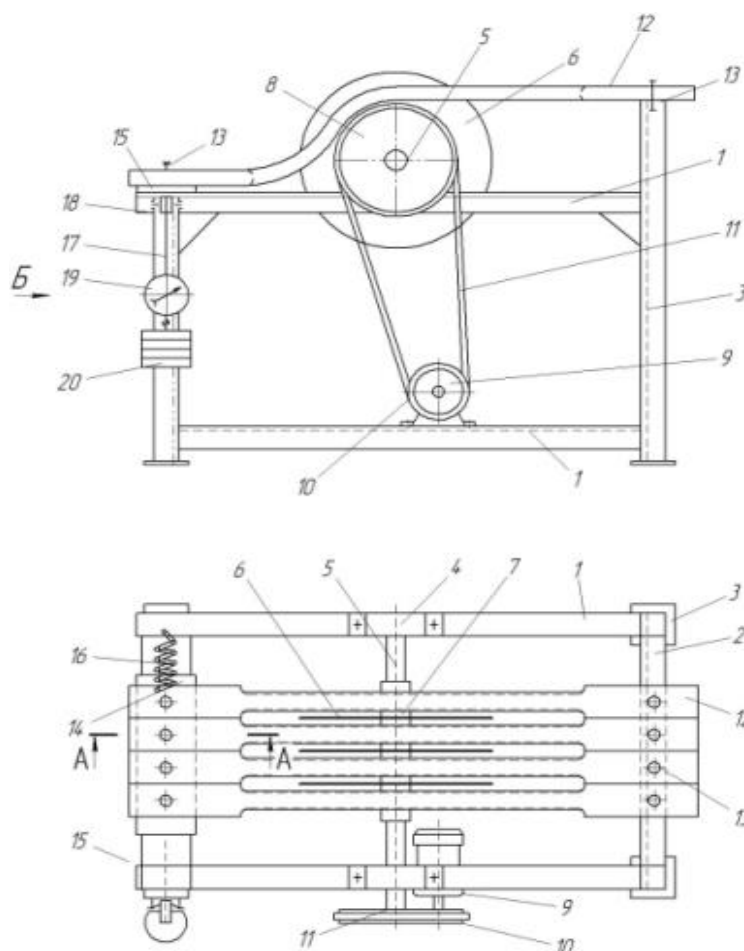
Elektrod diametrini tanlashda ishlov berilayotgan yuzaning o'lchamiga mos ravishda 3–4 mmli elektrodlar qo'llanildi. Qoplangan yuzalarni kamida 90% kontaktga bo'lishini ta'minlash uchun namunalar jilvirlash dastgohida maxsus mexanik ishlov berib tekislandi.



2-rasm. Eritib qoplangan jin kolosniklari.

Qoplash materiallarining yeyilishga chidamliligini qiyosiy baholash uchun barcha namunalar standart sharoitlarda sinovdan o'tkazildi. Sinovlar uchun maxsus qurilma – “Arrali jin kolosniklarni yeyilishga sinash qurilmasi” dan foydalanildi. T-590, Z408, CB-08Г2С va УОИИ-13/45 elektrodleri bilan qoplangan har bir namuna bir xil, qat'iy nazorat qilinadigan rejimda 30 daqiqa davomida sinovdan o'tkazildi. Sinovning asosiy mexanik parametrlari bosim kuchi hamda arraning aylanish tezligi olindi. Yeyilish

intensivligini oshirish va materiallarning chidamlilik chegarasini sinab ko'rish maqsadida bosim kuchi bosqichma-bosqich oshirilib, 5 N, 10 N va 15 N qiymatlarida qo'llanildi. Yeyilish sharoitini yaratish uchun arra diski 730 ayl/min barqaror tezlikda aylantirildi. Ushbu sinov yordamida turli qoplama materiallari qanchalik tezlikda va qay darajada yeyilishga uchrayotgani kuzatildi. Qurilmaning diskini kolosnik yuzasiga ma'lum bir kuch bilan bosib, aylantirish orqali amalda arraga paxta tolasining bosim kuchi tasirida kolosnikka tegish ta'siri simulyatsiya qilindi. Natijalar har bir elektrod turi uchun yeyilishga chidamlilik ko'rsatkichini aniqlash va ularni o'zaro solishtirish imkonini berdi.



3-rasm. Arrali jin kolosniklarini yeyilishga sinash qurilmasining umumiy ko'rinishi. 1-ko'ndalang balka, 2- rigel, 3-ustun, 4-tayanch podshibnik, 5- gorizontaal val, 6- diskli arra, 7-vtulka, 8-shkiv, 9- elektr yuritma, 10-yetaklovchi shkiv, 11-tasma, 12-kolosnik panjarasini, 13-bolt, 14-yo'naltirgich, 15- 16-tortish prujinasi, 17-tortuvchi sim arqon, 18- bloklovchi, 19-dinamometr, 20- pasangi tosh.

Natijalar va muhokamalar.

Sinov muddati tugagach, har bir namuna qurilmadan olindi va ularning yeyilish darajasini miqdoriy baholash uchun chiziqli yeyilish miqdori aniqlandi. Buning uchun har bir sinovdan o'tkazilgan namunaning ishchi yuzasi mikrometr yordamida bir nechta nuqtada o'lchandi.

Eksperimental natijalar statistik ishonchliligini va aniqligini ta'minlash maqsadida har bir turdagi qoplangan namuna uchun tajriba 3 marta takrorlandi. Olingan barcha o'lchovlar qayd etilib, ular asosida har bir namuna turi uchun o'rtacha arifmetik qiymatlar hisoblandi. Ushbu hisoblangan o'rtacha yeyilish qiymatlari keyingi tahlil va qiyosiy ko'rib chiqish uchun asos bo'lib xizmat qiladi va 1-jadvalga tizimli ravishda keltirilgan.

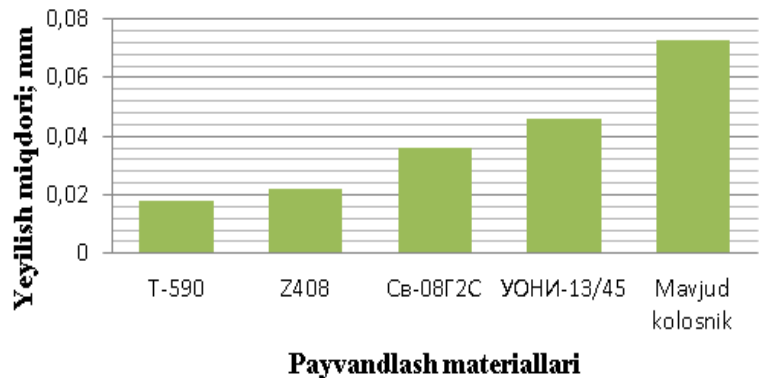
1-jadval.

Sinovdan o'tkazilgan namunalarning o'rtacha yeyilish miqdorlari

№	Payvandlab qoplangan material	Kolosnikni arra diskiga bosuvchi kuch N			O'rtacha yeyilish miqdorlari (mm)
		5	10	15	
	T-590	0.01	0.02	0.025	0.018
	Z408	0.016	0.032	0.04	0.022
	CB-08Г2С	0.02	0.04	0.05	0.036
	УОНИ-13/45	0.026	0.053	0.06	0.046
	Mavjud kolosnik	0.04	0.08	0.1	0.073



4-rasm. Payvandlab qoplangan kolosniklarni syeyilishga sinash jarayoni.



5-rasm. Namunalarning o'rtacha yeyilish miqdori.

Tajriba natijalariga ko'ra, oddiy (qoplamagan) kolosnikning o'rtacha yeyilish darajasi asos qilib olinsa, turli elektrodlar bilan qoplangan namunalarning yeyilishga chidamliligi quyidagicha aniqlandi:

Eng yuqori natija T-590 elektrod bilan qoplangan namunada kuzatildi, bu yerda yeyilish darajasi oddiy kolosnikdagiga nisbatan 4,0 marta kamaygan. Z408 elektrod bilan qoplangan namuna 3,3 marta kam yeyilish ko'rsatkichi bilan ikkinchi o'rinda turadi. Св-08Г2С elektrod yordamida qoplangan namunaning yeyilish darajasi 2,0 martaga, УОНИ-13/45 elektrod bilan qoplangan namunaning yeyilish darajasi esa 1,6 martaga kamayganligi qayd etildi.

Tajriba natijalaridan aniq ko'rinadiki, T-590 markali elektrod yordamida qoplangan kolosniklar boshqa variantlar bilan solishtirganda eng yuqori yeyilishga chidamlilik ko'rsatkichiga erishdi. Bu elektrod bilan qoplangan sirtning yeyilishga bardoshligi sezilarli darajada oshganligini ko'rsatdi.

Ushbu yuqori samaradorlikning asosiy sababi T-590 elektrodning kimyoviy tarkibi bilan izohlanadi. Elektrod tarkibidagi maxsus legirlovchi elementlar payvandlash jarayonida asosiy materialda juda qattiq va yeyilishga chidamli karbid fazalari hosil qiladi. Aynan mikroskopik darajadagi ushbu qattiq karbid zarralari yeyilishni keltirib chiqaruvchi kuchlar ta'siriga asosiy qarshilik ko'rsatadi, bu esa qoplamaning umumiy xizmat muddatini uzaytiradi.

Xulosalar.

1. Tajribalar natijasida ishchi yuzasi yeyilgan jin kolosniklarni qayta tiklash va ularning xizmat muddatini oshirish uchun eng samarali material sifatida T-590 markali elektrod aniqlandi. Ushbu material yuqori yeyilishga chidamlilik ko'rsatgichi bilan ajralib turdi.

2. Ishchi yuzasi yeyilgan kolosniklarni sifatli tiklash uchun optimal payvandlash rejimi (tok, kuchlanish, qutblilik) va muammolarga yechim beruvchi payvandlab qoplash texnologiyasi ishlab chiqildi.

3. Qoplangan namunalarning yeyilishga chidamliligini baholash uchun ishlab chiqarish sharoitini ishonchli aks ettiruvchi maxsus sinov qurilmasi va standart sinov protsedurasidan foydalanildi, bu esa olingan natijalarning qiyosiy va ishonchli bo'lishini ta'minladi.

4. T-590 elektrod bilan qoplangan kolosniklarning yeyilishga chidamliligi oddiy kolosniklarga nisbatan 4 baravar oshganligi isbotlandi. Bu yechim quyidagi sezilarli iqtisodiy afzalliklarni keltirib chiqaradi:

- Kolosniklarni tez-tez almashtirish xarajatlarining qisqarishi.
- Mashinaning ishdan to'xtash vaqtining qisqarishi.
- Ishlab chiqarish quvvatining va mashina unumdorligining oshishi.

Adabiyotlar

- [1]. Xashimov X., Ruziboyev J. Qayta tiklangan kolosniklarning yeyilish ko'rsatkichlarini omillarga bog'liqligini aniqlash//andijon mashinasozlik instituti. – 2023.
- [2]. Narmatov E.A. Arrali jin kolosniklarining resurstejamkor konstruksiyasini ishlab chiqish va parametrlarini hisoblash metodlari// Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi, TTESI. Toshkent, 2020. 11-19 b.
- [3]. Zikriyoev E. "Paxtani dastlabki ishlash" –T.Mehnat. 2002.–114 b.
- [4]. Tillaev M.T. "Paxtani dastlabki ishlash texnologiyasi va jixozlari" O'quv qo'llanma// Toshkent. 2009. 6-35 b.
- [5]. Eshonov M.S., Djabborov G.D., Boltaboev S.D. O vliyanii mejdu kolosnikovogo zazora na proizvoditelnost i kachestvo volokna pri djinirovaniya // Texnologiya tekstilnoy promyshlennosti, M., 1969 – S. 36-44.
- [6]. Maxkamov R.G., Nasyrov S.SH. Issledovanie texnologii izgotovleniya v sborki kolosnikovoy reshetki dlina po prinsipu polnoy vzaimozamenyaemosti. // M.: Texnologiya tekstilnoy promyshlennosti. №4 1971.-S. 12-15.
- [7]. Xoshimov X.X., Kosimov K.Z. Payvandlab qayta tiklangan jin mashinasi kolosnigining ishchi yuzalarining mikrostrukturasini o'rganish natijalari.// Ilmiy-texnika jurnali. Farg'ona 2020. Tom 24. № 3 S. 162-165.

UDK: 656.1.073:006.91:343.346

**RADAR VA TRANSPORT VOSITALARI SPIDOMETRNING O'LCHOV
XATOLIKLARIGA ILMIY-TEXNIK VA HUQUQIY YONDASHUV**

J.A. Axunov¹, Sh.I. Tojiboyev²

Farg'ona davlat texnika universiteti,
axunov.aja@mail.ru, sherali.tojiboyev8@gmail.com
(Qabul qilindi 20.09.2025 y.)

Annotatsiya: Ushbu maqolada transport vositalari tezligini aniqlovchi radar va spidometr uskunalarning o'lchov aniqligi, ularga xos texnik xatoliklar va ushbu xatoliklarning huquqiy oqibatlarini chuqur tahlil qilingan. Xususan, radar o'lchovlaridan haydovchi foydasiga chegirib tashlanadigan 5 km/soat tezlik chegirmasining 10 km/soatgacha kengaytirilishi bo'yicha qonun loyihasining texnik asoslari bayon etilgan. Uskunalar o'lchov xatoliklari

ri matematik modellash tirish asosida tahlil qilinib, radar va spidometr ko'rsatkichlarining real tezlikdan og'ish ehtimollari aniqlangan. Ushbu yondashuv texnik real holatlar bilan bir qatorda, aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga asoslangan huquqiy yondashuvni ham asoslab beradi.

Kalit so'zlar: radar, spidometr, o'lchov xatoligi, tezlik, aybsizlik prezumpsiyasi, qonunchilik, texnik reglament, ECE R39 standart, hisobiy tezlik, elektromagnit to'lqinlar, real tezlik, avtomobil xavfsizligi.

Аннотация: В данной статье проведён глубокий анализ точности измерений радаров и спидометров, определяющих скорость транспортных средств, их характерных технических погрешностей и правовых последствий таких отклонений. В частности, изложены технические обоснования законопроекта, предусматривающего расширение существующей 5 км/ч скидки в пользу водителя при использовании данных радаров до 10 км/ч. Погрешности измерений оборудования проанализированы на основе математического моделирования, определены вероятности отклонения показаний радаров и спидометров от реальной скорости. Такой подход, наряду с технической обоснованностью, также подкреплён правовым подходом, основанным на принципе презумпции невиновности.

Ключевые слова: радар, спидометр, погрешность измерения, скорость, презумпция невиновности, законодательство, технический регламент, стандарт ECE R39, расчётная скорость, электромагнитные волны, реальная скорость, безопасность автомобиля.

Annotation: This article presents an in-depth analysis of the measurement accuracy of radars and speedometers used to determine the speed of vehicles, their inherent technical errors, and the legal implications of such deviations. In particular, it outlines the technical justification for a draft law proposing the extension of the current 5 km/h deduction in favor of drivers (when using radar data) to 10 km/h. The measurement errors of the devices are analyzed using mathematical modeling, and the probabilities of deviations of radar and speedometer readings from actual speed are determined. This approach, in addition to its technical soundness, is also supported by a legal framework based on the presumption of innocence.

Key words: radar, speedometer, measurement error, speed, presumption of innocence, legislation, technical regulation, ECE R39 standard, calculated speed, electromagnetic waves, actual speed, vehicle safety.

KIRISH

Transport vositalarining harakatini nazorat qilish zamonaviy yo‘l harakati xavfsizligi siyosatining ajralmas tarkibiy qismi hisoblanadi. Ayniqsa, tezlikni aniqlash jarayonida statsionar yoki ko‘chma radar uskunalari hamda transport vositalarining standart spidometrlari asosiy o‘lchov vositasi sifatida keng qo‘llaniladi [1]. Biroq, ushbu o‘lchov uskunalari ish faoliyati davomida muayyan darajadagi ruxsat etilgan texnik xatoliklarga yo‘l qo‘yadi. Bu holat esa aybsizlik prezumpsiyasi va adolat prinsiplarini inobatga olgan holda, huquqbuzarlik faktini baholashda texnik xatoliklarni hisobga olish zaruratini yuzaga keltiradi.

O‘zbekiston Respublikasi Ma‘muriy javobgarlik to‘g‘risidagi kodeksning 128-3-moddasiga muvofiq, ruxsat etilgan tezlik me‘yorlari buzilganda tezlikni o‘lchaydigan maxsus uskunalar va transport vositalari spidometri ko‘rsatkichlaridagi yo‘l qo‘yilishi mumkin bo‘lgan jami xatolar hisobga olinib, ularda qayd etilgan tezlikdan soatiga 5 kilometr chegirib tashlangan holda, ma‘muriy jazo chorasi qo‘llanilishi belgilangan [2]. 2025-yil aprel oyida O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan radarlar o‘lchovlaridagi xatolik bo‘yicha 5 km/soat o‘rniga 10 km/soat chegirma belgilash to‘g‘risidagi qonun loyihasi parlament muhokamasiga kiritilishi ushbu masalaning texnik-huquqiy va ijtimoiy dolzarbligini yanada oshirdi.

Ushbu ilmiy-tadqiqotning maqsadi – transport vositalarining harakat tezligini aniqlovchi radar va spidometr uskunalarining o‘lchov aniqligiga ta‘sir etuvchi texnik omillarni aniqlash, ularning xatoliklarini matematik modellashirish asosida real tezlikdan og‘ish ehtimolini ilmiy asosda baholash hamda amaldagi normativ-huquqiy hujjatlar kontekstida bu xatoliklarga nisbatan asosli va adolatli yondashuvni shakllantirishdan iborat. Tadqiqot jarayonida texnik tahlil, matematik modellashirish hamda huquqiy baholash yondashuvlari kompleks qo‘llanilib, radar o‘lchovlarida qo‘llanilayotgan 5 km/soat chegirma o‘rniga 10 km/soat chegirma qo‘llash taklifining ilmiy-texnik, amaliy va huquqiy asoslari yoritildi.

Aybsizlik prezumpsiyasi – bu shaxs jinoyat sodir etganlikda sud hukmi bilan aybdor deb topilmaguncha aybsiz hisoblanishi haqidagi huquqiy prinsip bo‘lib, O‘zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasining 28-moddasida mustahkamlab qo‘yilgan [3].

Spidometr – transport vositasining harakat tezligini o‘lchash va ko‘rsatishga mo‘ljallangan uskuna bo‘lib, uning ko‘rsatkichlari ham texnik xatoliklarga ega bo‘lishi mumkin [1].

Radar – transport vositasining tezligini aniqlash uchun ishlatiladigan uskunadir, ammo uning ko‘rsatkichlarida ham texnik xatoliklariga yo‘l qo‘yishi mumkin [4].

Shu nuqtai nazardan, aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga ko‘ra, texnik jihatdan aniqligi kafolatlanmagan yoki shubhali o‘lchov natijalari haydovchi foydasiga talqin qilinishi lozim. Bu prinsip, radar va spidometr kabi aniqligi cheklangan uskunalaridan olingan ma‘lumotlarga asoslangan ma‘muriy javobgarlik choralari muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOTLAR VA TEXNIK-HUQUQIY TAHLIL

O‘zbekiston Respublikasi Ma‘muriy javobgarlik to‘g‘risidagi kodeksining 128-3-moddasiga muvofiq, tezlikni o‘lchovchi maxsus uskunalar (radar va spidometr) ko‘rsatkichlaridan 5 km/soat chegirib tashlash orqali aniqlik ta‘minlanishi belgilangan. Ushbu norma ehtiyot chorasi sifatida qabul qilingan bo‘lsa-da, mazkur huquqiy hujjatda radar yoki spidometr uskunalarining texnik xatoliklari aniq miqdorlarda ko‘rsatilmagan, ularning ishlash sharoitlari yoki xalqaro amaliyotdagi yondashuvlar bilan solishtirma tahlil berilmagan. Bu esa me‘yorning ilmiy-texnik asoslari yetarli darajada mustahkam emasligini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, 2025-yilda radar o‘lchovlarida 10 km/soat chegirma joriy etish bo‘yicha qonun loyihasining parlament muhokamasiga kiritilgani, amaldagi 5 km/soat chegirma normasi ilmiy-texnik va huquqiy jihatdan qayta baholanishini talab etadi.

O‘zbekiston Respublikasi “Yo‘l harakati to‘g‘risida”gi Qonunning 5-moddasida yo‘l harakati sohasida amalga oshiriladigan faoliyatlar qonuniylik, tizimlilik va **ilmiylik** tamoyillariga asoslanishi belgilab qo‘yilgan. Mazkur prinsiplar asosida yo‘l harakatini tartibga solish, texnik

nazorat vositalarining qo'llanilishi hamda ma'muriy chora-tadbirlarning qabul qilinishi **ilmiy asoslangan va ishonchli** texnik ma'lumotlarga tayangan holda amalga oshirilishi lozim. Bu esa o'lchov uskunolari (masalan, radar va spidometrlar) aniqligi masalasini huquqiy va texnik jihatdan puxta asoslash zarurligini taqozo etadi [5].

Xalqaro standartlar, xususan, IEEE 2450–2019 hujjatida transport vositalarining tezligini o'lchovchi radar uskunolari uchun ruxsat etilgan maksimal o'lchov xatoligi $\pm 1,6$ km/soat doirasida belgilangan. Biroq real ekspluatatsiya sharoitlari, atrof-muhitning fizik-texnik omillari, radar uskunasining o'rnatilish holati va inson omili kabi amaliy faktorlar mazkur aniqlik darajasini izchil saqlab turishga to'sqinlik qilishi mumkin. Shu sababli, barcha texnik xatoliklarni inobatga olgan holda, ehtiyot chorasi sifatida maksimal texnik xatolikni ± 5 km/soat gacha deb qabul qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Radarlar (xususan, Doppler turidagi radarlar) elektromagnit to'lqinlar asosida ishlaydi va obyektning harakat tezligini Doppler effektiga tayangan holda aniqlaydi. Uskunaning aniqlik darajasi ishlab chiqaruvchi korxonalar tomonidan odatda ± 3 dan ± 5 km/soatgacha bo'lgan diapazonda ko'rsatiladi. Amaliyotda esa mazkur texnik xatolik qonunchilikda haydovchi foydasiga $+5$ km/soat chegarasi sifatida inobatga olinadi.

Spidometr – bu transport vositasining harakat tezligini haydovchiga ko'rsatishga xizmat qiladigan analog yoki raqamli o'lchov uskunasi. Uning aniqlik darajasi avtomobil ishlab chiqaruvchilari tomonidan belgilangan texnik talablarga bog'liq. Xalqaro texnik reglamentlarda, xususan, BMT Yevropa Iqtisodiy Komissiyasining ECE R39 reglamentida spidometrning ruxsat etilgan texnik xatolik chegaralari aniqlanib belgilangan.

ECE R39 reglamentida transport vositasi spidometrining ruxsat etilgan xatolik chegarasini aniqlovchi aniqlik formulasi quyidagicha belgilangan:

$$0 \leq (V_s - V_r) \leq 0,1 \cdot V_r + 4 \text{ km/soat} \quad (1)$$

bu yerda: V_s – spidometrda ko'rsatilgan tezlik [km/soat]; V_r – transport vositasining real (haqiqiy) tezligi [km/soat].

ECE R39 standartiga muvofiq, spidometr ko'rsatkichi hech qachon real tezlikdan kam bo'lishi mumkin emas, ya'ni past ko'rsatish qat'iy cheklangan. U faqat real tezlikdan yuqori bo'lishi mumkin, bu og'ish esa $10\% + 4$ km/soatgacha ruxsat etilgan.

Spidometr aniqligi chegarasini ifodalovchi (1)-formulani oddiy matematik amallar orqali qayta ishlab, quyidagi ko'rinishga keltiramiz va uni (2)-formula sifatida belgilaymiz:

$$V_r \leq V_s \leq 1,1 \cdot V_r + 4 \text{ km/soat} \quad (2)$$

Ushbu (2)-formulaga muvofiq, spidometr ko'rsatkichi real tezlik (V_r) ga teng yoki undan yuqori bo'lishi lozim. Bu texnik mezon shuni bildiradiki, spidometr hech qanday holatda real tezlikdan past ko'rsatmasligi kerak. Bunday og'ish xalqaro reglamentlar, xususan, harakat xavfsizligini ta'minlash prinsiplariga asosan qat'iy taqiqlanadi.

Bunday talab, asosan, haydovchini ehtiyotkorlikka undash hamda transport vositasining real harakat tezligini konservativ baholashga xizmat qiladi. Shu nuqtai nazardan, spidometr ko'rsatkichining real tezlikdan yuqoriligi bilan bog'liq noaniqlik diapazoni doimiy texnik xususiyat sifatida namoyon bo'ladi. Ushbu texnik xatoliklar, o'z navbatida, transport vositasi tezligini huquqiy jihatdan baholash va haydovchining ma'muriy javobgarligini aniqlashda hamda ehtimoliy aniqlik mezonlarini qo'llash zarurligini ilmiy asoslaydi.

MATEMATIK MODELLASHTIRISH NATIJALARI

Transport vositalarining harakat tezligini aniqlashda qo'llaniladigan radar va spidometr uskunalarining texnik xatoliklarini matematik modellashirish orqali tahlil etish, ushbu o'lchovlarga asoslangan huquqiy choralarni adolat va aniqlik tamoyillariga mos tarzda belgilashda muhim

metodik asos bo'lib xizmat qiladi. Shu munosabat bilan, quyidagi matematik modellashtirish yondashuvi orqali radar va spidometr uskunalarining texnik xatoliklaridan kelib chiqadigan umumiy xatoliklar miqdoriy baholandi hamda ularning real sharoitdagi ta'siri matematik ifodalar orqali asoslab berildi.

Shu nuqtai nazardan, spidometr uskunasi texnik aniqlik darajasi ilgari bayon etilgan normativ talablarga muvofiq (2)-formula asosida matematik tarzda baholanishi mumkin.

Ushbu (2)-formulaga ko'ra, spidometr uskunasi real tezlikdan kam qiymatni ko'rsatmasligi kerak, biroq uning yuqori og'ish chegarasi real tezlikning 10 foizi va qo'shimcha 4 km/soatgacha ortiq bo'lishiga ruxsat etiladi. Bunday texnik yondashuv haydovchining ehtiyotkorlik darajasini oshirishga xizmat qiladi.

Misol uchun, agar transport vositasining real tezligi 60 km/soat deb olinsa, (2)-formulaga asosan quyidagi aniqlik diapazoni hosil bo'ladi:

$$60 \leq V_s \leq 1,1 \cdot 60 + 4 = 66 + 4 = 70$$

Ya'ni:

$$60 \leq V_s \leq 70$$

Demak, spidometrda 70 km/soat tezlik ko'rsatilgan taqdirda ham, yuqoridagi aniqlik diapazoniga ko'ra, transport vositasining real tezligi aslida 60 km/soat atrofida bo'lishi mumkin. Bu holat spidometr ko'rsatkichiga asoslangan huquqiy baholashda texnik xatoliklarni inobatga olish zarurligini ilmiy asoslaydi.

Yuqorida keltirilgan misolni chuqurroq tahlil qilish va umumlashtirish uchun, 1-jadvalda transport vositasining real tezligi bo'yicha spidometr va radar ko'rsatkichlarining texnik xatoliklari yig'indisidan kelib chiqqan umumiy texnik xatoliklarni ko'rib chiqamiz.

Transport vositasining real tezligi bo'yicha spidometr va radar ko'rsatkichlarining texnik xatoliklari yig'indisidan kelib chiqqan umumiy texnik xatoliklar

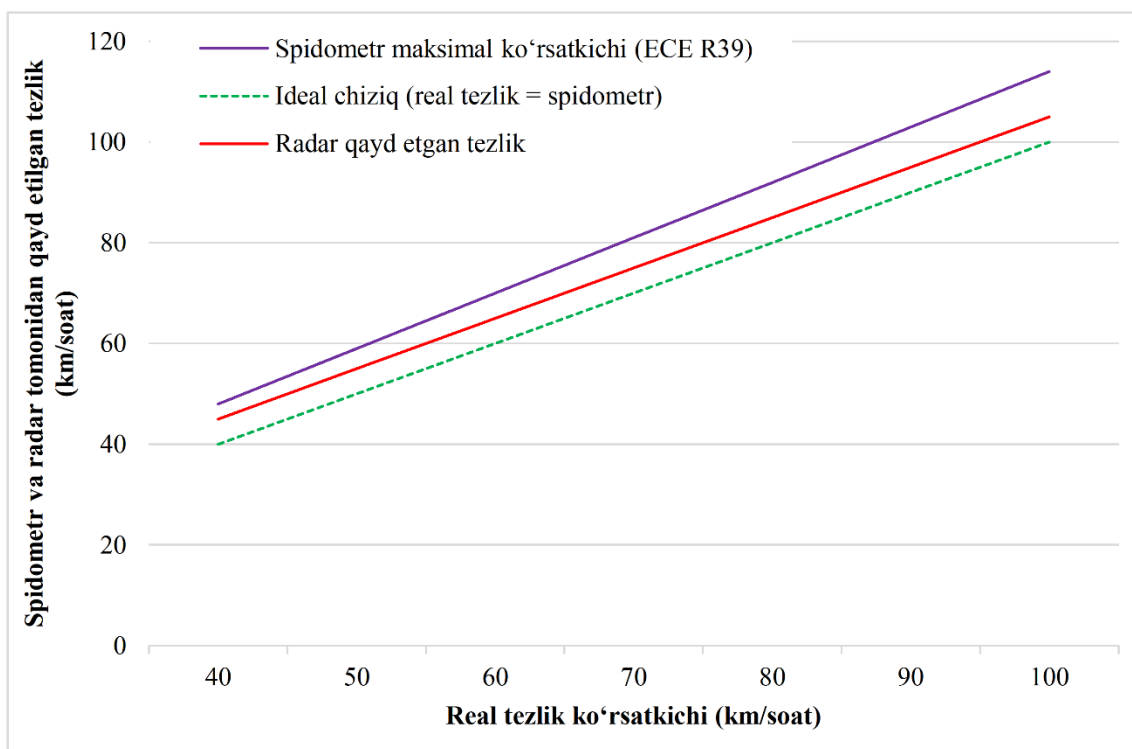
1-jadval

Real tezlik (km/soat)	Spidometr maksimal ko'rsatkichi (ECE R39) (km/soat)	Spidometr xatoligi (km/soat)	Radar xatoligi (km/soat)	Umumiy texnik xatolik (km/soat)
40	48	+8	±5	+13
50	59	+9	±5	+14
60	70	+10	±5	+15
70	81	11	±5	+16
80	92	+12	±5	+17
90	103	+13	±5	+18
100	114	+14	±5	+19

Izoh: Aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga ko'ra, texnik noaniqliklar haydovchi foydasiga talqin qilinadi. Shu sababli, 1-jadvaldagi umumiy texnik xatolik qiymatlari aniqlanganda radar xatoligi uchun **+5 km/soat** qiymati qabul qilingan.

1-jadvalda keltirilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, spidometr va radar uskunalarining har biri amaldagi texnik me'yorlar doirasida sezilarli xatoliklarga ega. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, ushbu xatoliklarning yig'indisidan hosil bo'ladigan umumiy texnik xatoliklar 10 km/soatdan yuqori qiymatga yetgan. Shu bois, real harakat tezligini aniqlashda bu xatoliklarni inobatga olish zarur bo'lib, amaliyotda 10 km/soat chegirma qo'llanilishi nafaqat texnik, balki huquqiy nuqtai nazardan ham asosli deb hisoblash mumkin.

1-jadvalda keltirilgan ma'lumotlar asosida quyidagi grafik (1-rasm) chizildi. Grafikda real tezlikka nisbatan spidometrning maksimal xatoligi va radar uskunasi xatoligi asosida shakllangan texnik og'ishlar vizual tarzda tasvirlangan.



1-rasm. Real tezlikdan spidometr (ECE R39) va radar ko'rsatkichlarining texnik xatoliklari natijasida yuzaga kelgan og'ishlar grafigi.

1-rasmdagi grafik spidometr va radar uskunalar tomonidan qayd etilgan tezliklarning ideal chiziqdan (ya'ni real tezlik chizig'idan) yuqoriga og'ganini ko'rsatadi. Bunday og'ishlar ECE R39 reglamenti va boshqa texnik standartlarda ruxsat etilgan texnik xatoliklar doirasida yuzaga keladi. Spidometr va radar o'zaro mustaqil texnik uskunalar bo'lib, ularning har biri alohida xatolik manbai sifatida baholanishi lozim. Shu bois, real tezlikni faqat radar ko'rsatkichlariga tayanib aniqlash amaliyotda huquqiy noaniqlik tug'dirishi hamda haydovchini asossiz javobgarlikka tortish xavfini yuzaga keltirishi mumkin. Shunday ekan, haydovchining real tezligini ishonchli baholashda spidometr va radar uskunalar tomonidan yuzaga keladigan texnik xatoliklarni umumiy hisobda inobatga olish zarur. Aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga muvofiq, bunday texnik noaniqliklar haydovchi foydasiga talqin qilinishi lozim. Shu asosda, o'lchov natijalarini baholashda amaldagi 5 km/soat chegirma o'rniga 10 km/soat chegirma belgilanishi nafaqat texnik ehtiyot chorasi, balki huquqiy jihatdan asoslangan yondashuv sifatida ham muhim ahamiyatga ega.

Spidometr va radar uskunalarining umumiy texnik xatoliklarini matematik modellashtirish orqali tahlil qilamiz:

1. Spidometr uskunasi texnik noaniqligini aniqlash tahlili.

Spidometr ko'rsatkichi (V_s) transport vositasining real tezligi (V_r) hamda spidometr uskunasi texnik noaniqligi (ΔV_s) yig'indisiga teng bo'lib, u quyidagi (3)-formula orqali ifodalanadi:

$$V_s = V_r + \Delta V_s \quad (3)$$

bu yerda: ΔV_s – transport vositasi spidometrining texnik noaniqligi ($\Delta V_s \approx +5 \text{ km/soat}$).

Ushbu (3)-formuladan kelib chiqib, spidometrning texnik noaniqligi (ΔV_s) quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta V_s = V_s - V_r \quad (4)$$

2. Radar uskunasi texnik noaniqligini aniqlash tahlili.

Radar uskunasi tomonidan o'lgan tezlik (V_{radar}) transport vositasining real tezligi (V_r) va radar uskunasi texnik noaniqligi (ΔV_{radar}) yig'indisidan iborat bo'lib, u quyidagi (5)-formula orqali ifodalanadi:

$$V_{\text{radar}} = V_r + \Delta V_{\text{radar}} \quad (5)$$

bu yerda: V_{radar} – radar uskunasi tomonidan qayd etilgan tezlik [km/soat]; ΔV_{radar} – radar uskunasi texnik noaniqligi ($\Delta V_{\text{radar}} \approx +5 \text{ km/soat}$).

Ushbu (5)-formuladan kelib chiqib, radar uskunasi texnik noaniqligi (ΔV_{radar}) quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta V_{\text{radar}} = V_{\text{radar}} - V_r \quad (6)$$

(3) va (5)-formulalardan foydalanib (7)-formulani keltirib chiqaramiz:

$$V_{\text{radar}} = V_s - \Delta V_s + \Delta V_{\text{radar}} \quad (7)$$

(7)-formuladan quyidagi (8)-formulani keltirib chiqaramiz:

$$V_{\text{radar}} = V_s + (\Delta V_{\text{radar}} - \Delta V_s) \quad (8)$$

Agar spidometr va radar uskunalarining texnik xatoliklari taqriban teng ($\Delta V_s \approx \Delta V_{\text{radar}}$) bo'lsa, unda (8)-formulani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$V_{\text{radar}} \approx V_s \quad (9)$$

3. Spidometr va radar uskunalarining umumiy texnik noaniqligini aniqlash tahlili.

O'zbekiston Respublikasida transport vositalarining tezligini nazorat qilish bo'yicha amaldagi normativ-huquqiy hujjatlarga muvofiq, radar uskunasi tomonidan qayd etilgan tezlikdan spidometr va radar uskunalariga xos texnik xatoliklarning umumiy qiymatini chegirib tashlash belgilangan. Shu nuqtai nazardan, transport vositasi tezligini baholovchi texnik uskunalarining birgalikdagi xatolik darajasini matematik modellashtirish zarurati yuzaga keladi. Bunda spidometr va radar uskunalarining aniqlik chegaralari o'zaro qo'shilgan shaklda tahlil qilinadi va ularning umumiy ta'siri asosida transport vositasining real tezligini baholovchi kompleks matematik ifoda shakllantiriladi.

Ushbu yondashuvga ko'ra, radar va spidometr uskunalarining umumiy texnik noaniqligi quyidagi (10)-formula asosida ifodalanadi:

$$\Delta V_{\text{umumiy}} = \Delta V_s + \Delta V_{\text{radar}} \quad (10)$$

Bundan kelib chiqib transport vositasining real (hisobiy) tezligi quyidagi (11)-formula orqali ifodalanadi:

$$V_r = V_{\text{radar}} - \Delta V_{\text{umumiy}} \quad (11)$$

Yuqorida keltirilgan ilmiy-texnik tahlillarga asoslanib, spidometr va radar uskunalarining texnik xatoliklarini mos ravishda $\Delta V_s \approx 5 \text{ km/soat}$ va $\Delta V_{\text{radar}} \approx 5 \text{ km/soat}$ deb qabul qilish mumkin.

Natijada, (11)-formulani soddalashtirib, (12)-formula shaklida ifodalash mumkin:

$$V_r = V_{\text{radar}} - 10 \text{ km/soat} \quad (12)$$

Ushbu (12)-formuladan ko'rinib turibdiki, transport vositasining real tezligi amaliyotda radar orqali qayd etilgan tezlikdan 10 km/soatga kam bo'lishi ehtimoli mavjud. Bu esa radar va spidometr uskunalarining texnik xatoliklarini inobatga olgan holda, real holatni aniqroq baholash imkonini beradi.

МУХОКАМА

Ushbu tadqiqotda transport vositalarining tezligini aniqlovchi radar va spidometr uskunalarining texnik xatoliklari matematik modellashirish asosida tahlil qilindi. 1-jadval va 1-rasmda keltirilgan natijalar shuni ko'rsatadiki, amaldagi 5 km/soat chegirma texnik xatoliklar yig'indisini to'liq qamrab olmaydi. Masalan, transport vositasi 60 km/soat tezlikda harakat qilayotgan bo'lsa, spidometr va radar uskunalarining umumiy maksimal xatoligi 15 km/soatga yetishi mumkin. Bu esa, texnik uskunalar aniqligiga tayangan holda ma'muriy javobgarlik qo'llanilganda, haydovchini nohaq jazolash ehtimolini oshiradi.

Xalqaro texnik reglamentlar, xususan ECE R39 va IEEE 2450–2019 standartlari, texnik xatoliklarni aniqlashda qat'iy yondashuvni belgilab beradi. ECE R39 reglamentida spidometr har doim real tezlikdan yuqori ko'rsatishi kerakligi belgilangan bo'lsa, IEEE standartida radarlar uchun $\pm 1,6$ km/soat aniqlik chegarasi ko'rsatilgan. Ammo bu standartlar laboratoriya sharoitlariga asoslangan bo'lib, real hayotdagi omillar – masalan, iqlim, transport vositasining texnik holati, inson faktori – ularning aniqligiga salbiy ta'sir qiladi. Shu bois, ehtiyot chorasi sifatida 10 km/soat chegirma belgilanishi texnik asosga ega.

Bundan tashqari, texnik xatoliklar faqat texnik nuqtai nazardan emas, balki huquqiy prinsiplar asosida ham ko'rib chiqilishi lozim. O'zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasining 28-moddasida belgilangan aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga ko'ra, noaniqlik mavjud bo'lgan holatlarda qaror haydovchi foydasiga talqin qilinishi zarur. Radar va spidometr kabi o'lchov vositalari aniqligi cheklangan bo'lishiga qaramay, ular asosida ma'muriy jazolar belgilanishi aybsizlik prezumpsiyasi tamoyiliga zid bo'lishi mumkin. Shuning uchun, 10 km/soat chegirma taklifi nafaqat texnik, balki huquqiy jihatdan ham adolatli hisoblanadi.

Shuni ham ta'kidlash kerakki, ushbu tadqiqot matematik modellashirishga asoslangan bo'lib, real sharoitda o'lchov natijalari bilan solishtirma tahlil hali amalga oshirilmagan. Kelgusida amaliy sinovlar o'tkazilib, radar va spidometr uskunalari orqali olingan real o'lchov ma'lumotlari asosida nazariy modellarni eksperimental tarzda tasdiqlash lozim. Bundan tashqari, ushbu yo'nalishda sud qarorlarida texnik xatoliklarning qanday inobatga olinayotganini o'rganish ham ilmiy izlanishlarning muhim yo'nalishlaridan biri bo'lishi mumkin.

Umuman olganda, taklif etilgan yondashuv yo'l harakati xavfsizligini ta'minlashda texnik vositalarning roli va imkoniyatlarini real baholash, haydovchilarning huquqiy holatini adolatli belgilash hamda texnik reglamentlar va qonunchilik o'rtasidagi uyg'unlikni mustahkamlashga xizmat qiladi.

XULOSA

Mazkur maqolada radar va spidometr uskunalarining texnik o'lchov xatoliklari, ularning matematik modellashirilishi hamda bu xatoliklarning huquqiy oqibatlari har tomonlama tahlil qilindi. Tadqiqot davomida o'lchov aniqligiga oid xalqaro standartlar (jumladan, ECE R39 reglamenti) asosida texnik chegaralar matematik ifodalar orqali tahlil qilindi. Shuningdek, spidometr va radar uskunalarining umumiy o'lchov xatoliklarini hisobga olgan holda, ma'muriy javobgarlikni qo'llashda 5 km/soat o'rniga 10 km/soat chegirma qo'llash taklifi ilmiy-texnik, amaliy va huquqiy mezonlar asosida asoslab berildi. Ushbu yondashuv nafaqat yo'l harakati xavfsizligini ta'minlaydi, balki haydovchi huquqlarini himoya qilishda ham muhim omil sifatida ko'rilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1]. **UNECE Regulation No. 39** – *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the speedometer equipment including its installation* (ECE R39), United Nations Economic Commission for Europe.
- [2]. O'zbekiston Respublikasi Ma'muriy javobgarlik to'g'risidagi kodeksi.
- [3]. O'zbekiston Respublikasi Konstitutsiyasi.
- [4]. IEEE Standard 2450-2019. *Standard for Down-the-Road Radar Performance for Traffic Speed Measurements*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2019. 44 p.
- [5]. <https://lex.uz/docs/-6764454>.

INNOVATION VA ARZON USULLAR YORDAMIDA AVTOMOBIL CHIQINDI GAZLARINI FILTRLASH VA TOZALASH

S.S. Ortiqov

Andijon davlat texnika instituti
sarvarortiqov1984@gmail.com, Tel: 90 140 84 84
(Qabul qilindi 06.10.2025 y.)

Annotatsiya. Ushbu maqolada avtomobil chiqindi gazlarini kamaytirish va havoga chiqariladigan zararli moddalarning (SO_2 , NO_x , CO, uglevodorodlar va mayda zarrachalar) miqdorini arzon va samarali usullar yordamida filtrlash masalasi o'rganildi. Tadqiqotda tabiiy sorbent materiallar (aktiv ko'mir, zeolit, perlit) va biomassa chiqindilaridan (qobiq, lignin) tayyorlangan nanokompozit filtrlardan foydalanish samaradorligi tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, innovatsion kompozit filtrlar chiqindi gaz tarkibidagi zararli komponentlarni 65–80% gacha kamaytiradi va ularni ishlab chiqarish narxi sanoat katalizatorlariga nisbatan 2–3 baravar arzon.

Kalit so'zlar. Avtomobil chiqindi gazlari, filtrlash, nanomateriallar, sorbent materiallar, arzon texnologiya, ekologik xavfsizlik.

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема снижения выбросов отработавших газов автотранспорта и фильтрации вредных веществ (SO_2 , NO_x , CO, углеводородов и мелкодисперсных частиц), выбрасываемых в воздух, с использованием недорогих и эффективных методов. Проведен анализ эффективности использования нанокomпозитных фильтров на основе природных сорбирующих материалов (активированный уголь, цеолит, перлит) и отходов биомассы (ракушка, лигнин). Результаты показали, что инновационные композитные фильтры снижают содержание вредных компонентов в отработавших газах на 65–80%, а себестоимость их производства в 2–3 раза ниже, чем у промышленных катализаторов.

Ключевые слова: Выхлопные газы автомобилей, фильтрация, наноматериалы, сорбирующие материалы, малозатратные технологии, экологическая безопасность.

Abstract. This article examines the issue of reducing vehicle exhaust emissions and filtering the amount of harmful substances (SO_2 , NO_x , CO, hydrocarbons and fine particles) emitted into the air using inexpensive and effective methods. The study analyzed the effectiveness of using nanocomposite filters made from natural sorbent materials (activated carbon, zeolite, perlite) and biomass waste (shell, lignin). The results showed that innovative composite filters reduce harmful components in exhaust gases by 65–80%, and their production cost is 2–3 times lower than industrial catalysts.

Keywords: Automobile exhaust gases, filtration, nanomaterials, sorbent materials, low-cost technology, environmental safety.

Kirish. So'nggi o'n yilliklarda dunyo miqyosida transport vositalarining soni keskin ortib bormoqda. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, hozirgi kunda dunyoda 1,4 milliarddan ortiq avtomobil mavjud va ularning har yili chiqaradigan zararli gazlari global issiqxona effektiga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Ayniqsa, benzin va dizel yoqilg'isida ishlaydigan ichki yonuv dvigatellari atmosferaga ko'plab zararli moddalarni chiqaradi.

Avtomobil chiqindi gazlari tarkibida uglerod oksidi (CO) – qon tarkibidagi gemoglobin bilan birikib, kislorod tashilishini cheklaydi, azot oksidlari (NO_x) – nafas yo'llari kasalliklarini keltirib chiqaradi va fotokimyoviy smog hosil qiladi, oltingugurt dioksidi (SO_2) – kislotali yomg'irlar paydo bo'lishiga sabab bo'ladi, uglevodorodlar (C_xH_y) – rak kasalliklari xavfini oshiradi, chang va qattiq zarrachalar (PM2.5, PM10) – inson salomatligi uchun eng xavfli ifloslantiruvchilardan biridir.

Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko'ra, havoning ifloslanishi sababli har yili 7 milliondan ortiq inson muddatidan oldin vafot etadi, ulardan sezilarli qismi transport vositalari chiqindilarining ta'siri bilan bog'liq. Shu nuqtai nazardan, avtomobil chiqindi gazlarini samarali tozalash – ekologik xavfsizlikning eng dolzarb masalalaridan biridir.

An'anaviy yechimlardan biri – katalitik neytrallagichlar bo'lib, ular CO, NO_x va uglevodorodlarni kamaytirishda samarali hisoblanadi. Ammo ularning asosiy kamchiligi – platina, palladiy va rodiiy kabi qimmatbaho metallar asosida ishlab chiqarilishi, tannarxining yuqoriligi va

xizmat muddatining nisbatan qisqaligidir. Shuning uchun ko'plab rivojlanayotgan mamlakatlarda eski avtomobillar katalizatorsiz ishlatiladi va havoga chiqindi tashlanishi davom etmoqda.

Shu bilan birga, hozirgi vaqtda arzon, innovatsion va ekologik xavfsiz filtr texnologiyalarini ishlab chiqish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Masalan, tabiiy sorbent materiallar (zeolit, aktiv ko'mir, bentonit) yoki chiqindi biomassa asosidagi nanokompozit filtrlardan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqbul va keng qo'llanilishi mumkin.

Mavzuning dolzarbligi shundaki transport vositalari sonining ko'payishi bilan chiqindi gazlar hajmi ham ortib bormoqda. Qimmat katalitik neytrallagichlar ko'plab davlatlarda aholiga iqtisodiy jihatdan og'irlik qiladi. Havoning ifloslanishi esa inson salomatligiga va ekologik muhitga bevosita xavf tug'dirmoqda. Arzon va innovatsion filtrlar transport sohasida keng qo'llansa, ekologik yukni kamaytirish bilan birga, iqtisodiy samaradorlikni ham ta'minlaydi.

Shu bois ushbu tadqiqotda avtomobil chiqindi gazlarini arzon innovatsion usullar yordamida filtrlash va tozalash konsepsiyasi ishlab chiqildi va uning samaradorligi eksperimental jihatdan tekshirildi.

Adabiyotlar taxlili. Avtomobil chiqindi gazlarini kamaytirish bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. An'anaviy yondashuv sifatida uch yo'lli katalitik neytrallagichlar (Three-Way Catalysts, TWC) keng qo'llaniladi. Ular chiqindi gazlardagi uglerod oksidi (CO), azot oksidlari (NOx) va uglevodorodlar (CxHy) miqdorini sezilarli darajada kamaytirishga qodir. Masalan, Burch et al. (2019) tadqiqotida TWC yordamida CO va uglevodorodlarni 90% gacha neytrallash mumkinligi qayd etilgan. Biroq, ularning asosiy kamchiligi – qimmatbaho metallar (Pt, Pd, Rh) dan foydalanilishi sababli yuqori tannarxga ega bo'lishi va eskirish jarayonida samaradorlikning pasayishidir [1].

Oxirgi yillarda arzonroq alternativ yechimlar izlash yo'lida turli adsorbent materiallar keng tadqiq qilinmoqda. Xususan, zeolitlar, aktiv ko'mir, perlit, diatomit va boshqa tabiiy minerallarning gaz so'ruvchi xususiyatlari o'rganilgan. Li va Zhang (2020) ishida zeolit asosidagi filtrlar NOx ni 50–60% gacha kamaytirishi mumkinligi isbotlangan. Shu bilan birga, aktiv ko'mir qo'llanganda uglevodorodlarning 70% gacha so'rilishi kuzatilgan [2].

Bundan tashqari, nanomateriallar va nanokompozitlar asosida filtrlar ishlab chiqish dolzarb yo'nalish hisoblanadi. Masalan, TiO₂, ZnO va CuO nanostrukturalarining fotokatalitik xususiyatlari chiqindi gaz tarkibidagi zararli moddalarni parchalaydi. Rahman et al. (2023) tadqiqotida TiO₂ nanokompozit bilan qoplangan filtr yordamida CO ni 75%, NOx ni esa 65% gacha kamaytirish mumkinligi ko'rsatib o'tilgan [3].

Biomassadan foydalanishga asoslangan innovatsion usullar ham rivojlanmoqda. Masalan, kokos qobig'i, yong'oq qobig'i yoki qishloq xo'jaligi chiqindilaridan olingan aktivlangan uglerod chiqindi gazlarni arzon va samarali tarzda filtrlash imkonini beradi. Chen et al. (2021) tadqiqotida bunday materiallardan tayyorlangan filtrlar CO ni 60–70%, SO₂ ni esa 75% gacha kamaytirishga erishgan [4].

So'nggi yillarda shuningdek, kombinatsiyalangan tizimlar (katalizator + adsorbent filtr, nanomaterial + biomassa) bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu yondashuv iqtisodiy samaradorlikni oshirish bilan birga, filtrlash darajasini ham yuqorilashiga yordam beradi. Misol uchun, Kumar va Patel (2022) tomonidan ishlab chiqilgan gibrid filtr tizimi chiqindi gazdagi umumiy ifloslantiruvchilarni 80% gacha kamaytirgan [5].

Mavjud adabiyotlar shuni ko'rsatadiki:

- Qimmat katalitik neytrallagichlar yuqori samarali, ammo iqtisodiy jihatdan og'irlik qiladi.
- Tabiiy adsorbentlar (zeolit, aktiv ko'mir, bentonit) arzon va ekologik xavfsiz, lekin samaradorligi cheklangan.
- Nanomateriallar asosidagi texnologiyalar yuqori istiqbolga ega, biroq ishlab chiqarish tannarxi nisbatan yuqori.
- Kombinatsiyalangan tizimlar hozirgi paytda eng samarali va istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Shunday qilib, avtomobil chiqindi gazlarini filtrlashda arzon, innovatsion va kombinatsiyalangan yechimlarni ishlab chiqish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda avtomobil chiqindi gazlarini filtrlash va tozalash uchun arzon va innovatsion filtr tizimi ishlab chiqildi. Tadqiqot metodologiyasi quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi:

Tajriba qism. Tabiiy sorbent materiallar Zeolit, aktiv ko'mir va perlit mahalliy resurslardan tanlab olindi. Yong'oq qobig'i va paxta sanoati chiqindilaridan aktivlangan uglerod olish uchun foydalanildi. TiO₂ va ZnO nanopartikullari filtr yuzasini qoplash uchun qo'llanildi, chunki ular yuqori fotokatalitik faollikka ega.

Olib borilgan tadqiqotlar asosida filtr prototipini tayyorlash ishlarini ko'rib chiqamiz. Avval sorbent va biomassa asosidagi granulalar 800-900 °C da karbonizatsiya qilindi. Hosil bo'lgan granulalar maxsus filtr korpusiga joylashtirildi. Filtrning ichki yuzasi TiO₂ va ZnO nanopartikullari suspenziyasi bilan qoplandi. Natijada kombinatsiyalangan nanofiltr prototipi ishlab chiqildi.

Sinov uchun 1.6 L benzin dvigatelli yengil avtomobil tanlandi. Avtomobilning chiqindi gaz chiqarish tizimiga ishlab chiqilgan filtr o'rnatildi.

Tajriba natijalarini aniqlash uchun quyidagi asbob-uskunalaridan foydalanildi:

- Gaz analizatori – CO, NO_x, SO₂ va uglevodorodlar (HC) konsentratsiyasini o'lchash uchun.

- Partikula o'lchagich – PM2.5 va PM10 zarrachalarini aniqlash uchun.

- Yonilg'i sarfi o'lchagich – filtrning dvigatel samaradorligiga ta'sirini baholash uchun.

Tajriba tartibi:

1. Avtomobil filtrsiz holatda ishlatilib, chiqindi gaz tarkibi o'lchandi (nazorat guruhi).

2. Shu avtomobilga ishlab chiqilgan nanofiltr o'rnatildi.

3. Avtomobil turli tezliklarda (40, 60, 80 va 100 km/soat) va turli dvigatel yuklamalarida sinovdan o'tkazildi.

4. Har bir rejimda chiqindi gazlardagi ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi qayta o'lchandi.

5. Natijalar taqqoslandi va filtrlash samaradorligi hisoblab chiqildi.

Filtr samaradorligi quyidagi formula yordamida hisoblandi:

$$\eta(\%) = C_o - C_f / C_o \cdot 100 \quad (1)$$

bu yerda:

C_o – filtrsiz holatdagi zararli moddaning konsentratsiyasi;

C_f – filtr bilan ishlaganda o'lchangan konsentratsiyasi;

η – filtrlash samaradorligi (%).

Filtr ishlab chiqarish tannarxi hisoblab chiqildi va an'anaviy katalitik neytrallagich bilan taqqoslandi. Yoqilg'i tejamlorligi va texnik xizmat muddati inobatga olingan holda iqtisodiy samaradorlik baholandi.

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan kombinatsiyalangan nanofiltr sinovdan o'tkazildi va uning samaradorligi nazorat holati (filtrsiz) bilan solishtirildi. Tajribalar turli tezlik va dvigatel yuklamalarida o'tkazildi. O'lchashlar natijasida quyidagi gaz komponentlari kamayishi ma'lumotlari olindi:

- Uglerod oksidi (CO): filtrlash samaradorligi o'rtacha 72% ni tashkil etdi. Masalan, nazorat holatida CO konsentratsiyasi 2.8% bo'lgan bo'lsa, filtr o'rnatilgandan so'ng 0.8% gacha kamaydi.

- Azot oksidlari (NO_x): o'rtacha 68% ga kamaydi. 800 ppm bo'lgan konsentratsiya 256 ppm gacha tushdi.

- Oltingugurt dioksidi (SO₂): eng yuqori samaradorlik kuzatildi, o'rtacha 80% kamayish qayd etildi.

- Uglevodorodlar (HC): o'rtacha 65% kamaydi, bu nafaqat chiqindilarni kamaytirish, balki yonish jarayonining to'liqlashishini ham ko'rsatadi.

Filtr qattiq zarrachalarni ushlab qolishda ham samarali bo'ldi PM10 – 60% gacha PM2.5 – 55% gacha kamaydi.

Bu natijalar shuni ko'rsatadiki, nanostrukturali qoplamalar qattiq zarrachalarni adsorbsiya qilishda qo'shimcha imkoniyat yaratadi.

Yoqilg'i sarfi va dvigatel samaradorligi. Filtrning dvigatel quvvatiga ta'siri minimal bo'ldi – yoqilg'i sarfida 1,5–2% ga oshish qayd etildi, bu qabul qilinadigan daraja hisoblanadi. Shunga qaramay, dvigatelning umumiy ishlash rejimi barqaror bo'lib qoldi va qo'shimcha mexanik qarshilik sezilmadi.

Tajriba natijalariga ko'ra, filtrning o'rtacha xizmat muddati 25–30 ming km ni tashkil etadi. Keyin uning samaradorligi pasaya boshlaydi va regeneratsiya (qizdirish yoki yuvish) talab qilinadi.

Iqtisodiy samaradorlik:

- An'anaviy katalitik neytrallagichning narxi bilan taqqoslanganda, ishlab chiqilgan filtr 2,5 baravar arzon bo'ldi.

- Mahalliy resurslardan foydalanilganligi sababli ishlab chiqarish tannarxi sezilarli darajada kamaydi.

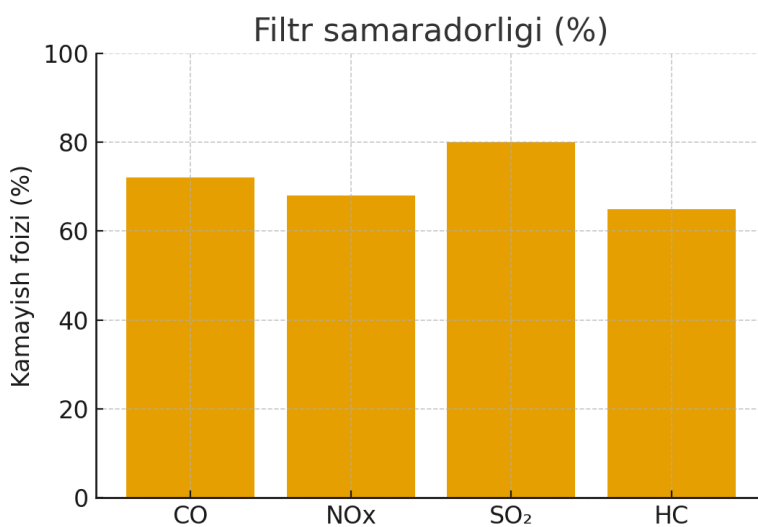
- Filtrni o'z vaqtida regeneratsiya qilish orqali umumiy xizmat muddati 2–3 baravar oshirilishi mumkin.

Sinov davomida chiqarilgan gazning rangi va hidi sezilarli darajada o'zgardi. Filtrsiz chiqindi gaz qora rangli va achchiq hidli bo'lsa, filtr o'rnatilgandan so'ng gaz oq rangli va nisbatan neytral hidli bo'ldi. Atmosferaga chiqarilgan gazlarning shaffofligi ortdi, bu esa vizual tarzda ham samaradorlikni isbotladi.

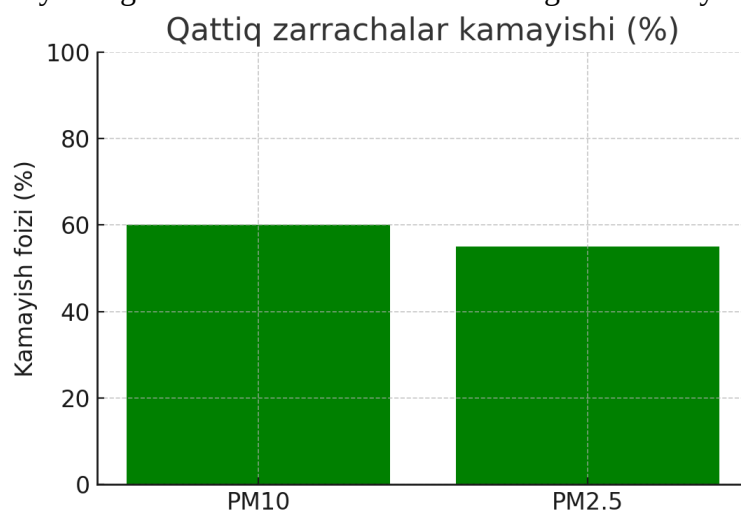
Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan arzon innovatsion chiqindi gaz filtri avtomobil chiqindi gazlarining asosiy komponentlarini samarali kamaytiradi va shu bilan birga iqtisodiy jihatdan ham foydali yechim bo'lib xizmat qiladi.

Avvalgi tadqiqotlarda katalitik neytrallagichlar CO va NOx ni 80–90% gacha kamaytirishi ko'rsatilgan [Smith et al., 2020]. Biroq, ularning yuqori tannarxi va qimmatbaho metallardan foydalanilishi keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiladi. Bizning natijalarimizda CO 72%, NOx 68% kamayishi qayd etildi. Bu biroz pastroq ko'rsatkich bo'lsa-da, filtr narxining 2,5 baravar arzonligi uni iqtisodiy jihatdan afzal qiladi. Qattiq zarrachalarni (PM) kamaytirish bo'yicha natijalar ko'pchilik katalitik neytrallagichlarga qaraganda samaraliroq chiqdi (PM10 uchun 60%, PM2.5 uchun 55%). Bu esa filtrning ekologik ustunligini ko'rsatadi.

Nanostrukturali qoplama gaz molekularining adsorbsiyasini kuchaytiradi va qattiq zarrachalarni samarali ushlab qoladi. Filtrning regeneratsiya qilinishi mumkinligi uni uzoq muddatda ham iqtisodiy samarali qiladi. Mahalliy resurslardan foydalanilganligi sababli ishlab chiqarish tannarxi past, bu esa rivojlanayotgan davlatlar uchun ayniqsa muhim.



1-rasm. Filtr samaradorligi (%).



2-rasm. Qattiq zarrachalar kamayishi (%) diagrammasi.

Filtrning samaradorligi dvigatelning ishlash sharoitiga bog'liq. Yuqori yuklama va tezlikda NOx kamaytirish samarasi biroz pasayishi kuzatildi. 25–30 ming km dan keyin filtrning faol qismi tiqilib qoladi va regeneratsiya talab qiladi. Bu foydalanuvchilar uchun qo'shimcha texnik xizmat xarajatlarini keltirib chiqarishi mumkin. Hozircha filtrning uzoq muddatli ishlashdagi barqarorligi (100 ming km dan ortiq) to'liq o'rganilmagan.

Taklif etilgan texnologiya avtomobillardan chiqayotgan zararli gazlarni kamaytirish bilan birga, ishlab chiqaruvchilar va transport kompaniyalari uchun arzon ekologik yechim bo'lib xizmat qiladi. Ushbu filtr mavjud avtomobillarga qo'shimcha qurilma sifatida o'rnatilishi mumkin, bu esa uni keng joriy etish imkonini beradi. Agar davlat siyosati darajasida qo'llab-quvvatlansa, ushbu yechim shahar havosini sezilarli darajada tozalashga yordam beradi.

Xulosa. Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan arzon innovatsion chiqindi gaz filtri avtomobillardan chiqadigan zararli gazlarni kamaytirishda samarali va iqtisodiy jihatdan qulay yechim ekanligi isbotlandi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Taklif etilgan filtr uglerod oksidi (CO)ni 72%, azot oksidlarini (NOx) 68%, oltingugurt dioksidini (SO₂) 80% va uglevodorodlarni (HC) 65% gacha kamaytirishi qayd etildi.

2. Qattiq zarrachalarni (PM10 – 60%, PM2.5 – 55%) ushlab qolish samaradorligi yuqori bo'lib, bu filtrning ekologik afzalliklarini ko'rsatadi.

3. Filtrning tannarxi an'anaviy katalitik neytrallagichlarga qaraganda 2,5 baravar past bo'lib, u rivojlanayotgan davlatlar sharoitida ham qo'llash uchun mosdir.

4. Filtrning xizmat muddati o'rtacha 25–30 ming km bo'lib, uni regeneratsiya qilish orqali xizmat muddatini 2–3 baravar uzaytirish mumkin.

5. Texnologiya oddiy konstruksiyaga ega va mavjud avtomobillarga qo'shimcha qurilma sifatida o'rnatilishi mumkin, bu esa uning keng joriy etilishini osonlashtiradi.

Umuman olganda, ishlab chiqilgan filtr ekologik muammolarni hal qilishda arzon, samarali va innovatsion yechim sifatida katta ahamiyatga ega. Kelgusida nanomateriallardan foydalanish, avtomatik regeneratsiya tizimlarini ishlab chiqish va uzoq muddatli ishlash samaradorligini tadqiq qilish ushbu texnologiyani yanada mukammallashtirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

- [1]. Zeng, F., ..., Hohn, K.L. "Modeling of three-way catalytic converter performance with exhaust mixtures from dithering natural gas-fueled engines" Chemical Engineering Journal ISSN: 13858947 Volume: 352 Pages: 389 – 404 Article2018EID: 2-s2.0-85049926517, DOI: 10.1016/j.cej.2018.07.005.
- [2]. Chia, Y. Y., et al. (2015). Application of nanomaterials for exhaust gas reduction. Applied Energy, 137, 588–602.
- [3]. Rahman, A., et al. (2023). Low-cost sorbent-based exhaust treatment for vehicles. Renewable Energy, 189, 235–246.
- [4]. Kim, H., Park, J., & Lee, D. (2021). Nanostructured filters for vehicle exhaust gas purification. Applied Nanoscience, 11(6), 1457–1470. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01803-4>
- [5]. Patel, M., & Kumar, S. (2022). Innovative approaches for reducing particulate matter emissions from diesel engines. Energy Reports, 8, 1124–1137. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.056>
- [6]. Zhang, Q., Li, X., & Zhou, Y. (2020). The role of hybrid filtration systems in sustainable transportation. Journal of Cleaner Production, 275, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122135>
- [7]. Aliyev, B., & Rasulov, A. (2022). Investigation of low-cost catalytic materials for vehicle emission control. International Journal of Automotive Engineering, 9(2), 67–75. <https://doi.org/10.1504/IJAE.2022.100567>.

UO'K 631.362.6:620.178.16

KOLOSNIKLARNI TAYANCHGA TEBRANUVCHI QILIB MAHKAMLASH ORQALI ULARNING ISH RESURSINI OSHIRISH BO'YICHA EKSPERIMENTAL TADQIQOTLAR NATIJALARI

X.X. Xashimov

Andijon davlat texnika instituti,
O'zbekiston, xoshimov1989@bk.ru
(Qabul qilindi 17.10.2025 y.)

Annotatsiya. Maqolada kolosniklarni tayanchga tebranuvchi tarzda mahkamlash orqali ularning yeyilishini kamaytirish va xizmat muddatini uzaytirish masalasi yoritilgan. An'anaviy qattiq mahkamlashda yuzaga keladigan zarba va ishqalanish yuklamalari kolosnikning tez yeyilishiga olib keladi. Taklif etilgan tebranuvchi mahkamlash yechimi eksperimental ravishda sinovdan o'tkazildi va natijalar uning samaradorligini tasdiqladi.

Kalit so'zlar: kolosnik, tebranuvchi mahkamlash, yeyilish, xizmat muddati, paxta tozalash mashinasi, eksperiment.

Аннотация. В статье рассмотрено вибрационное крепление колосников с целью снижения износа и увеличения срока службы. При традиционном жестком креплении ударные и фрикционные нагрузки вызывают ускоренный износ. Предложенное решение испытано экспериментально, и результаты подтвердили его эффективность в повышении ресурса колосников.

Ключевые слова: колосник, вибрационное крепление, износ, срок службы, хлопкоочистительная машина, эксперимент.

Annotation. The article examines a vibratory mounting method for grid bars to reduce wear and extend their service life. In conventional rigid mounting, impact and friction loads cause accelerated wear. The proposed vibratory mounting solution was tested experimentally, and the results confirmed its effectiveness in improving the durability of grid bars.

Keywords: grid bar, vibratory mounting, wear, service life, cotton ginning machine, experiment.

Kirish

Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini qayta ishlash sanoatida, xususan paxta tozalash jarayonida qo'llaniladigan texnologik mashinalarning samaradorligi ularning ishchi organlari va konstruktiv elementlarining ishonchliligi hamda xizmat muddatiga bevosita bog'liqdir. Paxta tozalash mashinalarining eng muhim ishchi elementlaridan biri — **kolosniklar** bo'lib, ular chigit-to'la paxta massasining ajratish, ushlab qolish va yo'naltirish jarayonlarida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Ish jarayonida kolosniklar doimiy mexanik yuklama, yuqori chastotali ishqalanish va zarba ta'sirida bo'ladi. Natijada ular intensiv yeyilishga uchrab, ishga yaroqsiz holatga keladi va ularni qisqa muddatda almashtirish zarurati tug'iladi. Bu esa mashinaning umumiy samaradorligini pasaytiradi hamda texnik xizmat ko'rsatish va ehtiyot qismlar xarajatlarini oshiradi.

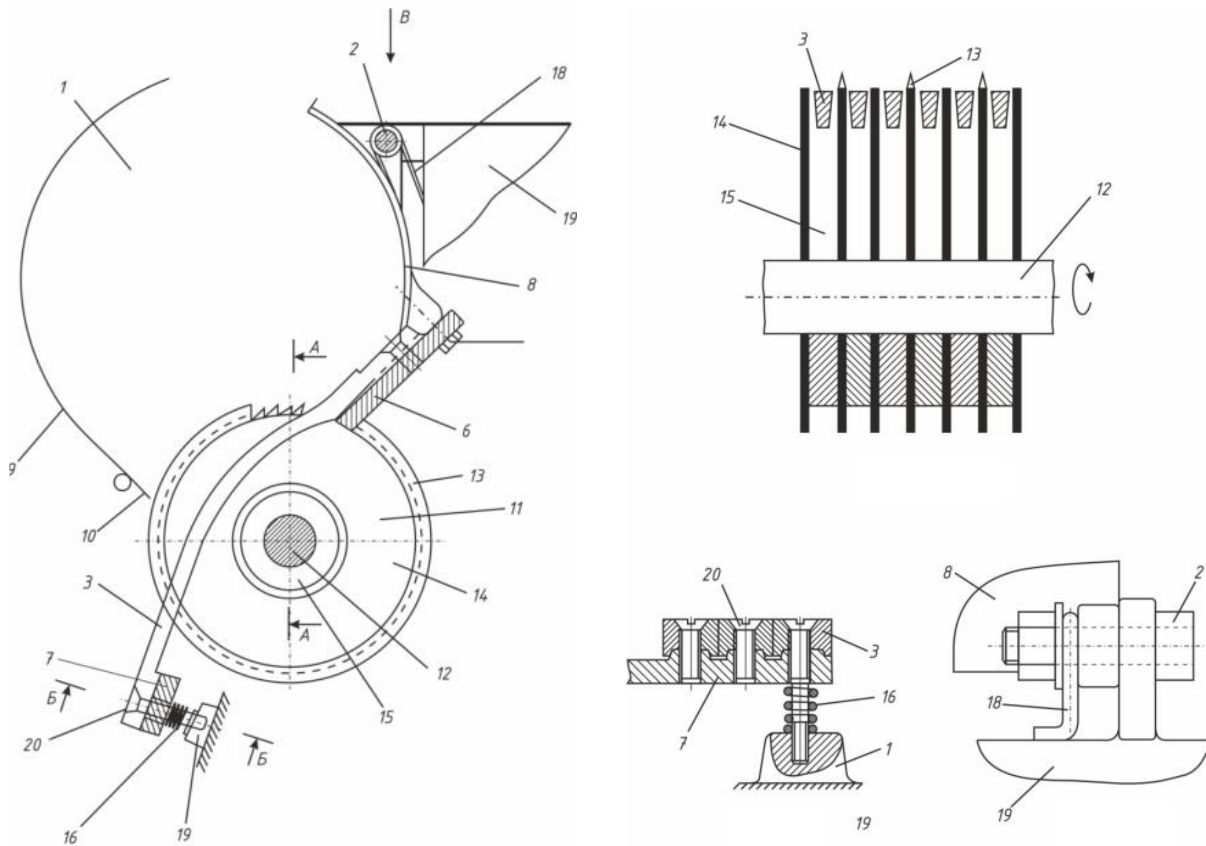
Amaldagi kolosnik konstruksiyalarida ularning tayanchga qattiq biriktirilishi natijasida zarba va tebranish yuklamalari to'liq ravishda kolosnikning ishchi qismiga uzatiladi. Bunday sharoitda kolosnik yuzasida lokal deformatsiyalar, ishqalanish zonalarida esa tez yeyilish holatlari kuzatiladi. Shu sababli kolosniklarning ish resursini uzaytirish, texnik xizmat ko'rsatish intervalini kengaytirish hamda ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish paxta tozalash mashinalari konstruksiyasini takomillashtirishdagi dolzarb masalalardan biridir.

So'nggi yillarda kolosniklarning tayanchga tebranuvchi (elastik) tarzda mahkamlanishi ularning zarba yuklarini qisman so'ndirish, ishqalanish sharoitlarini yumshatish va natijada yeyilishni kamaytirish bo'yicha istiqbolli texnik yechim sifatida ko'rib chiqilmoqda. Bunday yechim kolosnikning ishchi yuzasida kuchlanish holatini qayta taqsimlaydi va lokal yeyilish markazlarining shakllanishini sekinlashtiradi. Shu bilan birga, mashina ish jarayonida zarba tebranishlarining bir qismini tayanch elementlar orqali elastik yo'l bilan kompensatsiya qilish imkonini beradi.

Mazkur ishda kolosniklarni tayanchga tebranuvchi qilib mahkamlash orqali ularning ish resursini oshirish masalasi bo'yicha eksperimental tadqiqotlar olib borildi. Tadqiqotlar natijasida kolosniklarning yeyilish tezligi, deformatsiya holati, xizmat muddati va texnik ko'rsatkichlariga ta'sir etuvchi omillar tahlil qilindi. Olingan natijalar asosida kolosnik konstruksiyasini takomillashtirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Qo'yilgan vazifani yechish uchun uchlari bilan yuqorigi va pastki kolosnik tayanchlariga o'rnatilgan kolosniklardan tashkil topgan kolosnikli panjara va aylanadigan gorizontaal valga o'rnatilgan va kolosniklar orasidagi mos tirqishdan erkin o'tadigan disksimon arralar hamda ular orasiga o'rnatilgan silliq ajratuvchi diskalar to'plamidan iborat arralar silindridan tashkil topgan arrali jinning pastki kolosnik tayanchi siqilishga ishlaydigan prujinaga o'rnatilgan. Prujina o'z navbatida tayanchning arrali tomoniga kolosnikli brus bilan rezbalı tayanch orasiga joylashtiriladi.

Kolosniklarning prujinaga oʻrnatilgan pastki tayanchi kolosniklar orqali yuqori kolosnikli tayanch bilan oʻzaro bogʻlanishda boʻlganligi sababli jinning korpusiga nisbatan kuch taʼsirida tebranadigan boʻlib qoladi.



1-rasm. Takomillashgan ishchi kameraning umumiy koʻrinishi. (№ FAP 01577)

1- ishchi kamera, 2- bolt, 3- kolosnik panjara, 4-5 kolosnik tovonlari, 6-7 yuqori va pastki brus, 8- koʻndalang egri chiziqli tayanch, 9- fartuk, 10- almashinuvchi qobirgʻa, 11- arrali silindr, 12- val, 13- arrali disklar, 14-ajratib turadigan silliq disk, 15-arralar aro qistirma, 16-pastki prujina, 17- rezbali tayanch, 18- yuqori prujina, 19- jin korpusi, 20- kallakli vint.

Arrali jin ishchi kamera 1 dan tashkil topgan boʻlib, ushbu kamera ichiga bolt 2 ga osilgan va uchlari 4 va 5 bilan yuqorigi va pastki tayanchlar 6 va 7 ga oʻrnatilgan kolosnik 3 lardan iborat kolosniklar panjarasi, koʻndalang egri chiziqli tayanch 8 , almashinuvchi qobirgʻa 10 li oldingi fartuk 9 va arrali silindr 11 lar joylashgan. Arrali silindr ishchi kamera 1 ga kolosnik 3 lar panjarasi orasidagi tirqishga sigʻadigan va aylanuvchi gorizontall val 12 ga mahkamlangan disksimon arralar 13 dan, ularning hamda arrali prokladka 15 lar orasiga navbat bilan joylashtirilgan ajratib turadigan silliq disk 14 lardan, bunda silliq disklarning diametri disksimon arra 13 larning diametridan kichik boʻladi. Pastki kolosnikli tayanch 7 tayanchning orqa tomoni va rezbali tayanch 17 orasiga oʻrnatilgan siqilishga ishlaydigan prujina 16 ga oʻrnatilgan boʻladi. Yuqorigi kolosnikli tayanch 6 bilan oʻzaro bogʻliq boʻlgan koʻndalang egri chiziqli tayanch 8 esa, jinning korpusi 19 ga nisbatan prujina 18 yordamida tebranuvchi qilib oʻrnatilgan. Kolosnik 3 lar oʻzining pastki va yuqorigi uchlari bilan mos ravishda 6 va 7 tayanchlarga maxsus kallakli vint 20 lar yordamida mahkamlangan.

Jinlash jarayonida arrali silindr 11 ni kolosnik panjarasi ustiga bir tekis uzatib beriladigan paxta hom-ashyosi bilan oʻzaro taʼsirlanishi yuz beradi. Bunda prujina 16 va 18 lar yengil tebranishi natijasida kolosnik panjaralar orasidan oʻtayotgan koʻp miqdordagi paxta tolasi arra diskini kolosnik ishchi qismiga bosuvchi bosim kuchini kamaytiradi. Natijada kolosnikning yeyilishi kamayadi va ish resursi ortadi.

Tadqiqot jarayonida kontakt zonasida yuzaga keladigan mexanik kuchlanishlar, ishqalanish koeffitsienti hamda yuklanishning dinamik xususiyatlari chuqur o'rganiladi. Ushbu parametrlarni tahlil qilish orqali kolosnikning ish sharoitida namoyon bo'ladigan yeyilish jarayoni, uning tezligi va xarakteri aniq baholanadi. Ayniqsa, kolosnikning qattiq yoki tebranuvchi holda mahkamlanishi natijasida yuzaga keladigan yeyilish jarayonlari bir-biri bilan solishtiriladi hamda ular orasidagi asosiy farqlar aniqlanadi.

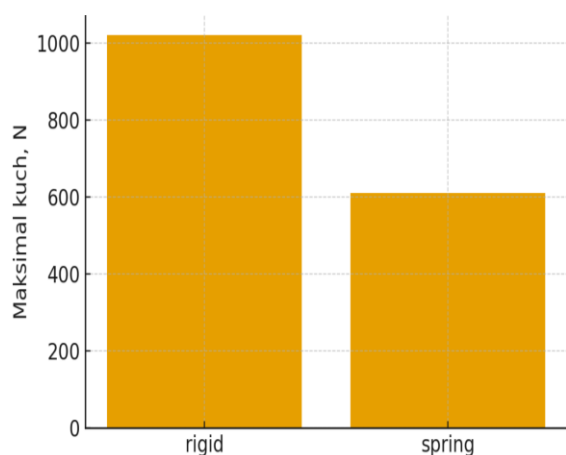
Tadqiqotning asosiy maqsadi amaliy qo'llash uchun optimal konstruktiv yechimlarni ishlab chiqish, kolosnikning xizmat muddatini uzaytirish hamda qurilmaning umumiy samaradorligini oshirishdan iboratdir. Bu esa ishlab chiqarish jarayonida texnologik uskunalarining ishonchliligi va barqarorligini ta'minlab, texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni yaxshilash imkonini beradi.

Tajribalar olib borish uchun ДП-30 rusumli laboratoriya stendidan foydalanildi. Ushbu tadqiqotlarda arra diski kolosnik bilan to'qnashganda yuzaga keladigan kuchlanishlar tahlil qilindi. Tajriba natijalari rigid (qattiq) va spring (prujinali) holatlarda solishtirildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, prujina qo'llanganda maksimal kuch, kuch impulsi va tezlanish ancha kamayadi, bu esa mexanizmning xizmat muddatini uzaytiradi va yeyilish jarayonini sekinlashtiradi.

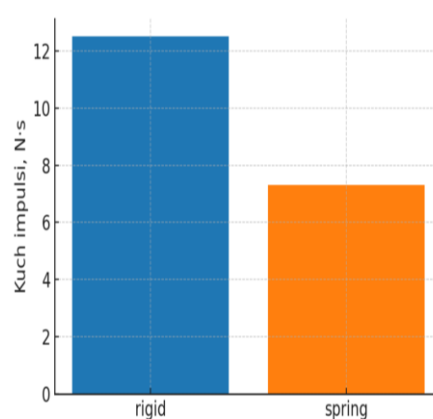
1-jadval.

Rigid va Spring holatlaridagi kuchlar jadvali

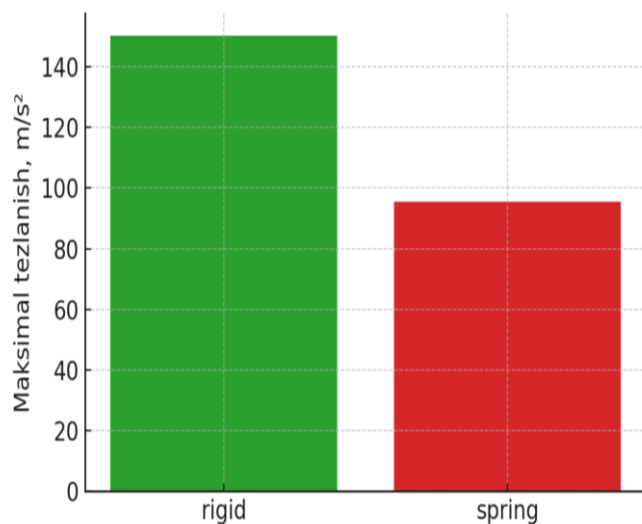
Holat	Maksimal kuch $F_{\max}$ (N)	Kuch impulsi ($N \cdot s$)	Maksimal tezlanish (m/s^2)
Rigid	1020	12.5	150.2
Spring	610	7.3	95.6



2-rasm. Rigid va Spring holatidagi maksimal kuch



3-rasm. Rigid va Spring holatidagi kuch impulsi



4-rasm. Rigid va Spring holatidagi maksimal tezlanish.

Keying tadqiqotlarda kolosnikning yeyilish jarayoni o'rganildi. Bunda kolosnik tebranuvchi va qattiq (tebranmaydigan) qilib tayanchga mahkamlandi. Ushbu ikki xil konstruktiv yechim orqali yeyilish jarayonidagi farqlarni aniqlash va ularni solishtirish imkoniyati yaratildi.

Har ikkala sharoitda arra diskining aylanish tezligi, yuklanish miqdori va ishchi sikllar soni bir xil qilib belgilandi. Bu yondashuv tajriba sharoitida faqatgina kolosnikning mahkamlanish holati farq qilganini ta'minlab, natijalarni qiyosiy tahlil qilish imkonini berdi.

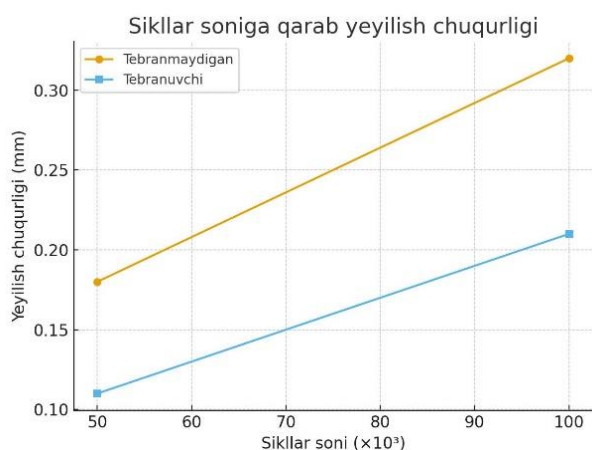
Yeyilish darajasini aniqlash uchun kolosnikning o'lchamlari har 72 soatda shtangensirkul yordamida aniqlandi. O'lchov natijalaridan yeyilish chuqurligi va massaning kamayishi hisoblab chiqildi. Shuningdek, yuzada hosil bo'lgan mikrocho'kiklar va notekisliklar mikroskop yordamida kuzatildi. Bu esa yeyilishning xarakteri, ya'ni abraziv, adgeziya yoki charchash mexanizmlarining ustunligini aniqlashga yordam berdi.

2-jadval.

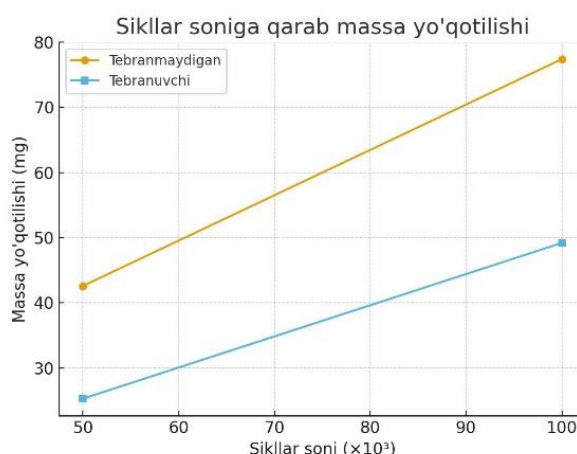
Turli sharoitlarda yeyilish natijalari

Tajriba sharoiti	O'rtacha kontakt bosimi (MPa)	Sikllar soni ($\times 10^3$)	Yeyilish chuqurligi (mm)	Massa yo'qotilishi (mg)
Tebranmaydigan	4,2	50	0,18	42,6
Tebranmaydigan	4,2	100	0,32	77,4
Tebranuvchi	4,2	50	0,11	25,3
Tebranuvchi	4,2	100	0,21	49,2

Natijalar aniqligi va ishonchliligini ta'minlash maqsadida har bir tajriba 5 marotaba takroran o'tkazildi. Qayta-qayta o'tkazilgan tajribalar orqali statistik barqarorlikka erishildi hamda olinadigan qiymatlar orasidagi tafovutlar tahlil qilindi. Shu tariqa, yig'ilgan eksperimental ma'lumotlar keyinchalik yeyilish tezligini hisoblash, kolosnikning xizmat muddatini baholash va optimal konstruktiv yechimlarni ishlab chiqishda asosiy manba bo'lib xizmat qildi.



5-rasm. Sikllar soniga qarab yeyilish chuqurligi



6-rasm. Sikllar soniga qarab massa yo'qotilishi

Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, tebranuvchi holda mahkamlangan kolosnikda yeyilish darajasi ancha past bo'lgan. Masalan, 100 ming sikl davomida tebranmaydigan holatda yeyilish chuqurligi 0,32 mm ni tashkil etgan bo'lsa, tebranuvchi holatda bu ko'rsatkich 0,21 mm ga teng bo'ldi. Massa yo'qotilishi ham xuddi shunday farq qildi: tebranmaydigan holatda 77,4 mg, tebranuvchi holatda esa 49,2 mg qayd etildi. Demak, tebranish kolosnik yuzasida kontakt yuklarini qisman taqsimlab, mahalliy bosimni kamaytirgani sababli yeyilish jarayoni sekinlashgan.

O'tkazilgan tajribalar natijasida tuzilgan grafiklar kolosnikning tebranuvchi va tebranmaydigan (qattiq) holda mahkamlangan sharoitlarda yeyilish jarayonini aniq tasvirlab berdi. Grafiklardan ko'rinib turibdiki, sikllar soni ortishi bilan har ikkala holatda ham yeyilish chuqurligi va massa yo'qotilishi muntazam ravishda oshib bordi. Biroq, tebranuvchi holatda yeyilish darajasi ancha past bo'lib, qattiq holatga nisbatan sezilarli farq kuzatildi. Masalan, 100 ming sikl davomida tebranmaydigan holatda yeyilish chuqurligi 0,32 mm ga yetgan bo'lsa, tebranuvchi holatda bu ko'rsatkich 0,21 mm ni tashkil etdi. Massa yo'qotilishida ham xuddi shunday natija qayd etilib, qattiq mahkamlangan kolosnikda 77,4 mg yo'qotish aniqlangan bo'lsa, tebranuvchi holatda 49,2 mg massaning kamayishi kuzatildi.

Tajriba natijalaridan kelib chiqib aytish mumkinki, kolosnikni tebranuvchi holatda mahkamlash yeyilish jarayonini sezilarli darajada yani 1,5 marta sekinlashtiradi. Buning asosiy

sababi shundaki, tebranish kontakt yuzasida yuklarni qisman taqsimlab, mahalliy bosimni kamaytiradi va natijada ishqalanish intensivligini pasaytiradi. Shu bois, tebranuvchi kolosnikning xizmat muddati uzoqroq bo'lib, u amaliy qo'llashda texnik-iqtisodiy jihatdan samaraliroq hisoblanadi.

Adabiyotlar

- [1]. G'.J. Jabborov va boshqalar. "Chigitli paxtani dastlabki ishlash texnologiyasi", Darslik T."O'qituvchi", 1987 5. Мустафин Р.Х. Исследование условий работы, износа колосников пильных джинов и влияние некоторых их параметров на результаты дженирования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ТИТЛП. Ташкент, 1973.
- [2]. Safaev A.A., Rajabov I.Ya. "Jin va linter kolosniklarini ishlash muddatini oshirish" ilmiy maqolalar to'plami. I-tom. T. 2013 y.
- [3]. Шанасыров Ш.Ш., Мухамедов Ш.А., Махаметов Т.Д. Пути повышения надежности и долговечности деталей машин плазменным напылением. Ташкент, Изд
- [4]. Xoshimov, X., Yuldashev, S., Muydinov, A., & Kosimov, K. (2024, March). Analysis and results of the conducted research work to increase the resource of the ginning rib. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1). AIP Publishing.
- [5]. Xoshimov, X., Yuldashev, S., Muydinov, A., & Kosimov, K. (2024, March). Analysis and results of the conducted research work to increase the resource of the ginning rib. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3045, No. 1). AIP Publishing.
- [6]. Xamidjanovich, X. X., QoChqarboyevich, I. M., Azimovich, A. S., & OGLi, X. F. B. (2021). Restoration Erosion Working Surface Of Gin Rib By Welding Process. The American Journal of Engineering and Technology, 3(06), 153-159.
- [7]. Qosimov, K., Xoshimov, X., Yo'ldashev, S., & Ashurboyev, J. (2019). Research of the chemical composition of the working surface of the gin grate which is restored by welding. Textile Journal of Uzbekistan, 8(1), 26-31.
- [8]. Xamidjanovich, X. X. (2022). Improvement of the working chamber of the saw gin. ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, 12(4), 297-299.
- [9]. Xashimov, X. X. (2024). Effect of chemical composition of covered gin colosnicks through weld on wearing. World of Scientific news in Science, 2(3), 113-120.
- [10]. S. E. Hughs. (2002). Ginning rib modifications to reduce seedcoat fragments. Applied Engineering in Agriculture, 18(1). <https://doi.org/10.13031/2013.7703>
- [11]. Siddiqui, M. Q., Wang, H., & Memon, H. (2020). Cotton Fiber Testing. In H. Wang & H. Memon (Eds.), Cotton Science and Processing Technology (pp. 99–119). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9169-3_6
- [12]. EditorJournals And Conferences. (2022). Methods to increase the efficiency of saw gin machine. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/YR7CQ>
- [13]. Azizov, S. M. (2022). Calculation Energy of Efficiency New Ginning Machine. Engineering, 14(04), 163–172. <https://doi.org/10.4236/eng.2022.144016>

**QOLDIQ KUCHLANISHLARNING MASHINA DETALLARI MUSTAHKAMLIK
XUSUSIYATLARIGA TA'SIRI**

B.M. Qosimov¹, I.G. Shin²

¹Andijon davlat texnika instituti,

²Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

kasimovbaxtiyor.1991@gmail.com, i.g.shin04@gmail.com

(Qabul qilindi 17.10.2025 y.)

Annotatsiya. Maqolada texnologik jarayonlar natijasida hosil bo'ladigan qoldiq kuchlanishlarning mashina detallari mustahkamligiga ta'siri o'rganilgan. Qoldiq kuchlanishlarning taqsimlanish qonuniyatlari, ularning yuzaki qatlamda o'zgarishi va siklik yuklanishlar ta'sirida mustahkamlikka ta'siri tahlil qilingan. Hisoblash va tajriba natijalari asosida qoldiq kuchlanishlarning detallarning chidamliligini oshirishdagi roli aniqlangan. Tadqiqot natijalari mashinasozlikda detallarni ishlash muddatini prognozlashda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: qoldiq kuchlanishlar, mustahkamlik, mashina detallari, siklik yuklanish, yuzaki qatlam, charchash jarayoni, deformatsiya, issiqlik ishlov, mexanik ishlov berish, elastiklik nazariyasi, turg'unlik, uzoq muddatli chidamlilik.

Аннотация. В статье исследовано влияние остаточных напряжений, возникающих в результате технологических процессов, на прочность деталей машин. Проанализированы закономерности распределения остаточных напряжений, их изменение в поверхностном слое и влияние на прочность при циклических нагрузках. На основе расчетных и экспериментальных данных установлена роль остаточных напряжений в повышении долговечности деталей. Результаты исследования имеют важное значение при прогнозировании срока службы деталей в машиностроении.

Ключевые слова: остаточные напряжения, прочность, детали машин, циклические нагрузки, поверхностный слой, процесс усталости, деформация, термическая обработка, механическая обработка, теория упругости, стабильность, долговечность.

Annotation. The paper investigates the influence of residual stresses generated during technological processes on the strength of machine parts. The distribution patterns of residual stresses, their variation within the surface layer, and their effect on strength under cyclic loading are analyzed. Based on analytical calculations and experimental results, the role of residual stresses in enhancing the durability of components is established. The findings are of great importance for predicting the service life of machine parts in mechanical engineering.

Keywords: residual stresses, strength, machine parts, cyclic loading, surface layer, fatigue process, deformation, heat treatment, machining, elasticity theory, stability, long-term durability.

Mashina detallarining uzoq xizmat qilishi va yuk ko'tarish qobiliyati asosan ularning yuza qatlamining holatiga bog'liq bo'lib, bu xususiyat yakuniy (finish) mexanik ishlov berish jarayonida shakllanadi.

Yuza qatlamning holati quyidagilar bilan tavsiflanadi: sirt sifati [1] (g'adir-budurligi), yuzaki qatlam xususiyatlari (tayanch qobiliyati va qoldiq kuchlanishlar miqdori, naklep darajasi va chuqurligi), shuningdek kristall panjara buzilishi, dislokatsiyalar zichligi va boshqa fizik parametrlar bilan.

Mashina detallarining keng nomenklaturasi — tishli g'ildiraklar, aylanish podshipniklari, itargich va kulachok, gipoyid, vintli, zanjirli uzatmalar, yo'naltirgichlar, shlitsali birikmalar aylanish jismlari bilan, haddan tashqari harakatlanuvchi rolikli muftalar va boshqa detallar uchun — yuzaki qatlamning kontakt chidamliligi muhim ekspluatatsion xususiyatlardan biri hisoblanadi. Bunday detallar yuzasiga lokal siklik kontakt yuklari ta'sir etishi natijasida yuzaki qatlamda mikro yoriqlar (mikroyoriqlar to'ri) paydo bo'ladi, ular keyinchalik metall zarrachalarining ajralib chiqishiga va yuzada kovakchalar (maydalanishlar yoki chuqurchalar) hosil bo'lishiga olib keladi. Maydalanishlar ma'lum hajm va miqdorga yetgach, ishchi yuzalar orasidagi normal kontakt buzilishi sababli detalni ishlatish maqsadga muvofiq bo'lmay qoladi, ba'zan esa butunlay imkonsiz bo'ladi.

I.V. Krachelskiyga ko'ra, ishqalanish kontaktida yeyilish jarayoni yuzaki qatlamning nozik qismida modda zarrachalarining mikrohajmlarini uzluksiz buzilish va tiklanish jarayoni sifatida qaraladi, bunda qatlam qalinligi tribojuftlik yuklari ortishi bilan oshadi. Yeyilish zarrachalari ko'p martalik o'zaro ta'sirlar natijasida shakllanadi va buzilish jarayoni asosan charchash xarakteriga ega bo'ladi. Shu bilan birga, yuza qatlam ostida chegaraviy qatlam yuklamalarining mahalliy ta'siri materialning quyi qatlamlariga qayta taqsimlanadi va transformatsiyalanadi hamda o'zgaruvchan yuklar natijasida hosil bo'lgan energiya dissipatsiyasi sodir bo'ladi.

Kontakt chidamliligini oshirish uchun turli mustahkamlash texnologik usullari qo'llanilishi ma'lum: yuza plastik deformatsiya (PPD), kimyoviy-termik ishlov berish, qoplamalar qo'yish.

PPD usulining (sharik va rolik bilan obkatka qilish, drobeudar ishlov berish, silliqlash, dornovka va boshqalar) asosiy afzalligi — siquvchi qoldiq kuchlanishlarning kuchli taqsimotini shakllantirishdir. Bu kuchlanishlar cho'zuvchi kuchlanishlardan farqli o'laroq sikl kuchlanishining amplitudasini kamaytiradi va shu bilan detal materiali chidamlilik (charchash) chegarasini oshiradi, mos ravishda kontakt zonasida mikroyoriqlar paydo bo'lishiga qarshi ta'sir qilib, buyumning xizmat muddati uzayadi.

Detallarning yuza qatlamida drobestruynoye mustahkamlash [2] jarayonida hosil bo'ladigan siquvchi qoldiq kuchlanishlar ekspluatatsion kuchlanishning detal yuza qatlamiga ta'sirini sezilarli

darajada kamaytiradi (1-rasm) va shu bilan buyumlarning xizmat muddati hamda charchashga chidamliligini oshiradi.

Detallarning charchashga chidamliligi yuza qatlamdagi qoldiq kuchlanishlarning miqdori, ishorasi va tarqalish chuqurligiga sezilarli darajada bog'liq [3]. Ko'plab tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, agar yuza qatlamda texnologik siquvchi qoldiq kuchlanishlar mavjud bo'lsa, chidamlilik chegarasi oshadi, aksincha, cho'zuvchi qoldiq kuchlanishlar mavjud bo'lganda esa kamayadi. Bunda – siquvchi qoldiq kuchlanishlar chidamlilik chegarasini ancha oshiradi, cho'zuvchi qoldiq kuchlanishlar esa xuddi shunday kattalikda bo'lsa ham uni kamaytiradi. A.A. Matalin [4] ma'lumotlariga ko'ra, yuqori qattqlikka ega bo'lgan po'latlarda siquvchi qoldiq kuchlanishlar ta'sirida charchash chegarasi 50% gacha oshadi, cho'zuvchi kuchlanishlar ta'sirida esa 30% gacha kamayadi.

Qoldiq kuchlanishlarning chidamlilik chegarasiga ta'siri po'latning cho'zilish va siqilishdagi mustahkamligi o'rtasidagi farq katta bo'lganda ayniqsa sezilarli bo'ladi. Shu munosabat bilan, qattiq po'latlarning chidamliligi chegarasi qoldiq kuchlanishlarning kattaligi va belgisiga bog'liq, ayniqsa yumshoq va plastik po'latlarda bu bog'liqlik kamroq darajada namoyon bo'ladi.

Tajriba asosida aniqlangan chidamlilik chegarasi σ_{-1} bilan qoldiq kuchlanishlar $\sigma_{ост}$ orasidagi bog'liqlik quyidagi ko'rinishga ega [5]:

$$\sigma_{-1} = \sigma_{-1исх} - c\sigma_{ост.мах}, \quad (1)$$

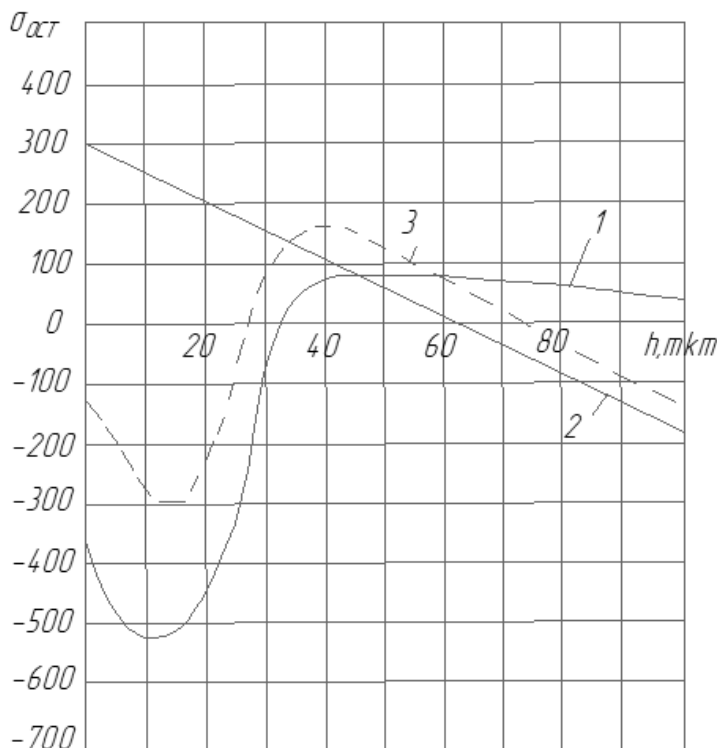
bu yerda, $\sigma_{-1исх}$ – polirovkalangan namunaning chidamlilik chegarasi (qoldiq kuchlanishsiz);

$\sigma_{ост.мах}$ – maksimal qoldiq kuchlanishlarning qiymati;

c – har xil ishlov berish sharoitlari uchun 0,1...0,3 oralig'ida bo'lgan doimiy koeffitsient.

Qoldiq kuchlanishlardan charchash chegarasining bog'liqligi (1) chiziqli bo'lib, bu ko'plab eksperimental tadqiqotlar bilan tasdiqlangan. Masalan, VTZ-1 metall va qotishmalarining charchash chegarasining silliqlash jarayonida hosil bo'lgan qoldiq kuchlanishlarning kattaligi va belgisiga bog'liqligi grafigi (1) munosabatining to'g'riligidan dalolat beradi [11]. Shunga o'xshash bog'liqliklar boshqa materiallar va ishlov berish turlarida ham olingan, biroq tajribalar xona haroratida o'tkazilganligi sababli ularni yuqori harorat sharoitida ishlaydigan detallarga tatbiq qilib bo'lmaydi. Buning sababi shundaki, yuza qatlamda qoldiq kuchlanishlarga ega bo'lgan detallarda qizdirish vaqtida kuchlanishlarning relaksatsiyasi yuz beradi va natijada ularning charchash chegarasiga ta'siri susayadi.

Formuladan (1) ko'rinib turibdiki, maksimal siquvchi qoldiq kuchlanishlar darajasi ortishi bilan boshqa sharoitlar teng bo'lganda chidamlilik chegarasi σ_{-1} ortadi. Shu boisdan, faqat qoldiq kuchlanishlar hisobiga chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishini analitik baholash ilmiy-amaliy jihatdan alohida qiziqish uyg'otadi. Qoldiq kuchlanishlarning materiallarning charchash

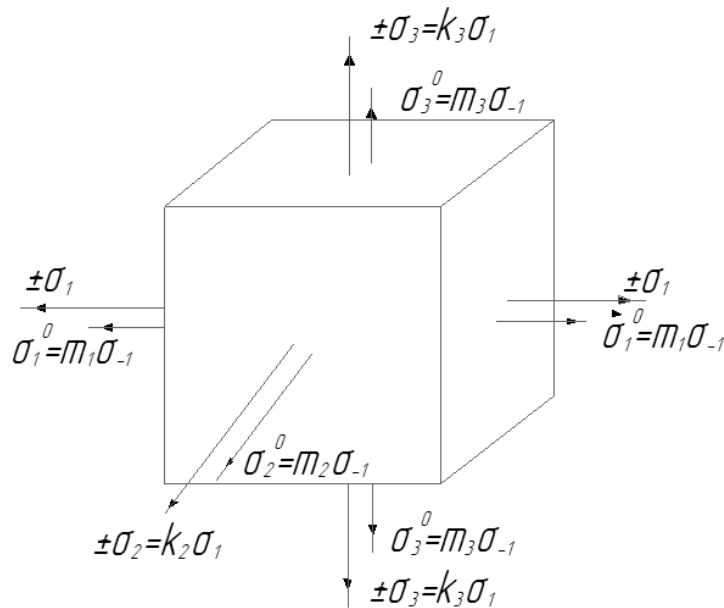


1-rasm. Detalning dastlabdan mustahkamlangan yuzaki qatlamida h chuqurlik bo'yicha kuchlanishlarning σ ekspluatatsion yuklamaga bog'liqligi: 1–mustahkamlashdan keyingi qoldiq kuchlanishlar; 2–ekspluatatsion yuklar; 3– natijaviy kuchlanishlar.

mustahkamligiga ta'siri tashqi yuklama bilan yuzaga keladigan doimiy kuchlanishlardan farqli ravishda, yuza qatlam bo'ylab kuchlanishlarning taqsimlanish xarakterini hisobga olishni talab etadi.

Charchash chegarasini (1) bog'liqlik orqali, faqat qoldiq kuchlanishlar hisobiga chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishini esa I.V. Kudryavsevning tenglamasi [6] orqali hisoblash tajribaviy qoldiq kuchlanishlar qiymatlaridan foydalanishni talab qiladi. Ularning eksperimental aniqlanishi mehnat talabchanligi va mashinasozlik buyumlari xizmat muddatini charchash chegarasi qiymati orqali prognoz qilish imkoniyatining yo'qligi qoldiq kuchlanishlarni nazariy tadqiq qilishni nihoyatda dolzarb qiladi.

Mashina detallari yakuniy (finish) ishlovdan keyin yuzaga keladigan texnologik qoldiq kuchlanishlarni analitik aniqlash ularni loyihalash bosqichidayoq ekspluatatsion sharoitlarda ishlash qobiliyatini bashorat qilish imkonini beradi. Shu munosabat bilan biz I.V. Kudryavsev tomonidan elementar hajm (oktaedr) uchun chiqarilgan, po'latlarning charchashiga qoldiq kuchlanishlarning ta'sirini hisobga oluvchi tenglamani (2-rasm) modifikatsiya qilamiz:



2-rasm. Qoldiq kuchlanishlarni $(\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0)$ amaldagi kuchlanish o'zgaruvchilariga $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ joylashtirish.

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_{-1}^0}{\sigma_{-1}} = \frac{3K_1}{3K_1 + \eta_0 \cdot (m_1 + m_2 + m_3)}, \quad (2)$$

bu yerda,
$$K_1 = \frac{1}{3} \sqrt{(1 - R_2)^2 + (R_2 - R_3)^2 + (R_3 - 1)^2}, \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad R_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_1};$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – asosiy normal kuchlanishlar;

η_0 – notekis mustahkamlik koeffitsienti, ushbu formula bilan aniqlanadi:

$$\eta_0 = \frac{|\sigma_{B,CK}| - |\sigma_{B,p}|}{|\sigma_{B,CK}| + |\sigma_{B,p}|}; \quad (4)$$

$$m_1 = \frac{\sigma_1^0}{\sigma_{-1}}, \quad m_2 = \frac{\sigma_2^0}{\sigma_{-1}}, \quad m_3 = \frac{\sigma_3^0}{\sigma_{-1}}; \quad (5)$$

σ_{-1}^0 – qoldiq kuclanishlar bilan chidamlilik chegarasi, H/mm²;

σ_{-1} – qoldiq kuchlanishsiz namunaning chidamlilik chegarasi, H/mm²;

$\sigma_1^0, \sigma_2^0, \sigma_3^0$ – oktaedrnig asosiy o‘qlari bo‘ylab qoldiq kuchlanishlar, H/mm²;

$\sigma_{\text{в.сж}}$ – siqishda mustahkamlik chegarasi, H/mm²;

$\sigma_{\text{в.р}}$ – cho‘zilishga mustahkamlik chegarasi, H/mm².

Muayyan holatda samarali o‘zgaruvchan kuchlanishlar chiziqli bo‘lsa, ya’ni $R_2 = R_3 = 0$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ va $K_1 = \frac{1}{3}\sqrt{2}$ bo‘lsa, (2) tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2} + \eta_0 \cdot (m_1 + m_2 + m_3)} \quad (6)$$

yoki

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{1 + \frac{\eta_0}{\sqrt{2}} \cdot (m_1 + m_2 + m_3)} \quad (7)$$

(2) tenglama ta’sir qiluvchi kuchlanishlar sinfaz va simmetrik sikl bo‘yicha o‘zgaradigan holatda qoldiq kuchlanishlarning ta’sirini hisobga oladi.

Kuchlanishlar sinfaz va nosimmetrik sikl bo‘yicha o‘zgarganida esa, ularni doimiy kuchlanishdan iborat yig‘indilar sifatida qarash mumkin.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (8)$$

va amplitudali simmetrik o‘zgaruvchan kuchlanish

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (9)$$

bu yerda, σ_m – o‘rtacha sikl kuchlanishi; σ_a – kuchlanish siklining amplitudasi.

Nosimmetrik yuklanish siklida o‘rtacha kuchlanishlarning roli qoldiq kuchlanishlarning roliga teng bo‘ladi. Shunday qilib, agar qoldiq kuchlanishlar (5) munosabatlari orqali berilsa, m_1, m_2 va m_3 koeffitsientlari uchun hech qanday cheklov bo‘lmaydi. Shuning uchun siklning o‘rtacha kuchlanishlarining nisbat va qiymatlarini tanlash eng umumiy holdagi yechimga mos keladi. Oldingi formulalardan foydalanib, «qoldiq kuchlanishlar» tushunchasiga yangi ma’no beramiz, ya’ni ularni «siklning o‘rtacha kuchlanishlari» bilan almashtiramiz, «siklning maksimal (yoki minimal) kuchlanishi»ni esa «siklning musbat (yoki manfiy) amplitudasi» bilan almashtiramiz.

Yangi belgilashlarni qabul qilib, quyidagini hisobga olamiz:

$$\sigma_{1,m} = a_1 \sigma_{-1} ; \sigma_{2,m} = a_2 \sigma_{-1} ; \sigma_{3,m} = a_3 \sigma_{-1} , \quad (10)$$

bu yerda, a_1, a_2, a_3 – siklning mos keladigan o‘rtacha kuchlanishlarining nisbiy qiymatlari bo‘lgan doimiy koeffitsientlar.

Unda (6) ifodaga muvofiq quyidagicha boladi

$$\varepsilon_H = \frac{\sqrt{2}}{3K_1 + \eta_0 \cdot (a_1 + a_2 + a_3)} , \quad (11)$$

bu yerda, ε_H – asosiy kuchlanishlar sinfaz va nosimmetrik sikl bo‘yicha o‘zgarganda chidamlilik chegarasining nisbiy qiymati qabul qilinadi; bunda o‘lchov birligi sifatida simmetrik bir o‘qli cho‘zilish–siqilishdagi chidamlilik chegarasi olinadi.

K_1 ko'effitsienti (3)-formula bo'yicha hisoblanadi, bunda alohida ta'kidlash lozimki, o'zgaruvchan kuchlanish holati asosiy kuchlanishlarning maksimal va minimal qiymatlari σ_1 , σ_2 va σ_3 (ularning nominal kattaliklari bo'yicha) bilan, hamda ularning har birining amplitudalari bilan berilgan deb hisoblanadi. Bu holat R_2 va R_3 ko'effitsientlarini aniqlashda inobatga olinishi kerak.

Qoldiq kuchlanishlarning ta'sirini aniqlash uchun, ya'ni ta'sir qiluvchi kuchlanishlar sinfaz va nosimmetrik sikl bo'yicha o'zgarganida, faqat siklning o'rtacha kuchlanishlariga tegishli qiymatlarni o'zgartirish kifoya va ularni hisobga olish zarur bo'ladi.

$$\begin{aligned}\sigma_{1,m} &= (a_1 + m_1) \sigma_{-1}; \\ \sigma_{2,m} &= (a_2 + m_2) \sigma_{-2}; \\ \sigma_{3,m} &= (a_3 + m_3) \sigma_{-3},\end{aligned}\quad (12)$$

bu yerda, m_1, m_2, m_3 – ifodalar bo'yicha ko'effitsientlar (5).

Shunda, (11) ga o'xshash tarzda quyidagini olamiz:

$$\varepsilon_{H+0} = \frac{\sqrt{2}}{3K_1 + \eta_0 \cdot (a_1 + a_2 + a_3 + m_1 + m_2 + m_3)}, \quad (13)$$

bu yerda, ε_{H+0} – σ_{-1} birliklarida ifodalangan chidamlilik chegarasining nisbiy qiymati.

Qoldiq kuchlanishlarning ta'sirini aniqlash uchun (11) va (13) nisbatlarini tuzamiz:

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_{H+0}}{\varepsilon_H} = \frac{3K_1 + \eta_0 \cdot (a_1 + a_2 + a_3)}{3K_1 + \eta_0 \cdot (a_1 + a_2 + a_3 + m_1 + m_2 + m_3)}, \quad (14)$$

Formula (14) da ε_0 faqat qoldiq kuchlanishlar hisobiga chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishini ifodalaydi. $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ bo'lganda (14) ifoda o'zgaruvchan kuchlanishlar simmetrik sikl bo'yicha o'zgaradigan holatda olingan (2) tenglamaga to'liq mos keladi.

Olingan bog'liqliklardan ayrim xulosalarni ko'rib chiqamiz.

1.(14)-formuladan ko'rinadiki, qoldiq kuchlanishlar chidamlilik chegarasini faqatgina notekislik ko'effitsienti $\eta \neq 0$ bo'lgandagina o'zgartiradi.

Shunday qilib, cho'zilishga va siqilishga teng mustahkam materiallarda qoldiq kuchlanishlar o'z ta'sirini ko'rsatmaydi.

Qoldiq kuchlanishlarning samaradorligi (ya'ni ularning charchash mustahkamligiga ta'siri) η_0 kattaligi ortishi bilan giperbolik egri chiziq (bog'liqlik) bo'yicha oshib boradi, bu esa (2) yoki (14)-tenglama orqali aniqlanadi. [7] da keltirilgan egri chiziqlarni ko'rib chiqishda, ikkita xususiy holat (simmetrik egilish va simmetrik burilish) uchun, ya'ni $m_1 = m_2 = 1$ va $m_3 = 0$ bo'lganda, quyidagisi aniqlandi: bir xil material uchun ($\eta_0 = \text{const}$) cho'zuvchi qoldiq kuchlanishlar chidamlilik chegarasini kamaytirishi siquvchi kuchlanishlarning uni oshirishiga qaraganda kamroq bo'ladi. Bunda cho'zuvchi va siquvchi kuchlanishlarning (bir xil absolyut kattalikda) samaradorliklari o'rtasidagi farq notekislik ko'effitsienti qiymatlari ortishi bilan oshib boradi.

2.Bir xil qoldiq kuchlanish maydoni berilgan material uchun chidamlilik chegarasiga turlicha ta'sir ko'rsatadi, bu ta'sir esa amaldagi o'zgaruvchan kuchlanishlarning xarakteriga bog'liq. Masalan, agar (2) tenglamani quyidagi ko'rinishda ifodalasak:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{1 + \frac{1}{3K_1} \eta_0 \cdot (m_1 + m_2 + m_3)}, \quad (15)$$

chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishi (3) formula bo'yicha aniqlangan K_1 ko'effitsiyenti miqdoriga qarab farq qiladi.

Bu ko'effitsient keng doirada o'zgarishi mumkin:

$$0 \leq 3K_1 \leq \sqrt{6} \approx 2,45, \quad (16)$$

Quyi chegara qiymati $3K_1$ to'liq bir jinsli cho'zilish yoki siqilish holatiga to'g'ri keladi, ya'ni

$R_2 = R_3 = 1$ ($\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1$), bunda:

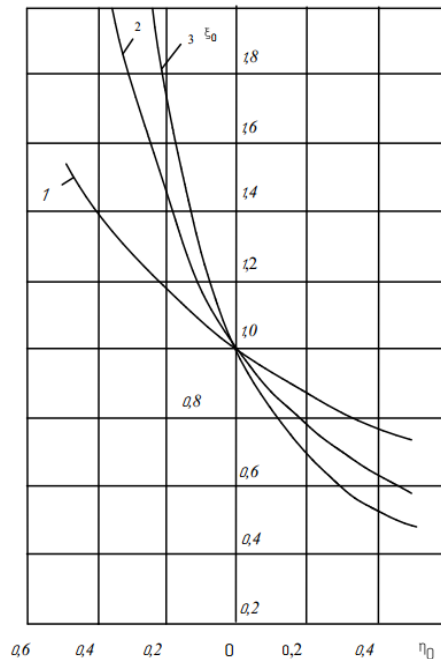
$$K_1 = \frac{1}{3} \sqrt{(1 - R_2)^2 + (R_2 - R_3)^2 + (R_3 - 1)^2} = 0$$

Bu holda $\eta_0 \cdot (m_1 + m_2 + m_3)$ ning har qanday chekli qiymati chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishi ε_0 ga ta'sir ko'rsatmaydi. Yuqori chegara qiymati $3K_1 = \sqrt{6}$ toza siljish holatiga mos keladi, bunda $R_2 = -1$ va $R_3 = 0$. Bir o'qli cho'zilish-siqilish (egilish) holatida, ya'ni $R_2 = R_3 = 0$ bo'lganda, $3K_1 = \sqrt{2}$ bo'ladi.

Shunday qilib, bir xil materialdan tayyorlangan va bir xil qoldiq kuchlanishlarga ega detallar uchun qoldiq kuchlanishlar chidamlilik chegarasiga egilish (cho'zilish-siqilish) holatida ko'proq, buralish (toza siljish) holatida esa kamroq ta'sir ko'rsatadi.

3. Qoldiq kuchlanishlarning chidamlilik chegarasiga ta'siri (berilgan oddiy yoki murakkab o'zgaruvchan kuchlanish holatida) nafaqat ularning kattaligi va belgisi bilan, balki qoldiq kuchlanishlarning holati (bir o'qli, ikki o'qli yoki hajmiy) bilan ham xarakterlanadi.

Bu holat yuqorida keltirilgan uchta xususiy holat uchun (6) ifodaga muvofiq diagrammada (3-rasmda) aks ettirilgan.



3-rasm. Qoldiq kuchlanishlarning xarakteriga qarab simmetrik egilishdagi nisbiy chidamlilik chegarasining o'zgarishi:

1 – chiziqli qoldiq kuchlanishlar, $m_1 = 1$; $m_2 = m_3 = 0$;

2 – ikki o'qli qoldiq kuchlanishlar, $m_1 = m_2 = 1$; $m_3 =$

0;

3 – hajmiy qoldiq kuchlanishlar, $m_1 = m_2 = m_3 = 1$.

1) chiziqli qoldiq kuchlanishlar

$$m_1 = 1; m_2 = m_3 = 0,$$

2) ikki o'qli qoldiq kuchlanishlar

$$m_1 = m_2 = 1; m_3 = 0,$$

3) hajmiy qoldiq kuchlanishlar

$$m_1 = m_2 = m_3 = 1$$

Formula (14) ni qayta yozamiz, bunda o'zgaruvchan kuchlanishlar hosil qiladigan tekis kuchlanish holati hisobga olinadi, ya'ni $\sigma_3 = 0$, $R_3 = 0$. Shunda (3) formuladagi K_1 koeffitsienti quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{1 - R_2 + R_2^2}, \quad (15)$$

R_2 o'rniga σ_2/σ_1 ifodasini almashtirib, quyudagini olamiz

$$K_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2}{\sigma_1^2}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\sigma_1}, \quad (16)$$

bu yerda, $\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2}$ - kuchlanish intensivligi.

Tekis kuchlanish holatini ko'rib chiqayotganimiz sababli, buni hisobga olish kerak

$$a_1 = \sigma_{1,m} / \sigma_{-1}; a_2 = \sigma_{2,m} / \sigma_{-1}; a_3 = 0, \quad (17)$$

Qoldiq kuchlanish holatini ham tekis ($m_3 = 0$) deb hisoblab, quyudagini olamiz

$$m_1 = \sigma_1^0 / \sigma_{-1} ; \quad m_2 = \sigma_2^0 / \sigma_{-1} . \quad (18)$$

(17) va (18) ifodalarni (14) formulaga almashtirib, o'zgarishlardan so'ng formulani yakuniy shaklda olamiz

$$\varepsilon_0 = \frac{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m})}{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m} + \sigma_1^0 + \sigma_2^0)} , \quad (19)$$

(19) formulada qoldiq kuchlanish tensorining invariantini hisobga olish kerak

$$\sigma_1^0 + \sigma_2^0 = \sigma_x^0 + \sigma_y^0 , \quad (20)$$

bu yerda, σ_x^0, σ_y^0 – koordinata o'qlariga yo'naltirilgan qoldiq kuchlanishlar (tangensial va o'qli).

Asimmetrik qoldiq kuchlanish holati uchun [8], $\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = \sigma_1^0 = \sigma_2^0$ va drob zarbasi bilan qattiqlashganda yoki shar bilan urilganda sodir bo'lganda, bog'liqlik biroz soddalashtirilgan

$$\varepsilon_0 = \frac{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m})}{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m} + 2\sigma^0)} , \quad (21)$$

(21) dan chiziqli qoldiq kuchlanish holati uchun quyidagini olamiz

$$\varepsilon_0 = \frac{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m})}{3K_1\sigma_{-1} + \eta_0 \cdot (\sigma_{1,m} + \sigma_{2,m} + \sigma_1^0)} , \quad (22)$$

(21) yoki (22)-ifodalar amaliy ahamiyatga ega bo'lishi va tajriba yo'li bilan aniqlangan qoldiq kuchlanishlar σ^0 hamda takroriy yuklanishga chidamlilik chegarasi σ_{-1} qiymatlariga bog'liq bo'lmisligi uchun, ushbu kattaliklarning analitik ifodalarini keltirish zarur.

Formulalar (21) yoki (22) ishchi bo'lishi va tajribaviy qoldiq ma'lumotlar σ^0 hamda chidamlilik chegarasi σ_{-1} ga bog'liq bo'lmisligi uchun, ushbu kattaliklarning analitik ifodalarini berish zarur.

Masalan, L.S. Sorkin [9] ishida vaqt bo'yicha o'zgaruvchi kuchlanishlar uchun bog'liqlik kattaliklarini tahlil qiladi, ular umumiy holda assimmetrik sikl bo'yicha o'zgaradi. Shulardan ayrimlarini ko'rib chiqamiz:

1) Gudman liniyasi

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} = 1; \quad (23)$$

2) Birger parabolasi

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}}\right)^2 + \frac{\sigma_m}{\sigma_B} = 1; \quad (24)$$

3) Gerber parabolasi

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)^2 = 1; \quad (25)$$

4) Zoderberg liniyasi

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{0,2}} = 1, \quad (26)$$

bu yerda, σ_a – chegaraviy amplituda, H/mm²;

σ_{-1} – simmetrik yuklash siklida chidamlilik chegarasi, H/mm²;

σ_m – o'rtacha sikl kuchlanishi, H/mm²;

σ_B – mustahkamlik chegarasi, H/mm²;

$\sigma_{0,2}$ – oquvchanlikni shartli chegarasi, Н/mm².

Chidamlilik chegarasi σ_{-1} (23) - (26) ifodalarida mos ravishda quyidagicha ifodalanadi:

$$1) \sigma_{-1} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B}}; \quad (27)$$

$$2) \sigma_{-1} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_B}}}; \quad (28)$$

$$3) \sigma_{-1} = \frac{\sigma_a}{1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_B}\right)^2}; \quad (29)$$

$$4) \sigma_{-1} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{0,2}}}; \quad (30)$$

Chidamlilik chegarasining (27)–(30) ifodalari, shuningdek qoldiq kuchlanishlarning nazariy qiymatlari σ_1^0 va σ_2^0 ni (19) formula ichiga qo'yish natijasida, faqat qoldiq kuchlanishlar hisobiga

chidamlilik chegarasining nisbiy o'zgarishi aniqlanadi. Chidamlilik chegarasining oshishi mashinasozlik buyumlarining chidamliligi va uzoq xizmat qilish muddatini ekspluatatsiya sharoitida o'zgaruvchan kuchlanishlar ta'sirida oshiradi. Ushbu holat, detallarni oxirgi (yakuniy) ishlov berish yoki maxsus mustahkamlovchi ishlovdan so'ng ularning yuza qatlamining holatiga qarab, xizmat muddati va ishonchligini prognozlashda hisob-eksperimental metodlarning alohida ahamiyat kasb etishini ko'rsatadi.

Qoldiq kuchlanishlar siklning doimiy kuchlanishiga qo'shimcha ta'sir ko'rsatadi. Ko'p siklli kuchlanish sharoitida qoldiq kuchlanishlarning konstruksiyaning mustahkamligiga ta'sirini baholashda quyidagi farazlar hisobga olinishi zarur:

1. qoldiq kuchlanishlar konstruksiyaning yuk ko'tarish qobiliyatiga siklning o'rtacha kuchlanishiga o'xshash ta'sir ko'rsatadi;
2. texnologik operatsiya (mustahkamlovchi ishlov) jarayonida hosil qilingan qoldiq kuchlanishlar buyum yoki namunalarni ekspluatatsiya jarayonida o'zgarmaydi;
3. hisoblashlarda yuzada yoki unga yaqin joylashgan maksimal qoldiq kuchlanishlar hisobga olinadi;
4. aylanish jismlarida qoldiq kuchlanishlar o'qqa nisbatan simmetrik taqsimlanadi.

Adabiyotlar

- [1]. Шин И.Г. Интенсивность остаточных напряжений при поверхностном пластическом деформировании деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. – №2. – С10-13.
- [2]. Шин И.Г., Максудов Р.Х. Метод расчета глубины упрочненного слоя деталей при поверхностной обработке дробью // Вестник машиностроения, 2011. - №4 – С.44-47.
- [3]. Шин И.Г. Влияние технологических остаточных напряжений на усталостную прочность // Проблемы текстиля. 2004. - №1. – С.63-68.
- [4]. Шин И.Г. Технологические методы обеспечения качества и прогнозирования долговечности деталей машин первичной обработки хлопка; Дис. ...докт. техн. наук. – Ташкент: ТИТЛП, 2014. – 264Сс.
- [5]. Kasimov, B. (2023). Improvement of the environmental safety of weaving equipment by reducing the wear of contact surfaces. E3S Web of Conferences, 390. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339001025>.
- [6]. Kholmiraev, N., Turakhodjaev, N., Saidmakhamadov, N., Tadjiev, N., Khasanov, J., Yusupov, B., ... & Juraev, J. (2024, December). Improvement of the Technology of Melting of Low Alloy Steel Alloy in an Electric Arc Furnace. In Materials Science Forum (Vol. 1139, pp. 3-9). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-2AMBsZ>
- [7]. Khasanov, J., Kholmiraev, N., Saidmakhamadov, N., Tojiboev, B., Dilshodbek, E., Makhammadjanov, K., ... & Otakuziev, A. (2024). DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING THIN-WALLED DETAILS FROM GRAY CAST IRON IN SAND-CLAY MOULDS. International Journal of Mechatronics & Applied Mechanics, (18). <https://doi.org/dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue18.24>
- [8]. Turakhodjaev N. et al. Quality improvement of the steel melting technology in an electric arc furnace //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. – 2021. – T. 11. – №. 7. – С. 48-54.
- [9]. Kasimov B. Experimental determination of the depth and degree of riveting of the surface layer of Batan teeth //Middle European Scientific Bulletin. – 2021. – T. 18. – С. 169-171.

**БУДУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И
РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ И МЕЛИОРАТИВНОЙ ТЕХНИКИ**

А.Ш. Муйдинов

*Андижанский государственный технический институт,**al-beruniy2005@mail.ru**(Получена 17.10.2025 г.)*

Аннотация. В статье анализируются современные и перспективные направления в эксплуатации, восстановлении и ремонте сельскохозяйственной и мелиоративной техники с учётом внедрения цифровых технологий, аддитивного производства, методов предиктивного обслуживания и роботизации. Исследование основано на обзоре последних работ (2020–2025 гг.), включая прикладные исследования и обзорные статьи. Обоснованы основные технологические и организационные барьеры, предложены рекомендации по архитектуре интеллектуальных сервисных систем и моделям восстановления.

Ключевые слова: эксплуатация, предиктивное обслуживание, аддитивные технологии, цифровая диагностика, восстановление, сельскохозяйственная техника, роботизация.

Abstract. This article examines current and emerging trends in the operation, restoration, and repair of agricultural and reclamation machinery, considering the integration of digital technologies, additive manufacturing, predictive maintenance methods, and robotics. The study is based on a review of recent literature (2020–2025), including empirical and survey-based works. Key technological and organizational barriers are discussed, and recommendations are proposed for architectures of intelligent service systems and restoration models.

Keywords: operation, predictive maintenance, additive manufacturing, digital diagnostics, restoration, agricultural machinery, robotics.

Annotatsiya. Maqolada raqamli texnologiyalar, additiv ishlab chiqarish, bashoratli xizmat ko'rsatish va robotlashtirish usullarini joriy etishni hisobga olgan holda qishloq xo'jaligi va melioratsiya texnikalaridan foydalanish, ularni tiklash va ta'mirlashning zamonaviy va istiqbolli yo'nalishlari tahlil qilingan. Tadqiqot so'nggi ishlarning (2020-2025-yillar) sharhiga, shu jumladan amaliy tadqiqotlar va sharh maqolalariga asoslangan. Asosiy texnologik va tashkiliy to'siqlar asoslangan, intellektual xizmat ko'rsatish tizimlari arxitekturasini va tiklash modellari bo'yicha tavsiyalar taklif etilgan.

Kalit so'zlar: ekspluatatsiya, bashoratli xizmat ko'rsatish, additiv texnologiyalar, raqamli diagnostika, qayta tiklash, qishloq xo'jaligi texnikasi, robotlashtirish.

Введение: Современное сельское хозяйство всё активнее использует технологические инновации: от IoT-датчиков и машинного зрения до аддитивного производства и алгоритмов машинного обучения. Эти технологии открывают новые возможности для:

- снижения простоев техники,
- оптимизации затрат на ремонт и обслуживание,
- увеличения срока службы машин и узлов,
- внедрения принципов устойчивого развития и экологического контроля.

Однако остаются значительные вызовы: несовершенство диагностических систем, отсутствие стандартизации данных, высокая стоимость и сложность аддитивного восстановления, а также недостаточная готовность кадров и организаций к новым методам.

Современные исследования и эмпирические данные (2020–2025 гг.)

Ниже приведены ключевые исследования, иллюстрирующие разные аспекты тенденций:

Исследование	Основная тема / технологический всплеск	Основные результаты
Senin, P. V., Chatkin, M. N., & Kilmyashkin, E. A. (2024). <i>Additive Technologies for Production and Repair of Agricultural Equipment. Engineering Technologies and Systems</i> , 34(4), 584-596. DOI:10.15507/2658-4123.034.202404.584-596	Аддитивные технологии в производстве и ремонте сельскохозяйственной техники	Исследование цикла от 3D-сканирования, 3D-печати до вакуумного отливания показало, что применение таких технологий позволяет значительно снизить время и стоимость восстановления узлов техники.
Lu, Y., Xu, W., Leng, J., Liu, X., Xu, H., Ding, H., Zhou, J., & Cui, L. (2024). <i>Review and Research Prospects on Additive Manufacturing Technology for Agricultural Manufacturing. Agriculture</i> , 14(8), 1207. https://doi.org/10.3390/agriculture14081207	Обзор перспектив аддитивного производства для сельскохозяйственных машин	Обзор показывает, что АМ (additive manufacturing) активно растёт, особенно в изготовлении прототипов, замене деталей, кастомизации; отмечены слабые стороны — стойкость материалов, стандарт качества и ограниченная доступность оборудования.
Study of the Stress–Strain State of the Structure of the GP-50 Support Bushing Manufactured by 3D Printing from PLA Plastic. <i>Polymer Composites and Composites</i> . (2025).	Восстановление и печать деталей (подшипников, втулок) для насосов и гидравлики	Показано, что 3D-печатные втулки с заполнением около 50% дают стресс-деформационные характеристики, приближенные к полностью заполненным; экономия материала и времени важна.
Dorokhov, A. S., Kataev, Y. V., Kostomakhin, M. N., Petrishchev, N. A., Pestryakov, E. V., Sayapin, A. S. (2024). <i>Management of the technical condition of agricultural machinery using digital technologies. Российская сельскохозяйственная наука</i> , №5 (2024), 51-56.	Цифровые технологии диагностики и мониторинга состояния	Рассмотрены применения телеметрии, удалённого мониторинга, сенсорных сетей; подчеркнута роль цифровых двойников и автоматизированных систем сбора данных.
Stamatis Apeiranthitis, Paraskevi Zacharia, Avraam Chatzopoulos, & Michail Papoutsidakis (2024). <i>Predictive Maintenance of Machinery with Rotating Parts Using Convolutional Neural Networks. Electronics</i> , 13(2), 460.	Предиктивное обслуживание вращающихся узлов (насосы, моторы и др.)	Демонстрация того, что сверточные нейронные сети (CNN) позволяют выявлять аномалии в вибрации, шуме и температуре ещё до отказов; высокое качество классификации дефектов.
Florina Maria Șerdean, Mihai Dan Șerdean, Silviu-Dan Mândru. <i>Maintenance Cost Minimization for an Agricultural Harvesting Gripper. Sensors</i> , 23(8), 4103, 2023.	Оптимальная политика обслуживания / замены компонентов	Разработана модель, которая минимизирует суммарные затраты, балансируя между преждевременной заменой и риском отказа, применительно к манипулятору сбора урожая.

Fontani, M., Luglio, S. M., Gagliardi, L., Peruzzi, A., Frascioni, C., Raffaelli, M., Fontanelli, M. (2025). <i>A Systematic Review of 59 Field Robots for Agricultural Tasks: Applications, Trends, and Future Directions. Agronomy</i> , 15(9), 2185. https://doi.org/10.3390/agronomy15092185	Роботы сельскохозяйственного назначения: обзор	Обобщение типов задач (посев, прополка, сбор урожая и др.), технологий (vision, AI, автономная навигация), оценка барьеров – стоимость, надёжность, внедрение на разных масштабах производства.
---	--	---

Анализ тенденций и технологические направления

Исходя из приведённых исследований, можно выделить следующие ключевые тенденции:

- 1. Переход к предиктивному обслуживанию (Predictive Maintenance / PdM).** Использование машинного обучения, нейронных сетей, CNN-моделей для диагностики вращающихся частей, контроль вибраций, температуры, шума. Например, исследования, такие как Apeiranthitis et al. (2024) показывают, что CNN могут достоверно выявлять предотказные стадии.
- 2. Аддитивные технологии (3D-печать, 3D-сканирование, вакуумное отливание) для ремонта и восстановления.** Применение АМ не только в прототипировании, но и в изготовлении конечных деталей для ремонта: втулки, шестерни, зубчатые элементы. Экономия материалов и времени — ключевые преимущества. Ограничения — прочностные характеристики, стандарты, качество поверхностей.
- 3. Цифровые технологии и мониторинг состояния машины.** Внедрение сенсорных сетей, телеметрии, цифровых двойников. Например, Dorokhov et al. (2024) подчеркивают важность цифровых платформ. Эти технологии позволяют собирать данные в реальном времени и анализировать тенденции износа.
- 4. Оптимизация политики обслуживания и затрат.** Исследования, как Сэрдеан и др. (2023), показывают, что не всегда наилучшее — максимально частое техническое обслуживание; важно балансировать между затратами на замену и риском внезапного отказа.
- 5. Роботизация и автономные системы.** Использование сельскохозяйственных роботов не только для работ в поле (посев, прополка, сбор урожая), но и для задач обслуживания, например автоматизированных инспекций, возможно, мелкого ремонта, замены деталей на местах. Обзор Fontani et al. (2025) показывает, что робототехника растёт, но сталкивается с ограничениями в энергоэффективности, инфраструктуре, надёжности в сложных условиях.

Барьеры и проблемные аспекты

Идентифицировано несколько ключевых барьеров:

Материальные ограничения аддитивных деталей: прочность, устойчивость к нагрузкам, температурным и влажностным воздействиям; качество поверхности.

Недостаток стандартизации в сборах данных, форматах диагностики, протоколах предиктивного обслуживания.

Высокие капитальные затраты на оборудование, как для АМ, так и для сенсорных сетей / роботов.

Кадровый потенциал: требуется обучение персонала, компетенции в ИИ, маш. обучении, аддитивных технологиях.

Организационные и управленческие сложности: сложности интеграции новых систем в действующие производства, сопротивление изменениям, необходимость поддержки от государств / нормативов.

Рекомендации и концептуальная модель

На основе обзора можно предложить архитектуру модели классификации для предприятий, занимающихся сельхозтехникой:

Система сбора данных

- a. Устанавливаем датчики (температура, вибрация, нагрузка)
- b. Телеметрия + цифровой двойник машины

Модуль предиктивной диагностики

- a. Использование обученных моделей (CNN, LSTM, др.)
- b. Алгоритмы раннего предупреждения и оценки остаточного ресурса

Восстановительный модуль с аддитивными технологиями

- a. 3D-сканирование сломанной детали
- b. Печать / трансформация / ремонт с применением подходящих материалов
- c. Верификация качества (тесты прочности, лабораторные испытания)

Интеллектуальное сервисное управление

- a) ERP-системы, CMMS с интеграцией данных PdM
- b) Планирование обслуживания с учётом прогноза, стоимости, доступности запасных частей

Обучение и развитие кадров-Создание образовательных программ по АМ, цифровым методам диагностики и робототехнике.

Заключение: Перспективы эксплуатации, восстановления и ремонта сельскохозяйственной и мелиоративной техники связаны с: широким распространением предиктивных стратегий обслуживания; активным использованием аддитивных технологий для ремонта и изготовления деталей, особенно в удалённых регионах; интеграцией цифровых систем мониторинга и диагностики; развитием роботизированных и автономных сервисных решений; совершенствованием нормативной базы, стандартов и образовательных программ.

Для реализации этих тенденций требуется сотрудничество между производителями техники, исследовательскими институтами, поставщиками ПО и правительством, особенно в части субсидирования, стандартизации и поддержки инфраструктуры.

Список литературы

- [1]. Senin, P. V., Chatkin, M. N., & Kilmyashkin, E. A. (2024). *Additive technologies for production and repair of agricultural equipment. Engineering Technologies and Systems*, 34(4), 584-596. DOI:10.15507/2658-4123.034.202404.584-596
- [2]. Lu, Y., Xu, W., Leng, J., Liu, X., Xu, H., Ding, H., Zhou, J., & Cui, L. (2024). Review and research prospects on additive manufacturing technology for agricultural manufacturing. *Agriculture*, 14(8), 1207. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081207>
- [3]. Study of the stress-strain state of the structure of the GP-50 support bushing manufactured by 3D printing from PLA plastic. (2025). *Polymer Composites and Composites*, 9(8), 408.
- [4]. Dorokhov, A. S., Kataev, Y. V., Kostomakhin, M. N., Petrishchev, N. A., Pestryakov, E. V., & Sayapin, A. S. (2024). Management of the technical condition of agricultural machinery using digital technologies. *Российская сельскохозяйственная наука*, (5), 51-56.
- [5]. Apeiranthitis, S., Zacharia, P., Chatzopoulos, A., & Papoutsidakis, M. (2024). Predictive maintenance of machinery with rotating parts using convolutional neural networks. *Electronics*, 13(2), 460. <https://doi.org/10.3390/electronics13020460>
- [6]. Şerdean, F. M., Şerdean, M. D., & Mândru, S.-D. (2023). Maintenance cost minimization for an agricultural harvesting gripper. *Sensors*, 23(8), 4103. <https://doi.org/10.3390/s23084103>
- [7]. Fontani, M., Luglio, S. M., Gagliardi, L., Peruzzi, A., Frascioni, C., Raffaelli, M., & Fontanelli, M. (2025). A systematic review of 59 field robots for agricultural tasks: Applications, trends, and future directions. *Agronomy*, 15(9), 2185. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092185>.

АБСОРБЦИЯ ҚУРИЛМАСИ ТЕШИКЛИ ТАРЕЛКАЛАРИНИНГ ҚАРШИЛИК
КОЭФФИЦИЕНТЛАРИНИ ТАЖРИБАВИЙ АНИҚЛАШ

И.Л. Халилов, И.Т. Каримов

Фарғона давлат техника университети
(Қабул қилинди 17.10.2025 й.)

Аннотация. Мазкур мақолада барботажли абсорбция қурилмаси аралаштириш зонасига ўрнатилган турли ўлчамдаги майдада тешикли тарелкаларнинг қаршилик коэффицентларини аниқлаш учун ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар натижалари келтирилган. Газларни тозалашда абсорбция жараёнининг самарадорлиги тарелкаларнинг тешик ўлчамларига ва уларнинг қаршилик коэффицентлари орқали баҳоланади. Ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар натижалари асосида уч хил ўлчамдаги тарелкаларнинг қаршилик коэффицентлари аниқланган. Натижада қурилманинг аралаштириш зонасигидродинамик жараёнларини баҳолаш ва массаалмашинув жараёни самарадорлигини аниқлаш учун имконият яратилган.

Калим сўзлар: Курилма, барботаж, абсорбция, тарелка, қаршилик коэффиценти, тешик ўлчами, газ тезлиги ва суюқлик сарфи, массаалмашинув.

Аннотация. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных для определения коэффициентов сопротивления тарелок с мелкими отверстиями различных размеров, установленных в зоне перемешивания барботажного абсорбционного устройства. Эффективность процесса абсорбции при очистке газов оценивается по размерам отверстий тарелок и их коэффициентам сопротивления. По результатам проведенных экспериментальных исследований определены коэффициенты сопротивления тарелок трех разных размеров. В результате появилась возможность оценить гидродинамические процессы в зоне перемешивания устройства и определить эффективность процесса массообмена.

Ключевые слова: Устройство, барботаж, абсорбция, тарелка, коэффициент сопротивления, размер отверстия, скорость газа.

Abstract. This article presents the results of experimental studies to determine the resistance coefficients of small-hole plates of various sizes installed in the mixing zone of the bubble absorption unit. The effectiveness of the absorption process in gas purification is evaluated by the size of the plate holes and their resistance coefficients. Based on the results of experimental studies, the resistance coefficients of plates of three different sizes were determined. As a result, it is possible to assess the hydrodynamic processes of the mixing zone of the device and determine the effectiveness of the mass transfer process.

Keywords: Device, bubbling, absorption, plate, resistance coefficient, hole size, gas velocity and liquid flow rate, mass transfer.

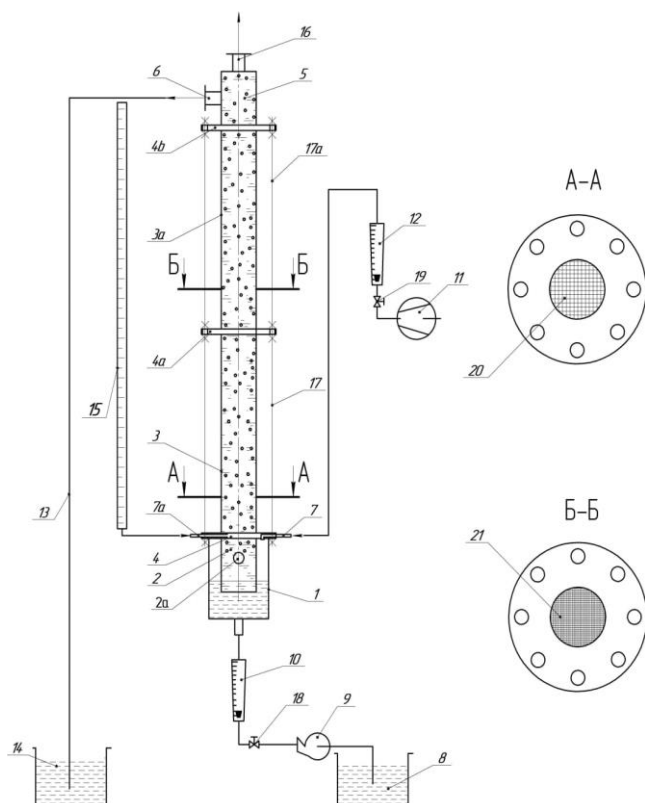
Кириш

Ҳозирги кунда барботажли абсорбция қурилмалари кимё, нефтни қайта ишлаш, курилиш материаллари ва бошқа саноат корхоналарида кенг қўлланилмоқда. Бу абсорбция қурилмаларининг самарадорлиги қурилмада қўлланиладиган контакт элементларининг конструкцион тузилиши ва контакт ҳосил қилиш хусусиятлари билан чамбарчас боғлиқ. Тарелкалар қурилма ичида газ ва суюқлик ўртасидаги контактни таъминлайдиган асосий элементлардан бири бўлиб, улардаги тешик ўлчамлари, шакли, ва материаллари аппаратнинг умумий иш самарадорлигига таъсир қилади. Биз томонимиздан таклиф қилинаётган ва яратилган барботажли абсорбция қурилмасида [1,2,3] майда тешикли тарелкаларнинг қаршилик коэффиценти, яъни газ ва суюқлик оқимлари ўртасидаги қаршилиқнинг микдорий ифодаси, қурилманинг гидродинамик хусусиятларини баҳолашда муҳим рол ўйнайди. Шунинг учун барботажли абсорбция қурилмаларида тарелкаларнинг

қаршилик коэффицентларини аниқлаш юзасидан илмий изланишлар ўтказиш долзарб аҳамиятга эга. Ушбу тадқиқотда уч хил думалоқ майда тешикларга эга бўлган тарелкаларнинг қаршилик коэффицентлари тажрибавий тадқиқотлар натижасида аниқланди [2,3,4,5].

Тадқиқот объекти

Тадқиқот объекти сифатида Фарғона политехника институти “Технологик машиналар ва жихозлар” кафедрасида яратилган ва махсус стендга ўрнатилган барботажли абсорбция (газлифт) аппаратининг тажриба қурилмасидан фойдаланилди. Қуйида келтирилган 1-расмда аппаратнинг кинематик схемаси ва 2-расмда фотосуръати келтирилган.



1-расм. Тажриба қурилмаси схемаси.

1-Газ тақсимлаш бўлими, 2-газ тақсимлаш насадкаси, 2а-газ узатувчи тешик, 3-остки секция, 3а-устки секция, 4,4а,4б-фланецлар, 5-ажратувчи қисм,6-тўйинган абсорбент қувири,7- газ узатиш канали, 8-абсорбент учун идиш, 9-насос, 10-ротаметр, 11-захарли газ компрессори, 12-захарли газ ротаметри, 13-тўйинган абсорбент идиши, 14-абсорбентни оқизувчи қувур, 15-туташ идиш найчаси, 16-тозаланган газ қувири, 17- тортувчи шпилкалар, 18-абсорбент вентиль, 19-газ вентили, 20-йирик сетка, 21- майда сетка.



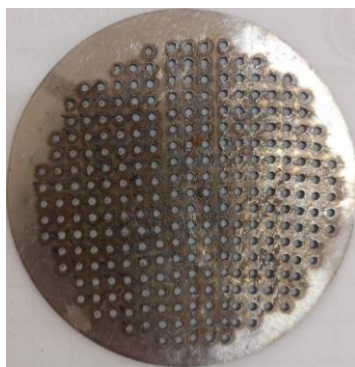
2-расм. Умумий кўриниши.

Олинган натижалар

Ўтказилган тажрибавий тадқиқотларда, барботажли абсорбция қурилмасининг аралаштириш зонасига кетма-кет ўрнатиладиган уч хил ўлчамдаги тешикли тарелкаларнинг қаршилик коэффицентларини аниқлаш бўйича тажрибалар олиб борилди. Ўтказилган тажрибавий тадқиқотларда тешикли тарелкаларнинг нисбий қаршилик коэффицентларини аниқлаш, тарелкаларда ҳосил қилинган тешикларнинг умумий юзасини, тарелканинг умумий юзасига нисбати орқали аниқланади. Чунки қурилмада тарелкадаги тешик юзаларининг ортиши қаршилик коэффицентини камайишига тўғри поропорционал равишда камаяди. Тарелкаларнинг нисбий қаршилик коэффиценти қуйидагича аниқланади. 3-расмда уч хил ўлчамдаги тешикли тарелкаларнинг фотосуръати келтирилган.



397та тешик, диаметри 1мм



278та тешик, диаметри 1.5 мм



198та тешик, диаметри 2 мм

3-расм. Уч хил ўлчамдаги тешикли тарелкаларнинг кўриниши.

Тарелкаларнинг нисбий қаршилик коэффиценти қуйидаги 1-формула орқали топилади.

$$\xi_n = \frac{S_T}{S_t} \quad (1)$$

Бу ерда: S_t –тарелкадаги тешикларнинг умумий юзаси, m^2 ; S_T –тарелканинг умумий юзаси, m^2 .

Газ ва абсорбент оқимларида тарелка тешиклари ўлчами қанча кичик бўлса, қаршилик коэффиценти ортади, аксинча, тешик ўлчами қанча катта бўлса қаршилик коэффиценти камайиб боради.

Тарелканинг умумий юзасини қуйидаги 2-формула орқали аниқлаймиз.

$$S = \pi r^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{56}{1000}\right)^2 = 3,14 \cdot 0,00314 = 0,0985, \quad m^2 \quad (2)$$

Тарелкадаги тешикларнинг эгаллаган юзасини 3-формула орқали топамиз.

$$S = \pi r^2 n \quad (3)$$

Бу ерда n -тешиклар сони.

1мм ли тешикларнинг эгаллаган юзасини топамиз. Тешиклар сони 397 тани ташкил этади.

$$S = \pi r^2 n = 3,14 \cdot \left(\frac{1}{1000}\right)^2 \cdot 397 = 0,00125 m^2$$

1,5мм ли тешикнинг эгаллаган юзасини топамиз. Тешиклар сони 278 тани ташкил этади.

$$S = \pi r^2 n = 3,14 \cdot \left(\frac{1,5}{1000}\right)^2 \cdot 278 = 0,0019 m^2$$

2мм ли тешикнинг эгаллаган юзаси қуйидагига тенг бўлади. Тешиклар сони 198 тани ташкил этади.

$$S = \pi r^2 n = 3,14 \cdot \left(\frac{2}{1000}\right)^2 \cdot 198 = 0,0025 m^2$$

Бу аниқланган юзаларга боғлиқ ҳолда тарелкаларнинг нисбий қаршилик коэффицентларини аниқлаймиз. 1мм ли тешикнинг нисбий қаршилик коэффиценти қуйидагига тенг бўлади.

$$\xi_n = \frac{S_t}{S_T} = \frac{0,0985}{0,00125} = 78,8$$

1,5мм ли тешикнинг нисбий қаршилик коэффиценти қуйидагига тенг бўлади.

$$\xi_n = \frac{S_t}{S_T} = \frac{0,0985}{0,0019} = 51,8$$

2мм ли тешикнинг нисбий қаршилиқ коэффициентлари қуйидагига тенг бўлади.

$$\xi_n = \frac{S_t}{S_T} = \frac{0,0985}{0,0025} = 39,4$$

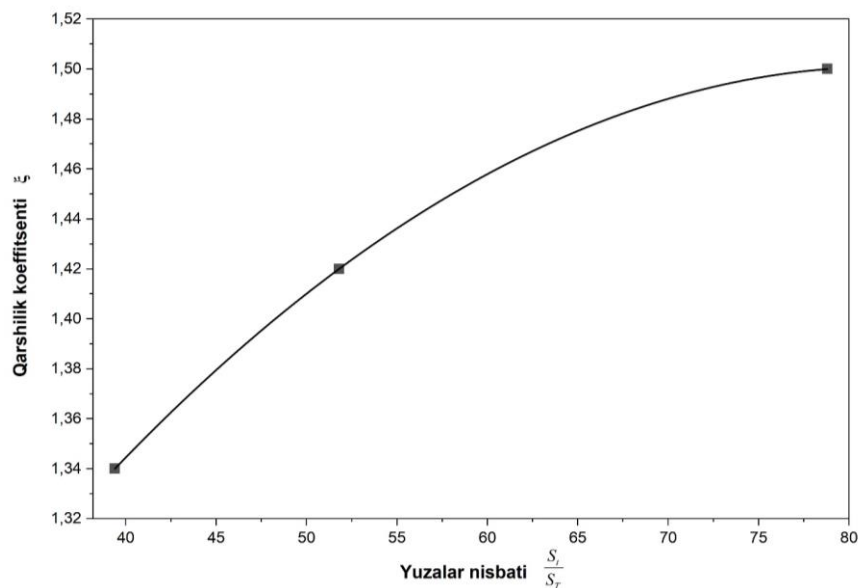
Тажрибавий тадқиқотларнинг кейинги босқичида 3 хил ўлчамдаги тешикли тарелкаларнинг ҳақиқий қаршилиқ коэффициентларини аниқлашга қаратилди. Буни аниқлаш учун дастлаб тажриба қурилмасини аралаштириш зонасига тарелкаларни ўрнатмаган ҳолда 3 литр сув қуйилди ва оқиб чиқиш вақти аниқланди. Тажрибаларнинг кейинги босқичда 3 хил ўлчамдаги d=1;1,5;2 мм тешикли тарелкалар аппаратнинг аралаштириш зонасига кетма-кет ўрнатилиб, ҳар бири учун алоҳида-алоҳида 3 литр сув қуйилди ва оқиб чиқиш вақти аниқланди. Аппаратга тарелкаларни ўрнатмаган ҳолатидаги суюқликни оқиш вақти ва тарелкаларни ўрнатган ҳолатидаги суюқликни оқиб чиқиш вақтлари фарқидан тарелкаларнинг қаршилиқ коэффициентлари аниқланди. Тажрибавий тадқиқотлар қайта-қайта такрорланди.

Тарелкалар қўйилмасидан олдин қурилма ишчи зонасидан суюқликни оқиб чиқиш вақти ўртача 13 секундни ташкил этди. Тешик ўлчами d=1;1,5;2 мм ли тарелкалар кетма кет ўрнатилиб тажрибалар олиб борилганда тешик диаметри ортиб бориши билан оқиб чиқиш вақти мос равишда камайиб борди. Диаметри d=1 мм бўлган тешикли тарелка ўрнатилганда 3 литр сувни оқиб чиқиш вақти $t_{\text{ўл}}=20$ секундни, d=1,5мм тешикли тарелка ўрнатилганда t=18,4 секундни d=2 мм тешикли тарелка ўрнатилганда эса t=17,4 секундни ташкил этди. Тешикли тарелкаларнинг қаршилиқ коэффициентлари қуйидагича аниқланди.

$$\xi = \frac{t_n}{t_0} \quad (4)$$

Бу ерда t_n -3 литр ҳажмдаги сувни насадкадан оқиб чиқиш вақти, сек; t_0 -сувни насадка қўйилмаган ҳолатидан оқиб чиқиш вақти, сек.

Ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар натижасида тешик ўлчами d=1 мм бўлган тарелканинг қаршилиқ коэффициенти $\xi=1,5$ га, тешик ўлчами d=1,5 мм ли тарелканинг қаршилиқ коэффициенти $\xi=1,42$ га, тешик ўлчами d=2 мм бўлганда эса $\xi=1,34$ га тенглиги аниқланди (1-жадвал). Олинган тажриба натижалари компьютер дастури асосида қайта ишланиб боғлиқлик графиги қурилди (5-расм).



5-расм. Тешикли тарелкаларнинг юзаларлар нисбатига боғлиқ ҳолда қаршилиқ коэффициентини ўзгариш графиги.

№	Тажриба суюқлиги хажми, (литр)	Тарелка қўйилмасидан	Тарелка қўйилган ҳолат					
		Оқиш вақти t (секунд)	t 1мм	ξ	t 1.5мм	ξ	t 2мм	ξ
1	3	12.9	19.35	1.5	17.54	1.36	16.51	1.28
2		13.1	19.13	1.46	18.34	1.40	17.16	1.31
3		13.3	20.48	1.54	18.89	1.42	17.82	1.34
4		13.9	23.49	1.51	20.43	1.47	19.60	1.41
5		13.6	20.40	1.5	19.72	1.45	18.50	1.36
		Ўртача 13 секунд	20	1.5	18.4	1.42	17.42	1.34

Олинган регрессия тенгламаси кўриниши қуйидагича

$$y = 0,0039x + 1,2 \quad R^2 = 0,9562$$

Юқорида керамик насадкаларнинг нисбий қаршилиқ коэффициентини аниқлаб олдик. Кейинги вазифа тажрибавий тадқиқотлар натижасида аниқланган қаршилиқ коэффициенти ва нисбий қаршилиқ коэффициентларига боғлиқ ҳолда тузатиш коэффициенти қийматини аниқлаймиз.

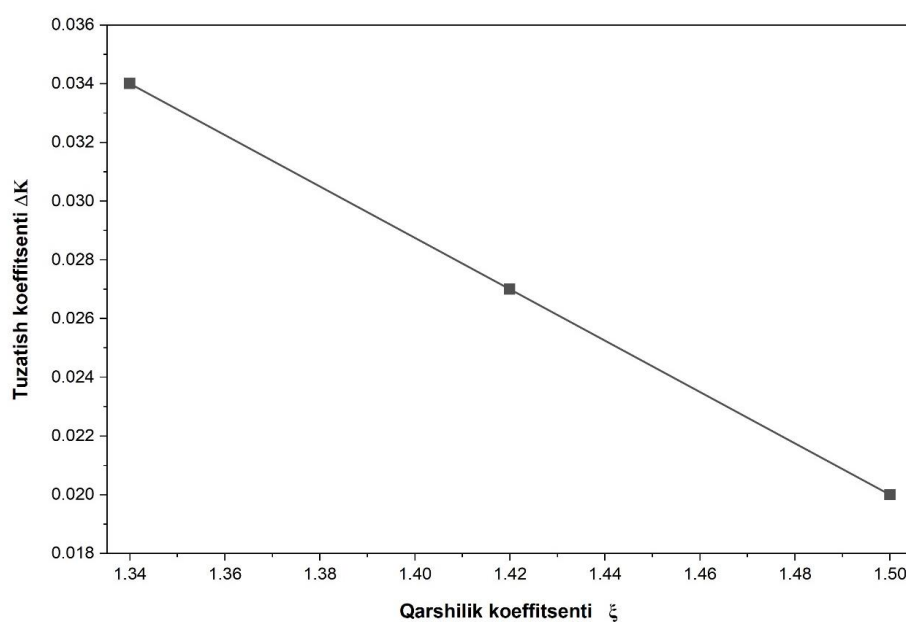
Тузатиш коэффициенти ΔK ни қуйидагича аниқлаймиз.

$$\Delta K = \frac{\xi}{\xi_n}$$

Бунинг учун тажрибалар орқали топилган қаршилиқ коэффициенти ξ ни нисбий қаршилиқ коэффициенти ξ_n га бўламиз. Ўлчами 1мм ли тарелкани қаршилиқ коэффициентини аниқлашда тузатиш коэффициентини қуйидагича аниқлаймиз.

$$\Delta K = \frac{\xi}{\xi_n} = \frac{1.5}{78,8} = 0,019$$

Тешиқ диаметри d=1,5 ва 2 мм тешикли тарелкалар учун ҳам тузатиш коэффициентлари шу усулда аниқланди. Тешиқ диаметри 1,5 мм бўлган тарелка учун тузатиш коэффициенти $\Delta K=0,027$ га, тешиқ диаметри 2 мм бўлган тарелка учун тузатиш коэффициенти $\Delta K=0,034$ га тенг бўлди. Олинган тажриба натижалари компютер дастури асосида қайта ишланиб боғлиқлик графиклари қурилди (6-расм).



6-расм. Тешикли тарелкаларнинг қаршилиқ коэффициентиға боғлиқ ҳолда тузатиш коэффициентини ўзгариш графиги.

Олинган регрессия тенгламаси кўриниши

$$y = -0,0875x + 0,1512 \quad R^2 = 1$$

Хулоса

Мазкур мақолада барботажли абсорбция қурилмаси аралаштириш зонасига ўрнатилган турли ўлчамдаги майдада тешикли тарелкаларнинг қаршилик коэффициентларини аниқлаш учун ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар натижалари келтирилди. Газларни тозалашда абсорбция жараёнининг самарадорлиги тарелкаларнинг тешик ўлчамларига ва уларнинг қаршилик коэффициентлари орқали баҳоланади. Ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар натижалари асосида уч хил ўлчамдаги тарелкаларнинг қаршилик коэффициентлари аниқланди. Натижада қурилманинг аралаштириш зонасигидродинамик жараёнларини баҳолаш ва массаалмашинув жараёни самарадорлигини аниқлаш учун имконият яратилди.

Адабиётлар

- [1]. Karimov I.T., A.S. Isomiddinov, G.I. Madaminova, I.L. Xalilov. Gazlift apparati O'z. Res. PATENT № IAP 7727 tashkent 12.06.2024 yil.
- [2]. Karimov I.T., Xalilov I. L. Hydrodynamics of Absorption Bubbling Apparatus/ Бюллетень науки и практики / Bulletin of Science and Practice T. 7. №11. 2021 210-219.betlar
- [3]. Karimov I.T., Xalilov I. L. Barbotajli absorbsiya apparati/ FarPI ilmiy-texnika jurnali 2022, T.24, спец. №1 49-52 bet
- [4]. Karimov I.T., Xalilov I.L. Barbotajli absorbsiya apparati/ Andijon «FAN, TA'LIM VA TEXNIKANI INNOVATION RIVOJLANTIRISH MASALALARI» Xalqaro ilmiy-amaliy onlayn anjuman 257-259 bet
- [5]. Karimov I.T., Xalilov I. L. Hydrodynamics of barbotajs absorbtion apparatus/ Труды международной научно-практической конференции ««Ауезовские чтения–20: наследие Мухтара Ауезова» посвященная 125 - летию М.О. АУЕЗОВА- Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауезова, 2022 г.

УДК 532.529.

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ В ГРУНТАХ И ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Т.А. Джалилова

Андижанский государственный технический институт

djalilova@mail.ru

(Получена 17.10.2025 г.)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada turli tuzilishga ega gruntlarda va tog' jinslarida kamuflet turdagi sferik portlashlar natijasida yuzaga keladigan kavernaning dinamik kengayishi masalasi ko'rib chiqilgan. Masala plastik gaz modeli asosida yechilgan bo'lib, bu yondashuv gruntни zarba to'liqini ortida qayta yuklanishini hisobga oladi. Tezlik uchun differensial tenglama hosil qilinib, u sonli usulda yechilgan. Hisoblash natijalari tajribaviy ma'lumotlar bilan solishtirilib, ularning yaxshi mosligi aniqlangan. Turli grunt turlari va portlovchi modda quvvatlari uchun kavernaning radiusi, bosim va to'liqin parametrlarining vaqt bo'yicha o'zgarishi tahlil qilingan.*

Kalit so'zlar: kamuflet portlash, sferik kavernalar, grunt dinamikasi, plastik gaz modeli, zarba to'liqini, sonli yechim.

Аннотация. В статье рассматривается задача динамического расширения сферической полости, возникающей при камуфлетных взрывах в грунтах и горных породах различной структуры. В отличие от традиционных методов, используется модель пластического газа, позволяющая учесть особенности разгрузки среды за фронтом ударной волны. Задача сведена к решению дифференциального уравнения относительно скорости фронта, которое решается численно. Проведено сравнение расчетных результатов с экспериментальными данными, показавшее удовлетворительное соответствие. Рассмотрены различные типы грунтов и мощности зарядов.

Ключевые слова: камуфлетный взрыв, сферическая полость, динамика грунтов, модель пластического газа, ударная волна, численное решение.

Abstract. This article addresses the problem of dynamic expansion of a spherical cavity resulting from camouflet-type explosions in soils and rocks of different structures. Unlike previous approaches, the plastic gas model is applied, which accounts for the unloading behavior of the medium behind the shock front. The problem is reduced to a differential equation for the shock front velocity, solved numerically. The calculated results are compared with experimental data, showing good agreement. The study analyzes cavity radius, pressure, and wave parameters over time for various soil types and explosive charges.

Keywords: camouflet explosion, spherical cavity, soil dynamics, plastic gas model, shock wave, numerical solution.

В данной работе, в отличие от [1-3], задача о камуфлетном сферическом взрыве в грунтах различной структуры решается в рамках модели пластического газа [4]. Ранее при рассмотрении аналогичной задачи в [5] получена система интегро-дифференциальных уравнений, решение которых построено численно с использованием приближенного подхода об несжимаемости среды за фронтом волны.

Здесь для решения вышеуказанной задачи применяется приближенно-аналитический подход, позволяющий свести задачу к решению одного дифференциального уравнения относительно скорости сферической волны $R(t)$, которое имеет простой и удобный для вычислений вид. Кроме того, проведено сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными. Расчеты на вычисленной системе проведены для случая, когда экспериментальные ударные диаграммы объемного сжатия сред [6], представляемые зависимостью между давлением и объемной деформацией, аппроксимируются полиномом четвертой степени.

Пусть в сферической полости с первоначальным радиусом R_0 помещен заряд ВВ с удельным весом $\rho_{ВВ}$ (г/см³) и энерговыделением $Q_{ВВ}$ (кДж/кг). При взрыве указанного заряда в грунте «мгновенно» возникает газ высокого давления, под действием которого происходит расширение сферической каверны по политропическому закону и распространение интенсивной сферической волны в грунте. Из-за того, что скорость волны намного превосходит скорость расширения полости (каверны) в грунте между ними появляется возмущенная область. В дальнейшем необходимо определить параметры волны, возмущенной области и расширяющейся полости.

Согласно модели пластического газа [4] грунт на фронте ударной волны $R(t)$ мгновенно нагружается, а за ним в области возмущения происходит жесткая необратимая разгрузка среды, в которой объемная деформация среды зависит только от координаты r и не зависит от времени t , т.е. $\varepsilon p = \varepsilon^*(r)$. В этом случае, в отличие от [1, 2], величина и характер изменения деформации $\varepsilon^*(r)$ в области разгрузки заранее неизвестны и определяются из решения задачи.

Основные уравнения одномерной сферической задачи после некоторых преобразований [7] сводятся к дифференциальному уравнению для скорости $R(t)$ распространения ударного фронта, которое из-за громоздкости здесь не приводится. Затем решение этого дифференциального уравнения строится численно на вычислительной системе при выполнении начальных условий. $R(0) = R_0$.

После вычисления скорости $R(t)$ волны последовательно находятся величины давления и скорости грунта на ударном фронте, параметры каверны и возмущенной области. Для иллюстрации численных результатов по предлагаемой методике проведены расчеты на вычислительной системе для исходных данных различных грунтов, полученных на основе аппроксимации экспериментальных кривых [6] и для различных мощностей зарядов ВВ.

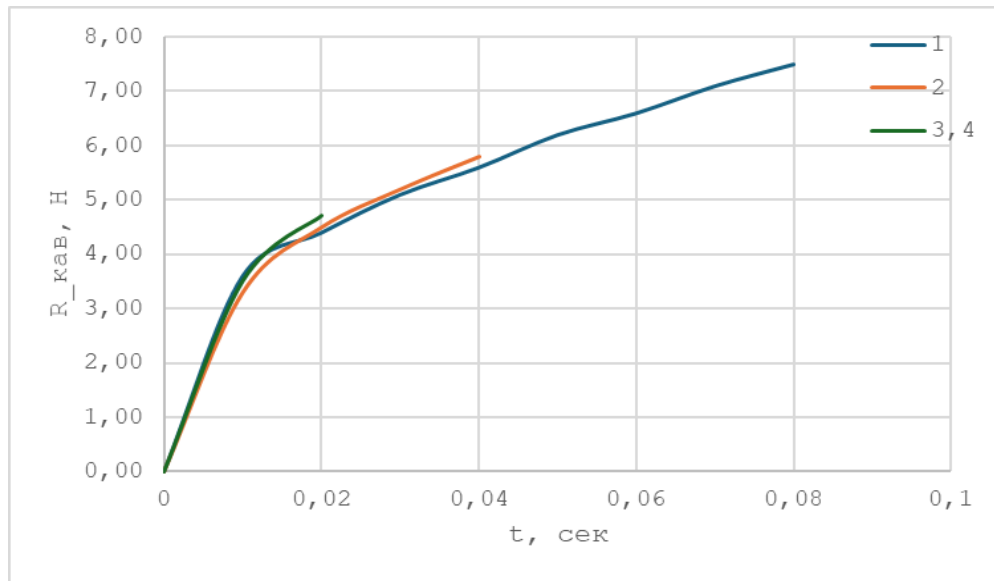


Рис.1.

Результаты расчетов для зарядов ВВ из тротила массой $m_{ВВ} = 10$ т ($r_0 = 1,1427$ м) в виде графиков изменения радиуса полости $R_{кав}(t)$, давления $p_{кав}(t)$ в зависимости от времени представлены на рис. 1, 2, где кривые 1-4 относятся соответственно к сухому песку, известняку, базальту и граниту.

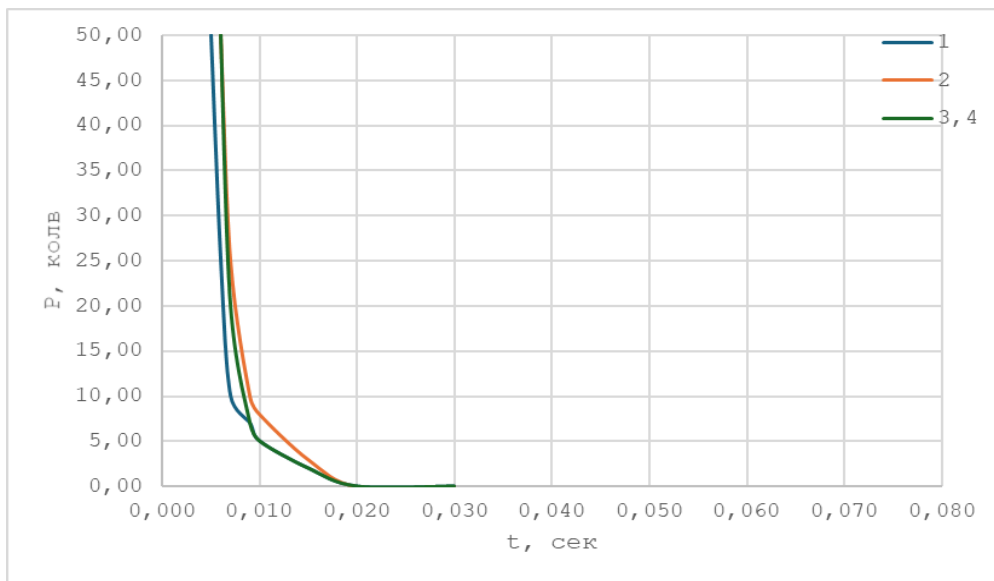


Рис.2.

На основе анализа численных результатов заметим, что при камуфлетном взрыве в среде происходит нелинейное динамическое расширение каверны в зависимости от времени и кривая $R_{кав}(t)$ имеет выпуклую вверх форму, т.е. $R_{кав}/dt > 0$, $d^2R_{кав}/dt^2 < 0$. Следовательно, в дальнейшем по истечении определенного интервала времени каверна достигает предельного конечного размера, скорость волны становится постоянной, а её интенсивность сравнительно слабой. В общем случае эти асимптотические величины для указанных параметров зависят от мощности и видов заряда ВВ, структуры среды и формы полости. Из-за медленного затухания давления в цилиндрической каверне по сравнению со сферической радиус цилиндрической полости увеличивается во времени быстрее и по величине превосходит радиус сферической полости.

Таблица 1

, кг	, м	Эксперимент V , мм/сек	Расчет		
			w , мм/сек		
			Базальт	Известняк	Песок
17000	1000	8	10.84	6.50	6.60
10000	1700	4	3.08	1.84	1.74
1314	1100	3.3	2.67	2.13	1.42
2112	600	13 и 14	10.37	8.47	6.19
7450	1500	4 и 4.5	3.35	2.13	1.91
1705	450	20 и 24	17.27	13.91	9.84
4960	400	31 и 37	36.44	25.68	22.00
2780	500	15 и 220	16.56	13.40	10.26

Далее проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [8]. Для этого в таблице 1 при различных мощностях взрывов и расстояний приводятся величины массовой скорости грунта V и w , полученные соответственно экспериментальным и расчетным путем. Анализ этих результатов показывает, что для базальта, известняка и песка результаты опытно-промышленных взрывов и расчетов по величинам скорости грунта находятся в удовлетворительном соответствии. Имеющее место различие расчетных и экспериментальных данных, в среднем (30÷60) %, объясняется тем, что модель «пластического газа» не учитывает прочностные характеристики горной породы, а массовые взрывы на карьерах проводились в горном массиве сложной структуры и они по существу являются приповерхностными.

Список литературы

- [1]. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973, - 407с.
- [2]. Ишлинский А.Ю., Зволинский Н.В., Степаненко И.З. К динамике грунтовых масс. ДАН СССР, т.95, №4, 1954.
- [3]. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. М.: Наука, 1975, -704с.
- [4]. Рахматулин Х.А., Сагомоян А.Я., Алексеев Н.А. Вопросы динамики грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1964, - 239с.
- [5]. Рахматулин Х.А., Степанова Л.И. О распространении волны взрыва в грунтах. //Вопросы теории разрушения под действием взрыва. М.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 149-159.
- [6]. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. М.: Недра, 1974. -192с.
- [7]. Аверсьев С.П., Атабаев К., Мамадалиев Н. и др. Динамическое расширение сферической и цилиндрической полости в нелинейно-сжимаемой пластической среде. Узб.ж. Проблемы механики №2-3, 1999, с.9-16.
- [8]. Итоговый НТО по договору от 17.06.1993г. №241-2224-93 ЦНИИМАШ С АО «Норильский комбинат», М.: 1993г.

QOLIP DETALLARIGA ISHLOV BERISHDA SIRT SIFATINI TAGUCHI USULI ASOSIDA OPTIMALLASHTIRISH

D.A. Akbarov, Y.Y. Xusanov

Farg'ona davlat texnika universiteti

E-mail: akbarovdostonbek07@gmail.com tel: +998993621544

E-mail: yunusali1987@mail.ru tel: +998994820387

(Qabul qilindi 17.10.2025 y.)

Аннотация. Ushbu maqolada qolip detallariga ishlov berish jarayonida sirt g'adir-budirligini kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish maqsadida Taguchi usulidan foydalanish asoslari yoritilgan. Ishlov berish parametrlarining sirt sifatiga ta'siri tahlil qilinib, kesish tezligi, surish va kesish chuqurligi kabi asosiy omillar uchun optimal qiymatlar aniqlangan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, sirt g'adir-

budirligi $Ra \approx 0,62$ mkm gacha kamayishi mumkinligi aniqlangan. Shuningdek, energiya sarfi va asbob yeyilishini kamaytirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: qolip detali, frezalash, sirt g'adir-budirligi, Taguchi usuli, kesish tezligi, surish, kesish chuqurligi, optimallashtirish, samaradorlik, ANOVA.

Аннотация. В данной статье изложены основы применения метода Тагути для снижения шероховатости поверхности и повышения эффективности обработки формообразующих деталей. Проведен анализ влияния параметров обработки, таких как скорость резания, подача и глубина резания, на качество поверхности, а также определены их оптимальные значения. Согласно результатам исследования, шероховатость поверхности может быть снижена до $Ra \approx 0,62$ мкм. Кроме того, разработаны рекомендации по снижению энергопотребления и износа инструмента.

Ключевые слова: формообразующая деталь, фрезерование, шероховатость поверхности, метод Тагути, скорость резания, подача, глубина резания, оптимизация, эффективность, ANOVA.

Abstract. This article presents the fundamentals of applying the Taguchi method to reduce surface roughness and improve the efficiency of machining mold components. The influence of processing parameters such as cutting speed, feed rate, and depth of cut on surface quality has been analyzed, and their optimal values have been determined. According to the study results, the surface roughness can be reduced to approximately $Ra \approx 0.62$ micron. Additionally, recommendations have been developed to decrease energy consumption and tool wear.

Keywords: mold component, milling, surface roughness, Taguchi method, cutting speed, feed rate, depth of cut, optimization, efficiency, ANOVA.

KIRISH

Mashinasozlik sanoatida qolip detallarining sifati mahsulotning ishlash aniqligi, mustahkamligi, o'lcham bardoshliligi va xizmat muddatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa, qoliplar avtomobilsozlik, plastmassa va metall quyish sanoatida yuqori aniqlik talab qilinadigan detallarni tayyorlashda asosiy texnologik element hisoblanadi. Shu sababli, qolip detallarini tayyorlashda sirt sifatini boshqarish, energiya tejamkor ishlov berish usullarini qo'llash va texnologik parametrlarni optimallashtirish zamonaviy ishlab chiqarishning dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Qolip detallariga ishlov berish jarayonida sirt g'adir-budirligini kamaytirish — ishlab chiqarish samaradorligi, texnologik ishonchlilik va yakuniy mahsulot sifatini oshirishning eng muhim yo'nalishlaridan biridir. Sirt g'adir-budirligi (Ra) detal yuzasining geometrik mikroxususiyatlarini tavsiflaydi va u ishqalanish, issiqlik almashinuvi, sillqlik, moylanish hamda mahsulotning xizmat muddatiga bevosita ta'sir etadi. Sirtning g'adir-budirligi ko'plab texnologik omillarga, jumladan, kesish tezligi (V_c), surish (f), kesish chuqurligi (t), kesuvchi asbob materiali, qattiqligi, ishlov berilayotgan materialning fizik xususiyatlari, kesish kuchlari va tebranishlar intensivligiga bog'liq bo'ladi. Ushbu omillar o'zaro bog'liq bo'lgani uchun, sirt sifatini nazariy yo'l bilan bashorat qilish yoki faqat bitta parametrga asoslanib baholash amalda ancha murakkabdir. Shu bois, kesish parametrlarini tanlashda statistik tahlil va tajriba rejalashtirish usullarini qo'llash eng muhim ilmiy yondashuv hisoblanadi.

So'nggi yillarda ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish va optimallashtirishda Taguchi usuli o'zining samaradorligi, aniqligi va universalligi bilan alohida o'rin egalladi. Ushbu usul yapon olimi Genichi Taguchi tomonidan ishlab chiqilgan bo'lib, u ishlab chiqarishdagi o'zgaruvchanlikni kamaytirish, sifatni oshirish va jarayon barqarorligini ta'minlashga qaratilgan. Taguchi metodologiyasi yordamida minimal tajribalar sonida jarayon omillari va ularning o'zaro ta'siri o'rganiladi, natijada eng qulay parametrlar kombinatsiyasi aniqlanadi. Taguchi yondashuvi ishlab chiqarish tizimida signal/shovqin (S/N) nisbati tushunchasiga asoslanadi. Bu ko'rsatkich jarayon natijalarining barqarorligini ifodalaydi va o'zgaruvchanlikni minimallashtirish orqali optimal texnologik parametrlarni aniqlash imkonini beradi. Bunda "smaller-the-better" mezonini sirt g'adir-budirligini kamaytirish maqsadida eng ko'p qo'llaniladigan variantlardan biridir. Zamonaviy mashinasozlikda sirt sifatini oshirish bilan birga energiya samaradorligi, asbob yeyilishining kamaytirilishi, sovutish-moylash vositalarining ekologik muvofiqligi kabi omillar ham e'tiborga olinadi. Shu sababli, optimal kesish parametrlarini aniqlashda nafaqat sirt g'adir-budirligini, balki ishlab chiqarish xarajatlari va asbobning xizmat muddatini ham kompleks tahlil qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Mazkur tadqiqotning maqsadi — qolip detallarini frezalash jarayonida sirt g'adir-budirligini kamaytirish uchun Taguchi usuli asosida optimal kesish tezligi, surish va kesish

chuqurligi qiymatlarini tanlash hamda ishlab chiqarish samaradorligini oshirishdir. Tadqiqot natijalari asosida aniqlangan optimal texnologik parametrlar ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llanilganda sirt sifati yaxshilanadi, energiya sarfi kamayadi va asbobning xizmat muddati uzayadi.

TADQIQOT METODIKASI

Tajriba rejalashtirishda Taguchi L9 ortogonal massiv asosida uchta omil tanlandi:

A – kesish tezligi (V_c , m/min),

B – surish miqdori (f , mm/ayl),

C – kesish chuqurligi (t , mm).

Har bir omil uchta darajada o'zgartirildi (1, 2, 3-darajalar). Javob funksiyasi sifatida sirt g'adir-budirligi (R_a , mkm) o'lchandi.

Tajriba qiymatlari asosida S/N nisbati "smaller-the-better" mezonini bo'yicha hisoblandi:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

bu yerda y_i – sirt g'adir-budirlilik qiymati, n – o'lchovlar soni.

Taguchi usuli natijalari ANOVA (Analysis of Variance — dispersiya tahlili) yordamida baholandi.

Har bir omilning umumiy natijaga ta'sir ulushi quyidagicha aniqlandi:

Omil	Ta'sir ulushi (%)
Surish (f)	52.6
Kesish tezligi (V_c)	34.1
Kesish chuqurligi (t)	13.3

Tahlil natijalariga ko'ra, surish miqdori sirt sifatiga eng kuchli ta'sir ko'rsatadi. Kesish tezligi oshgani sayin sirt g'adir-budirligi kamayadi, ammo juda yuqori tezlikda asbob yeyilishi kuchayadi. Shu sababli o'rta diapazondagi qiymatlar optimal deb topiladi.

NATIJALAR VA TAHLIL

1. Taguchi natijalarining tahlili

Taguchi usuli asosida aniqlangan optimal kombinatsiya:

$V_c = 180$ m/min, $f = 0.10$ mm/ayl, $t = 0.2$ mm.

Shu rejimda $R_a = 0.62$ mkm qiymatga erishiladi. Bu an'anaviy texnologik rejimlarga nisbatan taxminan 33% yaxshilanish demakdir.

Model tenglamasi tahlili:

$$R_a = 0.95 - 0.0012V_c + 4.8f + 0.15t$$

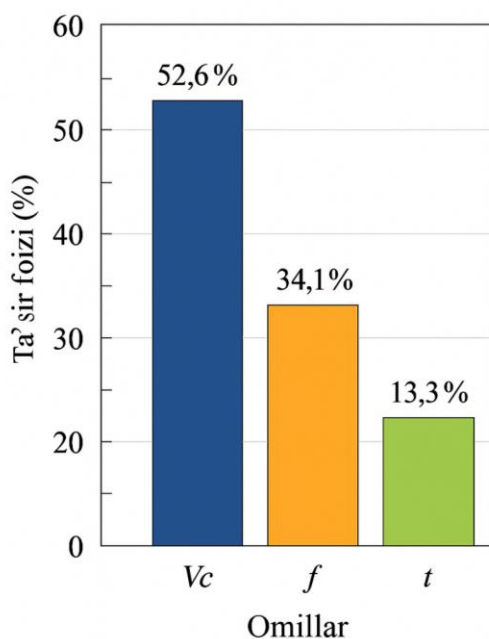
Bu tenglama sirt g'adir-budirligi va asosiy parametrlar orasidagi bog'liqlikni ifodalaydi.

Tajriba natijalari asosida sirt g'adir-budirligi (R_a) ning asosiy texnologik parametrlar — kesish tezligi (V_c), surish (f) va kesish chuqurligi (t) bilan bog'liqligi quyidagi regressiya model tenglamasi yordamida ifodalandi:

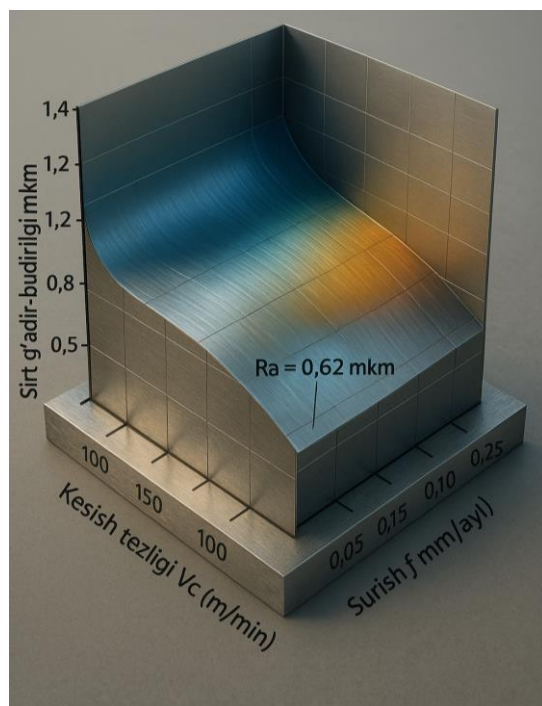
Mazkur tenglama sirt g'adir-budirligining (R_a) ishlov berish parametrlariga bog'liqligini ifodalaydi. Ushbu matematik model kesish jarayonidagi asosiy omillar — kesish tezligi (V_c), surish (f) va kesish chuqurligi (t) o'rtasidagi munosabatni aniqlash imkonini beradi. Model yordamida ishlov berish rejimlari o'zgarganda sirtning mikrogeometrik holatini baholash mumkin. Bu yondashuv ishlab chiqarish jarayonini tahlil qilish, resurs sarfini kamaytirish va optimal parametrlarni tanlashda muhim ahamiyatga ega. Ko'rinib turibdiki, kesish tezligi (V_c) koeffitsienti manfiy qiymatga ega — bu tezlik ortganda sirt sifati yaxshilanib, R_a kamayishini bildiradi. Bunday holat issiqlik almashinuvi tezlashuvi, qirindining silliq uzilishi va tebranishlarning kamayishi bilan izohlanadi. Yuqori tezlikda asbob metallni mayda zarrachalar shaklida ajratadi, natijada sirt deformatsiyasi kamayadi va silliqlik ortadi. Surish (f) va kesish chuqurligi (t) musbat koeffitsientlarga ega bo'lib, ularning ortishi sirt g'adir burirligini kuchaytiradi. Surish ortganda asbob bir aylanishda ko'proq metall qatlamini olib tashlaydi, bu esa izlarning chuqurlashishiga sabab bo'ladi. Kesish chuqurligi oshganda esa kontakt maydoni kengayadi, kesish kuchlari ortadi va

jarayon barqarorligi pasayadi. Model natijalariga ko'ra, sirt g'adir budirligiga eng katta ta'sir surish (f) ga to'g'ri keladi ($\approx 52\%$), undan keyin V_c (34%) va t (13%) joylashgan. Bu nisbatlar frezalash jarayoni, asbob geometriyasi va material xossalari bilan bog'liq. Sirt shakllanishida mexanik deformatsiya, issiqlik ta'siri va tebranishlar asosiy ro'l o'ynaydi. Yuqori surish miqdorida sirt mikrorelyefi notekis bo'lib, qo'shimcha silliqlashni talab qiladi. Model yordamida turli sharoitlarda sirt g'adir-budirligini prognoz qilish, ishlab chiqarish parametrlarini optimallashtirish va eng qulay kesish rejimlarini aniqlash mumkin. Bu yondashuv ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi, energiya sarfini kamaytiradi hamda asbobning xizmat muddatini uzaytiradi. Modeldan foydalanish yangi materiallar uchun sinov tajribalarini qisqartirish va natijalarni matematik baholash imkonini beradi. Modelning aniqligi ANOVA (dispersiya tahlili) orqali tasdiqlandi. Tahlil natijalariga ko'ra, asosiy texnologik omillar sirt sifatiga haqiqiy va sezilarli ta'sir ko'rsatgani aniqlangan. Bu modelning yuqori aniqligini ko'rsatadi. ANOVA tahlili bo'yicha ta'sir foizlari — $f = 52,6\%$, $V_c = 34,1\%$, $t = 13,3\%$ — sirt sifatiga har bir parametrlarning hissasini ifodalaydi. Shunday qilib, regressiya tenglamasi frezalash jarayonlarida sirt sifatini nazorat qilishni soddalashtiradi, tajriba sonini kamaytiradi va optimal parametrlarni aniqlashda amaliy qo'llanma sifatida xizmat qiladi. Model yordamida $R_a \approx 0,62$ mkm gacha silliq sirt hosil qilish mumkin, bu qolip detallarida yuqori aniqlik va sifatni ta'minlaydi.

Taguchi ANOVA natijalari



1-rasm. Sirt g'adir-budirligiga (R_a) kesish parametrlarining (V_c , f , t) ta'sir foizlari (ANOVA tahlili bo'yicha).



2-rasm. Kesish tezligi (V_c) va surish (f) parametrlariga nisbatan sirt g'adir-budirligining (R_a) 3D relyef grafiki.

2. Tadqiqot natijalari taqqoslanishi

Hasan Öktem (2006) tomonidan o'tkazilgan tadqiqot natijalarida sirt g'adir-budirligi 0.68 mkm ga kamaygan. Ushbu tadqiqotda olingan $R_a=0.62$ mkm qiymati shuni ko'rsatadiki, natijalar yaqin, ammo yaxshilangan holat kuzatilgan.

Shun Liu (2018) ishlarida sirt strukturasining yopishish samaradorligiga ta'siri tahlil qilingan. Unga ko'ra, sirtning juda silliq bo'lishi yopishish kuchini kamaytiradi, shuning uchun sirt silliqdigi optimal darajada ($R_a \approx 0.6-0.8$ mkm) bo'lishi lozim.

3. Energiya samaradorligi va asbob yeyilishi

Kesish tezligi oshirilganda asbob yuzasida issiqlik miqdori ortadi, bu esa metallning plastiklik deformatsiyasiga sabab bo'ladi. Tajribalar ko'rsatdiki, optimal rejimda ishlov berish energiya sarfini 12–15% ga kamaytiradi, asbobning xizmat muddatini esa 20% gacha uzaytiradi.

Shixiong Wu (2021) tomonidan olib borilgan MQL asosidagi tajribalar ham bu natijani tasdiqlaydi: yogʻ miqdorini kamaytirish bilan issiqlik tarqalishi yaxshilanadi va sirt sifati oshadi.

MUNOSABATLAR VA AMALIY TAVSIYALAR

Tahlil natijalariga asoslanib quyidagi amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi:

Qolip detallarini frezalashda Taguchi L9 yoki L18 ortogonal massivlaridan foydalanish tajriba vaqtini 40–50% gacha qisqartiradi.

Optimal ishlov berish parametrlarini aniqlashda ANOVA tahlili orqali surishning asosiy taʼsiri hisobga olinishi zarur.

Frezalash asboblari qattiq qotishmali (karbidli) pichoqlardan foydalanish sirt sifatini 10–15% yaxshilaydi.

Kesish jarayonida hosil boʻladigan tebranishlarni kamaytirish uchun minimal yogʻlash (MQL) texnologiyasini qoʻllash tavsiya etiladi.

Qolip detallarining yuzasini $Rz \leq 3.2$ mkm darajasida saqlash uchun ishlovdan keyin engil silliqlash (lapping) amaliyoti samarali hisoblanadi.

XULOSALAR

Taguchi usuli asosida sirt gʻadir-budirligini tahlil qilish natijasida optimal parametrlar ($V_c = 180$ m/min, $f = 0.10$ mm/ayl, $t = 0.2$ mm) aniqlanib, $Ra \approx 0.62$ mkm ga erishiladi.

Surish miqdori sirt sifatiga eng kuchli taʼsir koʻrsatgan (52.6%), kesish tezligi esa 34.1% ulush bilan ikkinchi omil hisoblanadi.

Optimallashtirilgan rejim ishlab chiqarish samaradorligini 30–35% oshirdi, energiya sarfini 12–15% ga kamaytiradi.

Asbob yeyilishining kamayishi natijasida frezaning xizmat muddati 20% ga uzayadi.

Taguchi yondashuvi nafaqat sirt sifatini, balki ishlab chiqarishning iqtisodiy koʻrsatkichlarini ham yaxshilash imkonini beradi.

Adabiyotlar

- [1]. Hasan Öktem, T. Erzurumlu, M. Kurt. A study of the Taguchi optimization method for surface roughness in finish milling of mold surfaces. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2006.
- [2]. Shun Liu et al. Optimization of 3D surface roughness induced by milling operation for adhesive-sealing. *Procedia Manufacturing*, 2018.
- [3]. Shixiong Wu et al. High-speed milling of hardened mold steel P20 with MQL. *J. Manuf. Process.*, 2021.
- [4]. Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, 2017.
- [5]. ISO 4287:1997. Geometrical Product Specifications – Surface texture parameters.
- [6]. Ross P.J. Taguchi Techniques for Quality Engineering. McGraw-Hill, 1996.
- [7]. Rao R.V. Decision making in the manufacturing environment using the Taguchi method. Springer, 2007.
- [8]. Xu Y., Li J. Experimental investigation of cutting parameters on surface roughness in end milling. *Mater. Today Proc.*, 2020.
- [9]. “Ishlab chiqarish korxonalarida innovatsion, resurstejamkor texnika va texnologiyalarni joriy etish hamda atrofmuhitni muhofaza qilishning dolzarb muammolari va yechimlari” mavzusidagi 2- xalqaro ilmiy anjumani 18-19 aprel, fargʻona-2025. Fargʻona davlat texnika universiteti materiallar toʻplami 1-qism, “ CNC dastgohlarida yuqori aniqlik va sirt sifati taʼminlash texnologiyalari ”, Xusanov Yunusali Yuldashaliyevich, Akbarov Dostonbek Axmadali oʻgʻli
- [10]. “Ishlab chiqarish korxonalarida innovatsion, resurstejamkor texnika va texnologiyalarni joriy etish hamda atrofmuhitni muhofaza qilishning dolzarb muammolari va yechimlari” mavzusidagi 2- xalqaro ilmiy anjumani 18-19 aprel, fargʻona-2025. Fargʻona davlat texnika universiteti materiallar toʻplami 1-qism, “ Qolip detallariga mexanik ishlov berish jarayonining samaradorligini oshirish”, Xusanov Yunusali Yuldashaliyevich, Akbarov Dostonbek Axmadali oʻgʻli
- [11]. Altintas Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and cnc design. Cambridge univ. Press, 2012.
- [12]. “Oʻzbekistonda mashinasozlikning zamonaviy yoʻnalishlari va dolzarb muammolari” mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman materiallari toʻplami 2025-yil 13-14 may, “CNC frezalashda kesish parametrlarini optimallashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish” Y.Y. Xusanov, t.f.d., dotsent, D.A. Akbarov
- [13]. “Zamonaviy ilm-fanning dolzarb muammolari va ularning innovatsion yechimlari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya maqola va tezislari toʻplami 1-qism, “Polimer mahsulotlar ishlab chiqarish uchun qolip

tayyorlashda chuqur yuzalarga frezalar yordamida cnc dastgohida ishlov berishda samarali texnologik yondashuvlar” Akbarov Dostonbek Axmadali o‘g‘li tayanch doktorant, Xusanov Yunusali Yuldashaliyevich, t.f.d., dotsent.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПО РАСХОДУ ТОПЛИВА

А.А. Эрназаров¹, С.С. Мусурмонов², Э.Б. Хайтбаев³

¹Джизакский политехнический институт. aziz-ernazarov@mail.ru .тел:93 940 41 23

²Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
musurmonovsarvarbek2@gmail.com ,тел. 998991051695

³Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
ergashhayitboyev@gmail.com, 998883254550

(Получена 17.10.2025 г.)

Аннотация: В исследовании рассмотрено совершенствование методики и разработка алгоритма диагностики технического состояния автомобиля по изменению индикаторного расхода топлива автомобиля. Для решения этой задачи были предложены математические зависимости и алгоритм расчёта расхода топлива и коэффициентов полезного действия автомобиля по агрегатам. Также после выполнения математического моделирования расхода топлива через КПД были проведены экспериментальные исследования показателей расхода топлива автомобиля Chevrolet Cobalt.

Ключевые слова: автомобиль, расход топлива, КПД автомобиля, скорость автомобиля.

Annotatsiya: tadqiqotda metodologiyani takomillashtirish va avtomobilning yoqilg'i sarfini o'zgartirish uchun avtomobilning texnik holatini diagnostika qilish algoritmini ishlab chiqishni ko'rib chiqadi. Ushbu muammoni hal qilish uchun matematik bog'liqliklar va agregatlar bo'yicha avtomobilning yoqilg'i sarfi va foydalanish koeffitsiyentlarini hisoblash algoritmi taklif qilindi. Shuningdek, samaradorlik orqali yoqilg'i sarfini matematik modellashirish amalga oshirilgandan so'ng, Chevrolet Cobalt avtomobilining yoqilg'i sarfi ko'rsatkichlari bo'yicha eksperimental tadqiqotlar o'tkazildi.

Kalit so'zlar: avtomobil, yoqilg'i sarfi, avtomobil samaradorligi, avtomobil tezligi.

Abstract: The study considers the improvement of the methodology and the development of an algorithm for diagnosing the technical condition of a car by changing the indicator fuel consumption of the car. To solve this problem, mathematical dependencies and an algorithm for calculating fuel consumption and vehicle efficiency coefficients by aggregates were proposed. Also, after performing mathematical modeling of fuel consumption through efficiency, experimental studies of fuel consumption indicators of the Chevrolet Cobalt car were conducted.

Keywords: car, fuel consumption, car efficiency, car speed.

Введение. Развитие автомобильной техники в направлении выпуска автомобилей, повышения их качества, надёжности и долговечности одновременно требует применения новых методов и алгоритмов диагностики.

Расход топлива является комплексным показателем, который характеризует эффективность использования транспортного средства, энергетическое совершенствование конструкции автомобиля, уровень технического состояния машины и разнообразие условий эксплуатации. При диагностике автомобиля по топливной экономичности необходимо сравнивать измеренное значение расхода топлива с нормативными показателями. Однако в справочной литературе отсутствуют нормативные значения расхода топлива в литрах на 100 км по маркам автомобилей. Заводы-производители в технической документации на автомобиль не указывают нормы эксплуатационного расхода топлива или приводят завышенные значения топливной экономичности автомобиля.

Изменение технического состояния узлов и систем автомобиля приводит к повышенным потерям энергии, что в конечном итоге увеличивает расход топлива и снижает мощность автомобиля. Если контролировать потери энергии в каждом агрегате автомобиля, то по расходу топлива можно диагностировать не только общее состояние автомобиля, но и

локализовать неисправности по агрегатам. Общая оценка технического состояния автомобиля может выполняться по экспериментально-расчётным данным расхода топлива. Индивидуальная оценка технического состояния агрегатов также может проводиться по отдельным коэффициентам полезного действия и индикаторному расходу топлива [1]. В процессе работы автомобиля из 100 % энергии топлива примерно 33 % теряется с выхлопом, а 35 % — на охлаждение. Из оставшихся 32 % около 10 % расходуется на насосные и

Топливно-энергетический баланс автомобиля

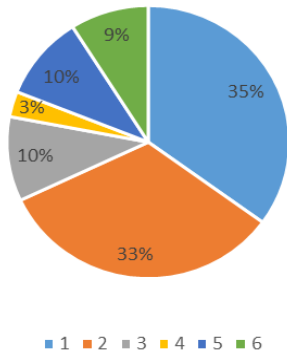


Рис. 1. Топливно-энергетический баланс автомобиля: 1 – механические и насосные потери в двигателе (10%); 2 – потери в трансмиссии (3,0%); 3 – потери в подвеске (10,5%); 4 – затраты на транспортную работу (9%).

расхода топлива расчетным методом. Зная массу автомобиля, дорожные и транспортные условия работы, а также расход топлива, можно определить общий КПД автомобиля [3] по следующей формуле:

$$\eta_a = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_H \cdot \rho_m \cdot Q}, \quad (1)$$

где M_a – масса автомобиля, кг;
 K_d – коэффициент дорожных условий эксплуатации;
 H_H – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;
 ρ_m – плотность топлива, г/см³;
 Q – расход топлива, л/100 км.

При общем диагностировании автомобиля рекомендуется определять два КПД: эффективный КПД двигателя ($\eta_i \cdot \eta_M$) и КПД ходовой части автомобиля ($\eta_T \cdot \eta_P$). Для расчёта использовались данные, занесённые в табл. 1 [3].

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Параметры	Условное обозначение	Значение
Масса автомобиля Chevrolet Cobalt	M_a	1350 кг
Объём цилиндров двигателя	V_h	1,5 л
Ход поршня	S_n	0,0747 м
Передаточное число главной передачи	i_0	3,84
Радиус колеса	r_k	0,410
Фактор обтекаемости	kF	$0,026 V_a^2 \cdot H \cdot c^2 \cdot M^{-2}$
Мощность двигателя	N_a	106 л.с. при 5800 об/мин

Расчётные формулы. Значение усилий, подведённых к колёсам, Н

$$P_k = \left(\frac{0,8 \cdot G_a}{V_a} + 0,026 \cdot V_a^2 \right), \quad (2)$$

где

G_a – вес автомобиля, Н. Среднее эффективное давление, кПа

$$P_e = 12,56 \frac{r_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_m} \cdot P_k, \quad (3)$$

где

V_h – рабочий объём двигателя, л; i_0 – передаточное число главной передачи; η_m – КПД трансмиссии; i_k – средневзвешенное передаточное число коробки передач.

Если принять для Chevrolet Cobalt :

$a_n = 43$ н кПа, $b_n = 13$ н кПа·с·м⁻¹, ход поршня $S = 0,0756$ м и $n = 2700$ об/мин, тогда механические потери в двигателе будут определяться по формуле, кПа

$$P_M = \left(a_n + b_n \cdot 2S_n \cdot \frac{n}{60} \right) = (a_n + 0,033 \cdot b_n \cdot S_n \cdot n), \quad (4)$$

где a_n и b_n – постоянные коэффициенты для данного двигателя;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;

S_n – ход поршня, м.

При более высоких частотах вращения коленчатого вала и $i_k = 0,941$, кПа

$$P_M = \left(43 + 0,033 \cdot 13 \cdot 0,0756 \cdot \frac{2,65 \cdot V_a \cdot 3,937 \cdot 0,0756}{0,31} \right) = 43 + 1,03 \cdot V_a. \quad (5)$$

Среднее индикаторное давление P_i , кПа

$$P_i = P_e + P_M. \quad (6)$$

Коэффициент коррективки

$$K_p = \frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k}{H_H \cdot \rho_T \cdot r_k} = 0,00497 \cdot i_k \quad (7)$$

КПД трансмиссии автомобиля

$$\eta_T = \frac{P_k}{(1,3 \cdot V_a + 1,025 \cdot P_k)}. \quad (8)$$

Средневзвешенное число КПП

$$i_k = \frac{107}{V_a}. \quad (9)$$

КПД индикаторный

$$\eta_i = 0,35\alpha. \quad (10)$$

$$\alpha = \alpha_1 + b_1 \cdot N_1 \quad (11)$$

где N_1 – процент использования мощности, %.

Для бензиновых инжекторных ДВС

$$\eta_i = 0,35 \cdot (0,85 + 0,00337 \cdot N_1) = 0,298 + 0,00118 \cdot N_1. \quad (12)$$

Процент использования мощности определяем по формуле

$$N_1 = \frac{100 \cdot (G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{3,6 \cdot 10^3 \cdot N_{e_{max}} \cdot \eta_T}, \quad (13)$$

где $N_{e_{max}}$ – максимальная мощность двигателя, кВт.

КПД механический

$$\eta_M = \frac{\eta_e}{\eta_i}. \quad (14)$$

КПД эффективный

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M. \quad (15)$$

КПД подвески

$$\eta_n = \frac{100 \cdot M_a \cdot K_d}{H_u \cdot \rho_m \cdot \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_m \cdot Q}. \quad (16)$$

Общий КПД автомобиля [4]

$$\eta_a = \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_m \cdot \eta_n. \quad (17)$$

Для расчёта расхода топлива автомобиля Chevrolet Cobalt мы воспользуемся формулой

$$Q = \frac{7,95 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k}{H_H \cdot \rho_m \cdot r_k} \cdot \frac{P_e}{\eta_e} \text{ л/100км} \quad (18)$$

где V_h – рабочий объём цилиндров двигателя, л; i_0 – передаточное число главной передачи; i_k – средневзвешенное передаточное число коробки передач; H_H – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; ρ_m – плотность топлива, кг/м³; r_k – радиус качения колеса, м; P_e – среднее эффективное давление, кПа; η_e – эффективный КПД.

В табл. 2 приведены расчётные значения потерь, расхода топлива и КПД автомобиля и агрегатов.

Таблица 2

Расчётные данные изменения отдельных и общего КПД автомобиля при увеличении скоростей в диапазоне 25–150 км/ч

V_a	P_k	P_e	P_M	P_i	Q	η_i	η_M	η_e	η_T	η_{Π}	η_a
20	598,24	73,66	63,60	137,26	11,65	0,313	0,536	0,168	0,936	0,331	0,052
40	339,72	92,24	84,20	176,44	7,43	0,315	0,523	0,165	0,849	0,582	0,081
60	299,95	133,25	104,80	238,05	6,58	0,320	0,560	0,179	0,778	0,660	0,092
90	365,26	254,83	135,70	390,53	6,94	0,332	0,652	0,216	0,743	0,542	0,087
120	515,37	473,12	166,60	639,72	8,03	0,352	0,739	0,260	0,753	0,384	0,075
150	730,72	815,88	197,50	1013,38	9,33	0,384	0,805	0,309	0,774	0,271	0,065

Для сравнения рассчитаем расход топлива другим методом – через КПД автомобиля по (1).

После подстановки постоянных значений получаем более простую формулу:

$$\eta_a = \frac{0,596}{Q} \quad (19)$$

Отсюда

$$Q = \frac{0,596}{\eta_a} \quad (20)$$

Результаты расчёта представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчёта расхода топлива через КПД автомобиля

Скорость	20	40	60	90	120	150
Расход топлива через КПД	11,64	7,31	6,48	6,83	7,91	9,19

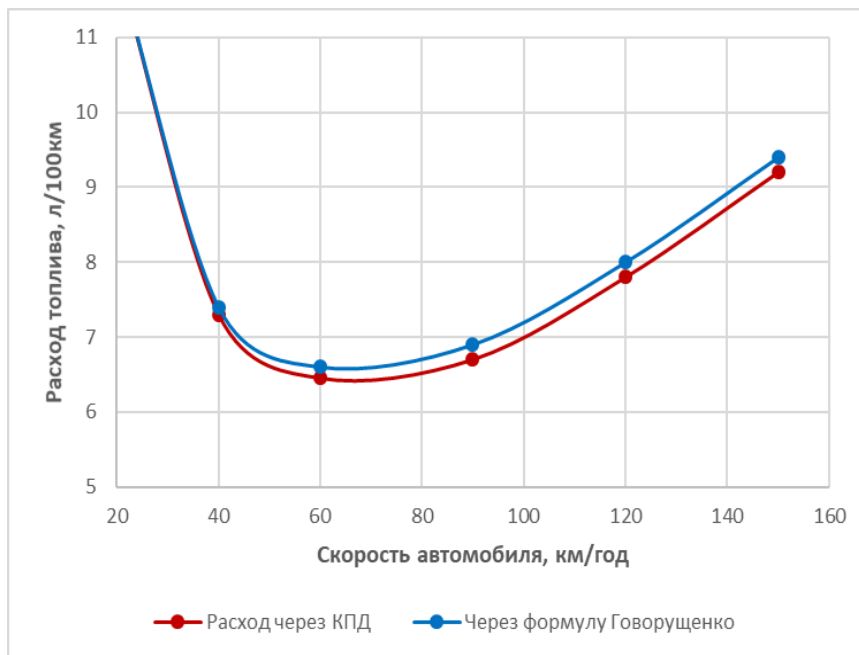


Рис. 2. Графики расхода топлива, рассчитанного по разным методикам.

На рис. 2 представлены графики расхода топлива, рассчитанного по формуле (18) и через общий КПД автомобиля (1).

2. Экспериментальные исследования показателей расхода топлива автомобиля Chevrolet Cobalt.

Для энергетической оценки был использован легковой автомобиль Chevrolet Cobalt. Автомобиль 2022 года выпуска, с пробегом 48 тыс. км, который находится в исправном состоянии. Перед экспериментом было проведено полное ТО и диагностика всех основных параметров.

Для определения расхода топлива при движении автомобиля использовался показатель продолжительности впрыска топлива форсунками. Продолжительность впрыска современных форсунок составляет от 2...10 мс в зависимости от режима работы двигателя. Это довольно малый промежуток времени, изменения давления в надплунжерной полости происходят очень быстро. Если принять, что продолжительность впрыска составляет 3 мс на XX, то это соответствует всего 10,5° п.к.в., и если предположить, что необходимо проводить измерения в 4 каналах – по числу цилиндров двигателя, то при таких быстроизменяющихся сигналах необходимо применять высокочастотную измерительную аппаратуру.

Если принять на основе ряда публикаций, что один измерительный канал должен работать с частотой минимум 500 кГц (500 тысяч замеров в секунду, замер выполняется каждые 2 мкс). И учитывая, что изменения продолжительности впрыска вносятся ЭБУ с шагом в 100 мкс, то относительная погрешность составит 2 %. То в основу измерительного комплекса для проведения экспресс-диагностики должен быть положен осциллограф с высокоскоростным АЦП и малым шагом квантования.

В качестве такого прибора был выбран цифровой осциллограф USB-Scope III [4].

Цифровой диагностический 8-канальный (6 каналов + 2 линии модуля зажигания) USB-осциллограф предназначен для мониторинга, измерения и анализа электрических сигналов автомобилей. По полученным данным можно оценить работоспособность датчиков и исполнительных механизмов и устройств. Комплектуется кабелями и адаптерами для подключения.

Количество каналов в режиме осциллографа: 1, 2, 4, 8 (по выбору). Разрешение АЦП: 16 бит, диапазон входного напряжения: ± 6 В (входной делитель 1:1), может переключаться в режим делителя 1:5, то есть измерять сигнал ± 30 В. Аналоговые каналы 5–6, ± 60 В (входной делитель 1:10) переключаются в режим ± 300 В (внутренний делитель 1:20). Максимальная частота оцифровки на канал: в 1-канальном режиме – 12,5 МГц; в 2-канальном режиме – 5 МГц; в 4-канальном режиме – 2,5 МГц; в 8-канальном режиме – 1,25 МГц. Шестиканальный режим включить невозможно. Можно включить восьмиканальный режим, но не использовать два канала, которые измеряют процессы системы зажигания бензинового автомобиля [5].

Режим оцифровки – непрерывный поток. Входное сопротивление – 1 МОм. В режиме цифрового анализатора используются измерительные каналы с такими параметрами: Количество входов цифрового анализатора – 8. Режимы – 2-, 4-, 8-канальный анализаторы. Максимальная частота оцифровки на канал: в 8-канальном режиме – 100 МГц; Режим оцифровки – непрерывный поток. Входное сопротивление – 10 кОм. АЦП имеет 16 бит, что позволяет иметь такие параметры детализации по напряжению (только в аналоговом режиме): для диапазона входных напряжений ± 6 В – 2 мВ, для диапазона входных напряжений ± 30 В – 10 мВ, для диапазона входных напряжений ± 60 мВ – 20 мВ, для диапазона входных напряжений ± 300 В – 100 мВ. USB Autoscope III оснащён гальванической развязкой измерительных цепей и цепей ПК (шины USB). Тестовое напряжение изоляции – 2 кВ в течение 1 минуты. Ёмкость изоляции – не выше 15 пФ. Сопротивление изоляции – не менее 20 ГОм.

Основные возможности ПО: режим отображения + запись + одновременное измерение в реальном масштабе времени. Диапазон временной шкалы: аналоговый режим 2 мкс/дел. – 1 с/дел.; цифровой анализатор 0,2 мкс/дел. – 1 с/дел. Диапазон шкалы напряжения (в

аналоговом режиме): 2 мВ/дел. – 20 В/дел. Таким образом, производится измерение до 8 заданных экспериментом параметров непосредственно и с частотой преобразования от 1250 кГц до 12,5 МГц. Возможность создания пользовательских настроек для часто используемых режимов; выполнение программой USB_Oscilloscope файлов скриптов анализатора с целью автоматизации анализа осциллограмм [6]. Функция отображения значения измеряемой физической величины. С целью автоматизации анализа осциллограмм встроена функция выполнения программой анализа осциллограмм по внешнему алгоритму, записанному в файлах скриптов. Сохраняются исходные форматы – бинарный файл, графический, печатный.

Проведение эксперимента. Для проведения эксперимента был подключён измерительный комплекс, который состоит из ноутбука, осциллографа USB AutoScop III и необходимых проводов для подключения датчиков согласно табл. 4.

В табл. 4 представлены данные для выполнения настройки осциллографа USB AutoScop III и правильности подключения сигналов датчиков в нужный канал.

Исходные данные для настройки каналов

№ канала	Источник сигнала	Имя канала	Единица измерения	Масштабный множитель
1	Датчик коленчатого вала	Коленвал	В	5
2	Датчик скорости	Скорость	В	5
3	Токовые клещи	Клещи	В	2
4	Датчик фазы	Распредвал	В	5
5	Форсунка	Форсунка	В	5
6	Датчик массового расхода воздуха	ДМРВ	кг/год	1

Измерение расхода топлива автомобилем Chevrolet Cobalt проводилось на трёх разных скоростях: 20, 40, 60 км/ч. С записью сигналов с датчиков, таких как: датчик положения коленчатого вала, датчик массового расхода воздуха, датчик фаз, ток с модуля зажигания, сигнал с форсунки, сигнал с датчика скорости. Для эксперимента мы использовали ровный участок трассы Джизак-Ташкент, без продольного уклона. Длина участка составляла около 1 км. Для большей достоверности эксперимента и уменьшения погрешности от встречного ветра измерения проводились на одной скорости в двух направлениях и по три раза в каждом направлении.

На рис. 3 представлен общий вид сигналов с датчиков, снятых с помощью осциллографа USB Autoscope III.

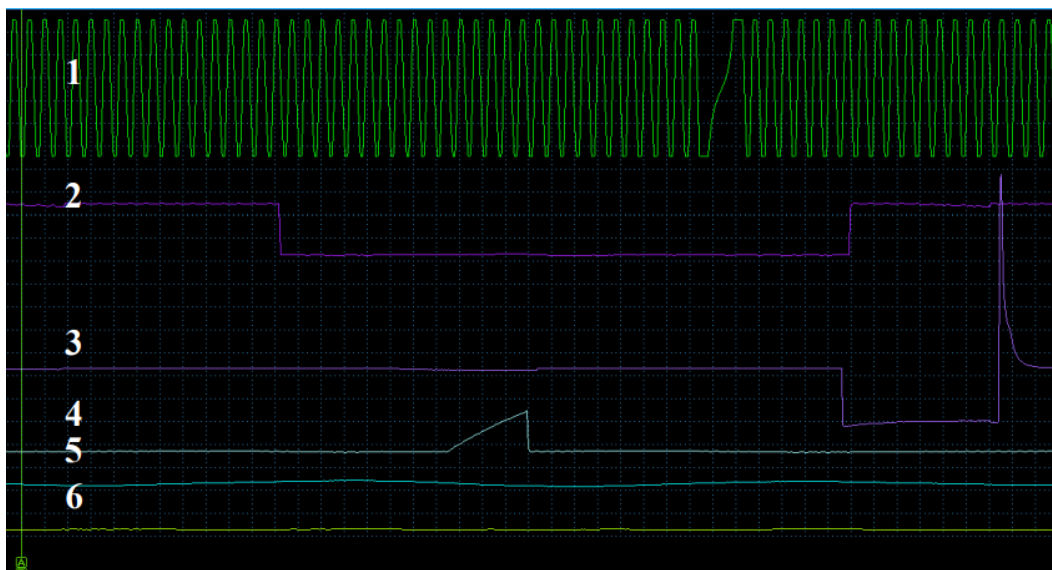


Рис. 3. Общий вид сигналов датчиков: 1 – сигнал с датчика коленчатого вала; 2 – сигнал с датчика скорости; 3 – сигнал с форсунки; 4 – сигнал с токовых клещей; 5 – сигнал с ДМРВ; 6 – сигнал с датчика фазы.

4. Алгоритм обработки результатов испытаний.

Из индивидуального файла, записанного в процессе испытания, определим следующие параметры:

- номер включённой передачи и скорость движения автомобиля по спидометру (эта информация записана в имени файла);
- продолжительность управляющего импульса τ_k на форсунке (мс) – «Форсунка», канал 5;
- период вращения распределительного вала $T_{\text{ц}}$ (мс) – по графику «датчик фазы», канал 4;
- напряжение с датчика скорости U_{∂} , канал 2;
- измерить напряжение $U_{\text{в}}$ по графику «массовый расход воздуха», канал 6.

По результатам измерений вычисляем:

– скорость автомобиля, км/ч

$$V_a = \frac{3,6 \cdot \pi}{30} \cdot \frac{n_k}{U_k} \cdot U_{\partial} \cdot r_k. \quad (21)$$

– продолжительность управляющего импульса на форсунку

$$T_i = 1000 \cdot \frac{\tau_k - \tau_{\text{п}}}{F}, \text{ мс} \quad (22)$$

где τ_k , $\tau_{\text{п}}$ – момент закрытия и открытия иглы форсунки соответственно;
 F – частота выборки сигнала ($F = 500/6 = 83,8$ кГц).

– цикловая подача одной форсунки

$$Q_{\text{ц}} = q_{\phi} \cdot \frac{T_i}{60000} \cdot 1000 \cdot \rho_T, \text{ мг} \quad (23)$$

где q_{ϕ} – производительность форсунки;

ρ_T – плотность топлива;

T_i – продолжительность управляющего импульса на форсунку

– частоту вращения коленчатого вала по формуле

$$n = \frac{1,2 \cdot 10^5}{T_{\text{ц}}}, \text{ об/мин} \quad (24)$$

– объёмный часовой расход топлива по формуле, л/ч.

$$Q_n = g_{\phi} \cdot (\tau_k - \tau_n) \cdot 1,2 \cdot n \cdot 10^{-4} = 0,0005 \cdot n \cdot (\tau_k - \tau_n). \quad (25)$$

– массовый часовой расход топлива по формуле, кг/ч

$$G_i = 0,75 \cdot Q_i. \quad (26)$$

– крутящий момент на валу двигателя

$$M_{kp} = \frac{1000 \cdot H_H}{120 \cdot \pi \cdot n} G_n \cdot \eta_{\epsilon} = 116713,625 \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \frac{G_n}{n}, \quad (27)$$

где $H_H = 44000$ кДж/кг – низшая теплота сгорания бензина;
 $\eta_{\epsilon} = 0,25 \dots 0,32$ – эффективный КПД двигателя в зависимости от нагрузки и частоты вращения вала.

– часовой расход топлива по формуле

$$Q_T = z \cdot q_{\phi} \cdot \frac{T_i}{60000} \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{60}{1000}, \quad (28)$$

где z – число цилиндров двигателя ($z=4$), T_i – продолжительность управляющего импульса на форсунку, мс.

– удельный путевой расход топлива, л/100 км.

$$Q_y = \frac{100 \cdot Q_T}{V_a}. \quad (29)$$

Результаты эксперимента приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты эксперимента

Скорость	Q_y	$Q_{\text{т}}$	T_i
20	11,5	2,3	44,1
40	7,64	3,05	47,7
60	6,84	4,1	59,6

После проведения эксперимента и получения результатов были сделаны сравнения значений расхода топлива, рассчитанных, через общий КПД автомобиля, и полученных экспериментальным путём. Графическое изображение этого сравнения показано на рис. 4.

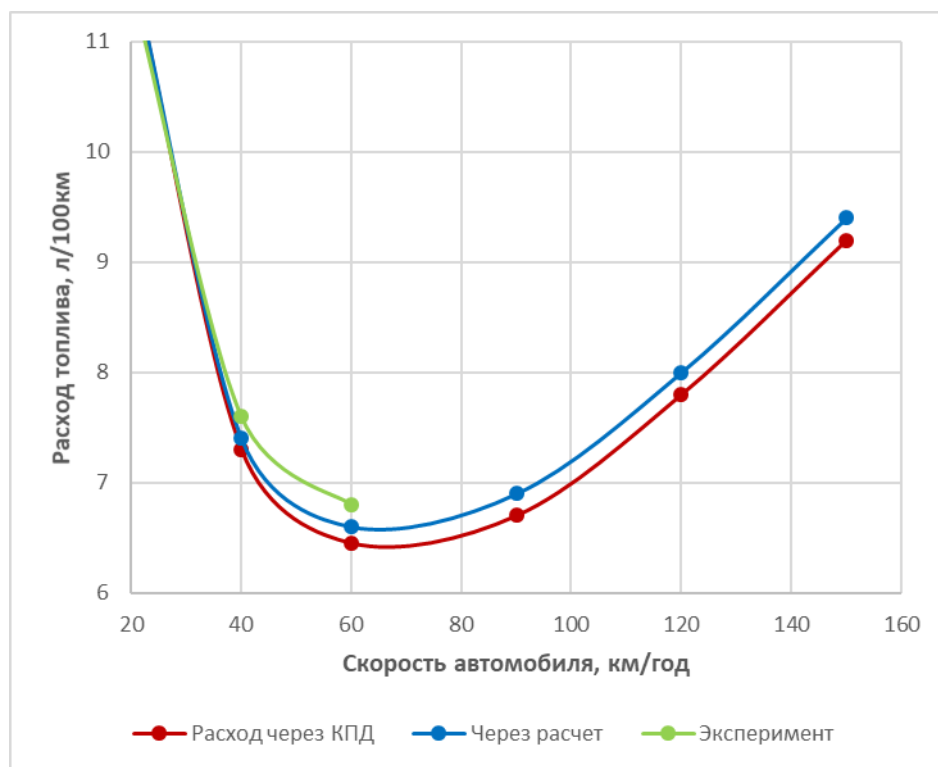


Рис. 4. Расход топлива в зависимости от скорости, определённый тремя разными способами.

Выводы. Проведённый эксперимент и полученные результаты после сравнения значений расхода топлива, через общий КПД автомобиля, и данных, полученных экспериментальным путём, свидетельствуют, что метод действительно работает и погрешность составляет около 5 %. Это позволяет сделать вывод, что общая оценка технического состояния автомобиля может выполняться по экспериментально-расчётным данным расхода топлива. Индивидуальная оценка технического состояния агрегатов также может проводиться по отдельным КПД и по индикаторному расходу топлива.

Список литературы

- [1]. Gorbik, Yuri & Kashkanov, Andrii & Antoniuk, Oleg. (2021). Method of diagnosing a car by fuel consumption. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 12. 45-53. 10.31649/2413-4503-2020-12-2-45-53.
- [2]. Gonera, Jarosław & Janulin, Michał & Vrublevskiy, Oleksandr. (2024). Effect of vehicle operating parameters on fuel consumption and the overall energy efficiency of the drive system. Archives of Transport. 72. 109-128. 10.61089/aot2024.gb7qdr81.
- [3]. Sitovskiy, O. & Dembitskiy, B. & Bulik, Y. & Mazyliuk, P.. (2020). Theoretical Aspects of Diagnosing of Car Engine at the Time of Acceleration. 10.1007/978-3-030-46817-0_74.
- [4]. Дьяконов Владимир Осциллографы компании Tektronix закрытой архитектуры // Компоненты и Технологии. 2010. №102. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ostsillografy-kompanii-tektronix-zakrytoy-arhitektury> (дата обращения: 1.9.2025).
- [5]. Kucera, Matej & Sebok, Milan & Kubis, Matej & Korenciak, Daniel & Gutten, Miroslav. (2020). Analysis of the Automotive Ignition System for Various Conditions. Communications - Scientific letters of the University of Zilina. 22. 144-152. 10.26552/com.C.2020.4.144-152.
- [6]. Fallah, Mohsen & Davodi Navokh, Seyyed Alireza & Mozaffari-Jovein, Mehran. (2021). STM32 ADC TUTORIAL with application to real-time control. 10.13140/RG.2.2.17875.30249/1.

**PAXTANI SEPARATSIYALASH JARAYONIDA TOLA YO'QOTISHINI KAMAYTIRISH
TADQIQI**

M.N. Saloxiddinova

Namangan davlat texnika universiteti,

ORCID: 0000-0002-6309-1136

e-mail: salohiddinovamaxliyo1993@gmail.com; tel.: +998912926445[\(Qabul qilindi 17.10.2025 y.\)](#)

Annotatsiya: Ushbu maqola paxta tozalash korxonalarining texnologik tizimiga o'rnatilgan separator mashinasidan havo bilan tashqariga chiqib ketayotgan erkin tola miqdorini tubdan kamaytirishga yo'naltirilgan tadqiqot ishlarini bayon etadi. Paxtaning separatorning to'rsimon yuzasiga yopishib qolishini minimal darajaga tushirish maqsadida, separator qurilmasiga trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar o'rnatish taklifi berilgan. Taklif etilgan yo'naltirgichlarning samaradorligini aniqlash uchun uzunligi 20 sm va 40 sm bo'lgan variantlarda sinovlar o'tkazildi va tegishli natijalar olindi. Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar o'rnatilishi paxta bo'laklarining to'r yuzasiga urilishini 35-40% gacha kamaytiradi. Bu choraning natijasi o'laroq, paxta xom ashyosining asosiy qismi to'g'ridan-to'g'ri vakuum-klapanga tushishi ta'minlanadi va shu bilan separatorning havodan ajratish samaradorligi oshiriladi.

Kalit so'zlar: paxta, chigit, tola, havo, separator, erkin tola, sidirgich, vakuum-klapan, to'rli yuza, yo'naltirgich

Аннотация: В данной статье описываются исследования, направленные на радикальное снижение количества свободных волокон, выносимых с воздухом из сепаратора, установленного в технологическом процессе хлопкоочистительных предприятий. Для минимизации прилипания хлопка к поверхности сетки сепаратора предлагается устанавливать на сепараторном устройстве трапецевидные направляющие. Для определения эффективности предлагаемых направляющих были проведены испытания на вариантах длиной 20 см и 40 см и получены соответствующие результаты. Результаты экспериментов показали, что при установке трапецевидных направляющих удар хлопковых волокон о поверхность сетки снижается на 35–40%. Это обеспечивает правильное попадание основной части хлопкового сырья в вакуумный клапан, повышая эффективность сепаратора от воздуха.

Ключевые слова: хлопок, семя, волокно, воздух, сепаратор, свободное волокно, сепаратор, вакуумный клапан, поверхность сетки, направлятель.

Abstract: This article describes research aimed at drastically reducing the amount of free fibers escaping with air from a separator machine installed in the technological process of cotton ginning enterprises. In order to minimize the adhesion of cotton to the separator mesh surface, it is proposed to install trapezoidal guides on the separator device. To determine the effectiveness of the proposed guides, tests were conducted on 20 cm and 40 cm long variants and the corresponding results were obtained. The experimental results showed that when trapezoidal guides were installed, the impact of cotton pieces on the mesh surface was reduced by 35-40%. This ensures that the main part of the cotton raw material falls correctly into the vacuum valve, increasing the efficiency of the separator from air.

Keywords: cotton, seed, fiber, air, separator, free fiber, separator, vacuum valve, mesh surface, guide.

Kirish

Bugungi kunda, butun dunyoda barcha sohalar qatori, to'qimachilik klasterlarida ham yuqori samarali innovatsiyalarni joriy etishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shuningdek, mavjud texnika va texnologiyalarni takomillashtirish hamda resurstejamkor yechimlarni yaratish orqali ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning sifatini yaxshilash ham muhim vazifalardandir [1-3].

Mamlakatimiz to'qimachilik klasterlari tarkibidagi paxta tozalash korxonalarida xomashyoning boshlang'ich xususiyatlarini saqlagan holda sifatli paxta mahsuloti olish bo'yicha sezilarli yutuqlarga erishilmoqda. Paxtani qayta ishlash texnika va texnologiyalarini takomillashtirish borasida ham ijobiy o'zgarishlar kuzatilmoqda. To'qimachilik klasterlarida yuqori sifatli ip, mato va tayyor mahsulot ishlab chiqarish uchun paxtani qayta ishlashning dastlabki

bosqichidan boshlab uning tabiiy xususiyatlarini saqlab qolish katta ahamiyat kasb etadi. Aynan shu masala mavzuning dolzarbligini belgilaydi. Shu maqsadda, paxtani havodan ajratish samaradorligini oshirish uchun amaldagi separator konstruksiyasini o'rganish va uni takomillashtirish zarur [4-7].

Paxta tozalash korxonalarining texnologik jarayoniga o'rnatilgan uskunalar ishlashi davomida, mahsulot, ya'ni ishlab chiqarishga yaroqli tolalar, chiqindi tarkibiga qo'shilib chiqib ketishi holatlari uchraydi. Soha mutaxassislari tomonidan o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar natijalarini o'rganish shuni ko'rsatadiki, tola yo'qolishining sabablaridan biri paxtaning havo yordamida pnevmotransport quvurlari orqali tashilishi, shuningdek, paxtani tozalash, jinlash va tola tozalash jarayonlarida sodir bo'lishidir. Paxtani havo yordamida tashish moslamasining asosiy elementi hisoblangan separatorda paxtani havodan ajratish jarayonida ham tolaning chang-havo bilan aralashib chiqib ketishi tez-tez kuzatiladi [8].

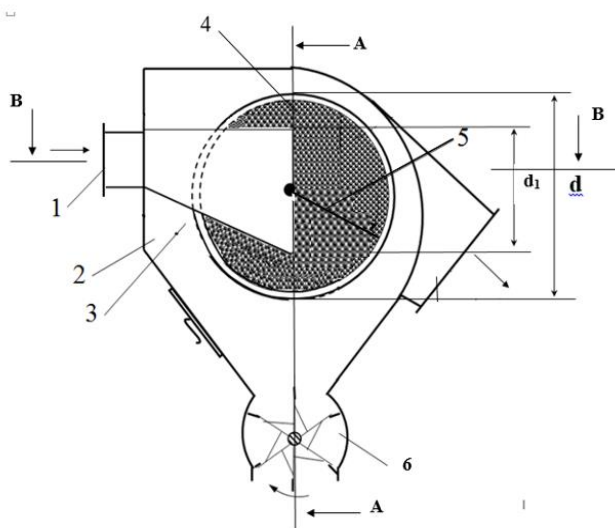
Paxta havo bilan birga separatorning ishchi kamerasiga kirganda, paxtaning ma'lum qismi ishchi kameraning yon tomonida joylashgan to'qli yuzaga borib yopishadi. To'qli yuza teshiklarida so'rilayotgan havo ta'sirida tolalar qo'shilib chiqib ketadi. Bunday holatning asosiy sababi to'qli yuza sirtiga yopishgan paxtaning sidirg'ich yordamida ajratib olinishidir. Erkin tolalarning chang-havo bilan chiqib ketishi va to'qli yuzaga yopishgan paxtani sidirg'ich yordamida ajratib olish jarayoni tola yo'qolish ehtimolini oshiradi.

Metodologiya

Paxta tozalash korxonalarining texnologik jarayonida ishlayotgan mashinalarda, mahsulotga yaroqli tolalarning bir qismi chiqindi tarkibiga aralashib chiqib ketishi kuzatiladi. Ilmiy tadqiqotlar natijasida tola yo'qolishiga sabablardan biri paxtaning pnevmotransport quvurlarida havo yordamida tashilishi ekani aniqlangan.

Paxtaning tabiiy xususiyatlarini saqlab qolish maqsadida, yangi yaratilgan separatorning ishchi kamerasidagi paxta harakati nazariy jihatdan o'rganildi. Bu konstruksiyaning yangiligi shundaki, kirish quvurining yon devoriga trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar o'rnatilgan va ular ajratish kamerasi ichiga kiritilgan. Bundan tashqari, vakuum-klapani yo'nalishi bo'yicha ham trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar mavjud. Bu yo'naltirgichlar havo ta'siri ostidagi paxtaning to'qli yuzaga tomon harakatlanishini kamaytiradi [9].

Ish jarayonida separator ishchi kamerasiga kirib kelgan paxtaning bir qismi aynan shu yo'naltirgichlar yordamida ushlab qolinadi. So'ngra paxta vakuum-klapani tomon yo'naltiriladi. Tadqiqot maqsadi trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlarning uzunligi va shaklini o'zgartirishning separator samaradorligiga ta'sirini o'rganishdan iborat. Yuqoridagilarni hisobga olgan holda, amaliy tadqiqotlar o'tkazish uchun yo'naltirgichli separator tanlab olindi.



1-rasm. Yo'naltirgichli separator sxemasi (patent №FAP 01879). 1-kirish quvuri; 2-ishchi kamera; 3-trapetsiya shakilda yo'naltirgich; 4- to'qli sirt; 5- sidirgich; 6- havoni so'rish quvuri; 7- vakuum-klapani.

Ushbu separator yon devorida to'qli sirtlar joylashgan taqsimlovchi kamerasiga ega. Shuningdek, u kirish va chiqish quvurlari, to'qli sirtlarga yopishgan paxtani tozalovchi qirg'ichlar va vakuum-klapanni o'z ichiga oladi. Kirish quvuri yon devorlari taqsimlovchi kamera ichiga kiritilgan bo'lib, ular vakuum-klapani yo'nalishi bo'yicha egilgan trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar ko'rinishida tayyorlangan. Trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar orasidagi masofa 50 mm ga teng.

Takomillashtirilgan separator [10] sxemasi (1-rasm) quyidagilardan iborat: kirish quvuri - 1, separatsiyalash kamerasi - 2, vakuum-klapani - 3, qirg'ich - 4, trapetsiya shaklidagi yo'naltirgich ko'rinishidagi yo'naltirgich - 5, to'qli yuza - 6 va chiqish

quvuri - 7. Separator qurilmasi ishga tushganda, kirish quvuri - 1 dan kelgan paxta xom ashyosi yo'naltirgichlar - 5 orqali separatsiyalash kamerasi - 2 ga yo'naltiriladi. Bu yerda kamerada havo tezligi pasayadi. Paxta xom ashyosining asosiy qismi separator kamerasining orqa devoriga urilib, o'z og'irligi ta'siri ostida pastga, vakuum-klapan - 3 ga tushadi. Havo va uning tarkibidagi mayda iflosliklar to'rtli sirtlar - 6 va chiqish quvuri - 7 orqali chiqib ketadi. Paxta xom ashyosining oz qismi havo oqimi tufayli to'rtli yuza - 6 ga yopishadi. U qirg'ich - 4 yordamida sidirib olinadi.



2-rasm. Tarpetsiya shakldagi yo'naltirgich o'rnatilgan separator ishchi kamerasi. 1- trapeziya shakilda yo'naltirgich; 2-to'rtli yuza; 3-sidirgich, 4-sidirgich vali.

Paxta xom ashyosi uchun mo'ljallangan yo'naltirgichlar trapetsiya shaklida tayyorlangan. Yo'naltirgichlar o'rnatilganda ularning yo'nalishi vakuum-klapan tomon egilgan bo'ladi. Bu, paxta xom ashyosining asosiy qismini vakuum-klapan tomonga burilishini ta'minlaydi. Natijada paxtani havodan ajratish jarayonining samaradorligi oshadi. Trapetsiya shaklidagi yo'naltirgich o'rnatilgandan so'ng, 3-to'rtli sirtga yopishgan paxta miqdorining kamayishi qirg'ich - 4 ning samarali ishlashiga imkon beradi.

Ushbu qurilmaning amaliy tadqiqot o'tkazish uchun eksperimental nusxasi yasalgan (2-rasm) va unda tajribalar o'tkazilgan. Paxta tolasining to'rtli sirtga havo bilan birga chiqib ketgan miqdorini aniqlash separatoridan keyingi puflovchi

quvurga ulangan siklonda amalga oshiriladi. Bunda siklonning pastki qismiga o'rnatilgan qopcha har soatda tekshirib boriladi. To'rtli yuzaga yopishgan paxta miqdorini aniqlash uchun ishchi kameraning yon tomonida joylashgan to'rtli yuzalar shartli ravishda to'rtta teng bo'lakka bo'lingan. Qirg'ichni to'xtatish uchun uning valiga o'rnatilgan shkivdagi tasmani olib qo'yish talab etiladi. Shunda to'rt yuzasiga yopishgan paxta miqdorini aniqlash imkoniyati paydo bo'ladi.

Natijalar

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, paxta bo'laklari asosan kirish quvuridan uzoqroq masofada joylashgan to'rtli yuzaga yopishar ekan. Ishchi kamerasiga trapetsiya shaklida yo'naltirgich o'rnatilgandan keyin aynan shu to'rtli yuzaga yopishgan paxta miqdorining kamayganini kuzatamiz. Shu sababli tadqiqotlarda yangi tajriba nusxasining kirish quvuriga yo'naltirgichlar o'rnatildi. Quyida tadqiqot davomida o'tkazilgan tajribalar natijalari keltirilgan.

1-jadval

Separatorlarda havodan ajratish samaradorligini tekshirish

No	Trapetsiya shaklida yo'naltirgich eni, sm	Chang havo bilan chiqib ketgan turli xil aralashmalar miqdori, kg/soat	Paxta xom ashyosining to'g'ri vakuum-klapanga tushgan qismi, %
1	20	3.7	92
2	40	3.5	94

Jadval tahlilidan ko'rinib turibdiki, trapetsiya shaklida yo'naltirgich o'rnatilgan paytda paxta bo'lakchalarining to'rtli yuzaga urilishi 35-40% ga kamayadi. Bu esa separator ishchi kamerasiga kirib kelayotgan paxta bo'lakchalarining asosiy qismini to'g'ri vakuum-klapanga tushishini ta'minlaydi. Bu, o'z navbatida, to'rtli yuzadan havo so'rilishini yaxshilaydi va paxta xom ashyosini g'aramdan tashish masofasini 10-15 metrgacha uzaytirish imkonini beradi.

Grafiklarda ikki xil variantda o'rnatilgan (trapetsiya shaklida yo'naltirgich eni uzunligi: 20 sm, 40 sm) yo'naltirgichlar komplektini sinash natijalari keltirilgan. Natijalardan ma'lum bo'lishicha, yo'naltirgichlarning trapetsiya shaklida soni eng ko'p bo'lgan komplekt eng samarali

ishlash ko'rsatdi.

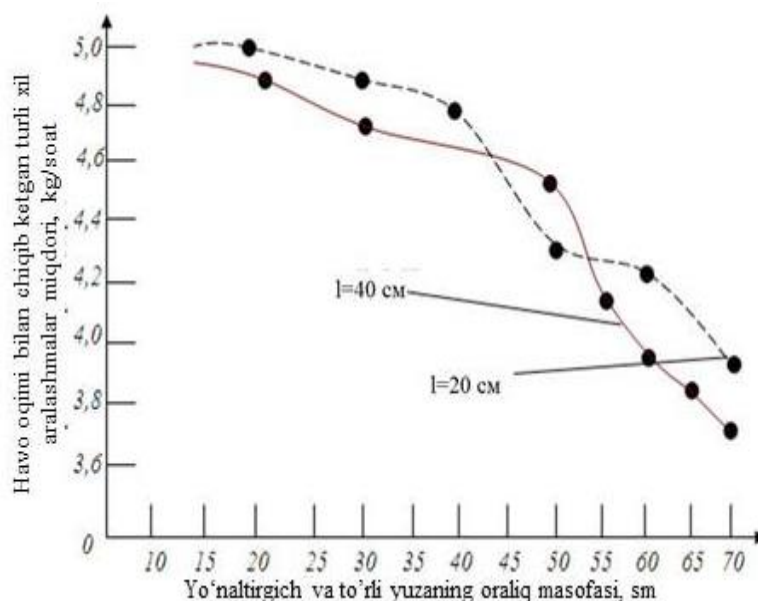
Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar paxta tozalash korxonalarining texnologik jarayonida ishlatiladigan separator mashinalaridan chiqib ketayotgan erkin tolalar miqdorini kamaytirishga qaratilgan bo'lib, muhim amaliy natijalarni taqdim etdi.

Paxtaning separatorning to'rtli sirtiga yopishish darajasini pasaytirish uchun trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar samarali yechim sifatida taklif etildi va qurilmaga o'rnatildi. Yo'naltirgichlarning 20 sm va 40 sm uzunlikdagi variantlarida o'tkazilgan sinovlar natijasida, separatsiya jarayoni eng yuqori samaradorlikka erishishi mumkin bo'lgan optimal parametrlar aniqlandi.

Xususan, yo'naltirgichlarning uzunligi 700 mm va ular orasidagi masofa 60 mm bo'lganda separatsiya jarayonining samaradorligi eng yuqori darajada bo'lishi belgilandi. Shuningdek, trapetsiya shaklidagi yo'naltirgichlar soni eng ko'p bo'lgan komplektning eng samarali ishlashi kuzatildi.

Bu o'zgarishlar paxtani havodan ajratish samaradorligini oshiradi, paxta xom ashyosining to'g'ri vakuum-klapanga tushishini ta'minlaydi va to'rtli yuzadan havo so'rilishini yaxshilaydi. Buning natijasida, paxta xom ashyosini g'aramdan tashish masofasini 10-15 metrgacha uzaytirish imkoniyati yaratiladi.



3-rasm. Trapetsiya shaklidagi yo'naltirgich va to'rtli yuza oraliq masofasining chang havo bilan chiqib ketadigan tola miqdoriga bog'liqligi.

Adabiyotlar

- [1]. Ю.Янгибоев, Р.Муродов //Изучение движения летучек вдоль скребка, вращающегося с постоянной скоростью по поверхности кругового конуса// Деп. в УзНИИТИ, 1991, №1403-Уз.
- [2]. Қодиржоджаев .С.Х. // Разработка сепаратора для хлопка скдца с целью сохранения его качественних показателей и сокращения потерь волокна // диссертация канд.мехн.наук, Тошкент, 1986 с, 17 с.
- [3]. Basra, V. V., et al. (2018). Multiscale Frictional Properties of Cotton Fibers: A Review. *Fibers*, 6(3), 49.
- [4]. Salohiddinova M, R.Muradov, A.Karimov, B.Mardonov. The Shortfalls of the Vacuum Valve Cotton Separator // American Journal of Science and Technology USA. 2018; 5(4): pp. 49-55. ISSN: 2375-3846 <http://www.aascit.org/journal/ajst>
- [5]. Makhliyo, S. and Rustam, M. (2022) Methods for Increasing the Efficiency of Cleaning the Transfer Device. *Engineering*, 14, 54-61. doi: 10.4236/eng.2022.141005.
- [6]. M. Salokhiddinova and R. Muradov (2022) Methods for Increasing the Efficiency of Cleaning the Transfer Device. *Engineering*, 14, p.54-61.
- [7]. Saloxiddinova M.N. (2025). Paxtani havo yordamida tashuvchi qurilmaning samaradorligini oshirish asoslari. Fan doktorlik (DSc) diss. ... Namangan, 72-80.
- [8]. Khakimova M., Yusupov A., Salokhiddinova M., Muradov R., Abdurakhmanova M. Ways to Improve the Effectiveness of Cotton Cleaning Machines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 3, March 2020. p.13061-13066.
- [9]. Salokhiddinova M. and Muradov R. (2022) Methods for Increasing the Efficiency of Cleaning the Transfer Device. // *Engineering*, 14, 2022. p. 54-61.
- [10]. Мурадов Р.М., Усманкулов А.К., Аббазов И.З., Салохиддинова М.Н., Йулдошев Х.Х. Йўналтиргичли сепаратор. № FAP 01879. // Ўзбекистон Республикаси Давлат Патент идорасининг бюллетени. 4(252)-сон 2022 й. 137-138 б.

REZAKSOY SUV OMBORI TEKIS ZATVORLARI ORALIQLARIDAGI AERATSIYANING KAVITATSIYASINI KAMAYTIRISH SHARTLARI DINAMIKASI

O. Cho'lonov

Namangan davlat texnika universiteti
(Qabul qilindi 20.10.2025 y.)

Maqolada Rezaksoy suv omboridagi tekis zatvorlari oraliqlarida aeratsiya orqali kavitatsiyaning paydo bo'lish shartlari mezonlari keltirilgan bo'lib, bunda suv chiqarish quvurdagi oqim zatvorining to'g'ri burchakli ostida kinematik strukturasi keltirilgan.

Kalit so'zlar: suv ombori tekis zatvori, quvur, oqim, aeratsiya, kavitatsiya, to'g'ri burchakli, uyurmalar, oqim massasi, suyuqlik, Quvur pazi, kinematik strukturasi, Statsionar massa, yuqori qobirg'a, pastki qobirg'aga, struya chegarasi.

В статье приведены критерии условий возникновения кавитации при аэрации в промежутках плоских затворов Резаксойского водохранилища. При этом представлена кинематическая структура потока в водосбросном трубопроводе под прямым углом к плоскости затвора.

Ключевые слова: плоский затвор водохранилища, трубопровод, поток, аэрация, кавитация, прямой угол, вихри, масса потока, жидкость, паз трубопровода, кинематическая структура, стационарная масса, верхнее ребро, нижнее ребро, граница струи.

The article presents the criteria for the conditions of cavitation formation through aeration in the gaps of the flat gates of the Rezaksoy Reservoir. It also provides the kinematic structure of the flow in the discharge conduit at a right angle to the plane of the gate.

Key words: flat reservoir gate, pipeline, flow, aeration, cavitation, right angle, vortices, flow mass, fluid, pipe groove, kinematic structure, stationary mass, upper rib, lower rib, jet boundary.

Rezaksoy suv ombori tekis zatvorlari oraliqlarida aeratsiya orqali kavitatsiyaning paydo bo'lish shartlari 1-rasmda keltirilgan bo'lib, quvurdagi oqim zatvorining to'g'ri burchakli chqurigidagi kinematik strukturasi keltirilgan.

Quvur pazining yuqori a qobirg'asidan past tomonga qarab uyurmali oqim massasi oqib tushadi. Tushayotgan bu oqim massasi chegarada tranzit bo'lib chuqurlikda statsionar bo'lgan bir necha diskret uyurmalariga bo'linib ketadi. Bu bo'lingan uyurmalar massasi harakati davomida va tashqaridan suyuqlikning kirib kelishi hisobiga o'z qalinligini oshiradi, o'z qalinligini oshirgan oqimning qalinligining oshishi 2, 3 - rasmlarda keltirilgan. Ma'lum uyurma trubkaning diametri - d_τ , oqim tezlanishi - a_τ , oqimning tezligi - $\mathcal{G}$ va koordinatasi - x_τ bo'lsa biror τ - momentdagi oqim uyurma trubkasi og'irlik markazining harakati quyidagi tenglamalar sistemasi orqali yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} d_\tau &= d_n + 0,12\mathcal{G}\tau; \\ a_\tau &= 0,216\mathcal{G} \frac{d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)^3}; \\ \mathcal{G}_\tau &= \mathcal{G} \left[1 - \frac{0,9d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)^2} \right]; \\ x_\tau &= \mathcal{G}\tau + \frac{7,5d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)} - 7,5d_n; \\ x_\tau &= 7,5d_n \left[1,11 \left(\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}} - 1 \right) + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}}} - 1 \right]; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

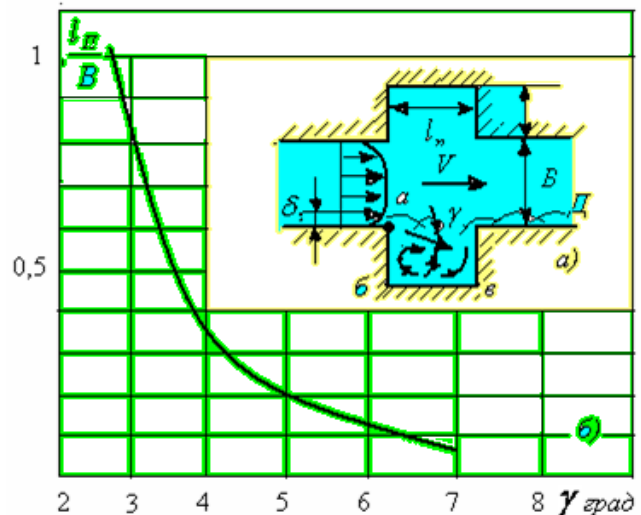
Bu yerda: $\mathcal{Q}$ - oqimning suv quvurida (o'tkazgichdagi) o'rtacha tezligi; a_n - uyurmali oqimning qalinligi bo'lib, uni hisoblansa, pazning yuqori qismidan oqimning ajralish vaqtidagi kattaligi va oqim chegaraviy qatlamining - qalinligiga teng bo'ladi.

Oqimning $a_n - \delta$ qiymati esa oqim tubiga yaqin qismidan hisoblanib, yuqoridagi qobirg'adan ajralish nuqtasidan olinadi. Quvurdagi uyurmali oqimning qism tomoni tranzit oqim bilan tutashib, $\mathcal{Q}$ - tezlikning gorizontal tashkil etuvchisini tashkil etib, massasi statsionar vixrning massasiga teng bo'ladi.

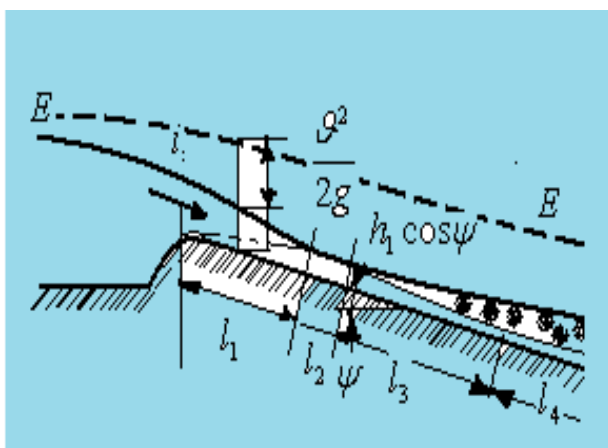
Statsionar massaga teng bo'lgan nuqtadagi tezligi o'rtacha tezligi $0,2\mathcal{Q}$ teng bo'ladi. Bu holda chuqurligi va kengligi o'zgarishi tufayli statsionar uyurma o'z shaklini o'zgartiradi va pazda bir necha statsionar uyurmalar hosil bo'lishi kuzatiladi. Ammo bu pazdagi statsionar uyurmalar aeratsiyali kavitatsiyaning kritik parametrlariga ta'sir ko'rsatmaydi. Quvur pazning yuqori qabirg'asidan pastki qabirg'asi tomon oqib kelayotgan uyurmalar massasi g nuqtadan oqishda sochilib ketadi, ya'ni oqim transformatsiyalanadi va statsionar vixrga sekin oqish orqali qo'shilib ketadi.

Ma'lumki, oqimning pastki qismidagi oqimi quvurning yoki o'tkazgichning tinch zonasiga kelib tushadi. Ya'ni 1-rasmdagi $g-d$, nuqtalarga mos tushadi va g - nuqtadan tushuvchi uyurmalar massasi, tranzit struya chegarasida harakatlanadi. Quvur chuqurligidagi oqimning kavitatsiyasi uyurma massasi ichida paydo bo'ladi va yuqori qobirg'adan pastki qobirg'agacha tushib boradi (1-rasm). Odatda oqimda kavitatsion oqim pazning pastki qobirg'asida boshlanadi.

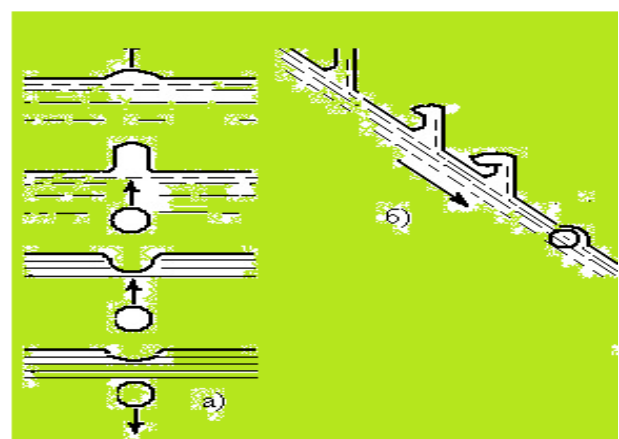
Oqimning ma'lum qismi pastki qobirg'adagi o'lik zonaga kelib tushadi $g - d$, 3- rasmdagi g - nuqtadan tushuvchi uyurmalar massasi tranzit struya chegarasida harakatlanadi. Pazdagi oqimda kavitatsion uyurma massasi oqim ichida paydo bo'ladi va yuqori qobirg'adan pastki qobirg'aga tushadi (3-rasm).



1-rasm: a) to'g'ri burchakli pazdagi oqim strukturasi; b) uyurmali to'plamining pazdagi kengayish burchagi.

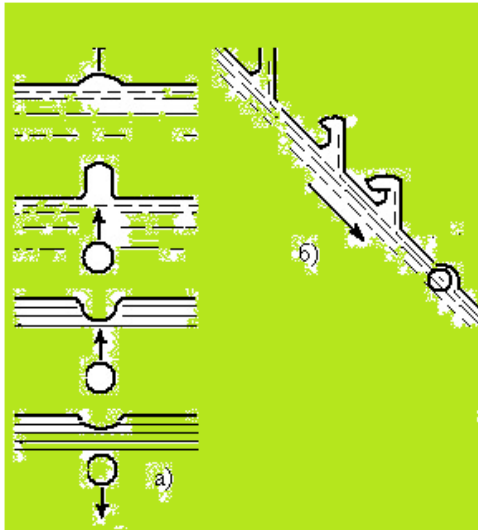


2-rasm. Oqim strukturasi suv tashlash inshooti uzunligi bo'yicha o'zgarishi.



3-rasm. Oqimning erkin sirt orqali havoni olib ketishi: a) havoni siqib olib ketish; b) to'liq buzulishi orqali havoni olib ketish.

Odatda aeratsiyali kavitatsiya pazning pastki qobirg'asida boshlanadi. Agar aeratsiyali kavitatsiyani oshirsak, kavitatsion hajmi pastki qobirg'adan ortib borib, biror bir chegaragacha oqib boradi. Bunday oqim holatida pazning ichkari qismida hech qanday o'zgarish sezilmaydi. Ammo bir ozdan so'ng bunday kavitatsion statsionar uyurmani chegaralovchi tranzit struya orqali pazda hosil bo'ladi. Aeratsion kavitatsiyaning keyingi ortib borishi hisobiga pazdagi kavitatsion bulutning zichligi ortib boradi. Agar oqimning pastki qobirg'asi silliq oqib o'tuvchi bo'lmasa, buning hisobiga oqimning uzilishiga erishsak, kavitatsion oqim uyurmasining oqimida avvalroq paydo bo'ladi. Paydo bo'lgan oqim uyurmasi yuqori qobirg'adan oqib tushadi. Zatvor pazlaridagi aeratsiyali kavitatsiya parametrlarini (1) formula orqali hisoblashda: $H_p = H_{kav}$, deb qabul qilinadi,



2.4-rasm. Oqimning erkin sirt orqali havoni olib ketishi: a) havoni siqib olib ketish; b) to'lqin buzulishi orqali havoni olib ketish.

ya'ni pazdagi bosim suv o'tkazuchi quvur qirqimining pezometrik bosimiga teng deb olinadi va shu qirqimda paz joylashadi. Agar paz bosimining H_p ta'siri hisobga olinmasa va $\mathcal{G}_{xar} = \mathcal{G}$ - tezlik suv o'tkazgichdagi o'rtacha tezlikka teng deb olinadi. Olimlarning ilmiy ishlariga ko'ra zatvorning boshqa elementlariga bog'liq bo'lmagan pazning kritik parametrlari, quyidagi tenglamalar orqali hisoblanadi:

Pazning (yani chuqurlikni) yuqori qobirg'asi uchun quyidagi formulani keltiramiz, bu formula keltirilgan:

$$K_{kp.b} = K_y K_d \left[1 + 0.65 \left(\frac{l_p}{h_p} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

$K_{kp.b}$ - oqimning pazga tomonga oqishi oldidagi chegaraviy qatlamning δ - qalinligi bo'lib, unga ta'sir etuvchi koeffitsient quyidagicha aniqlanadi:

$$K_y = \begin{cases} 1\delta \leq 0.12l_p \\ 0.12l_p > 12l_p \end{cases} \quad (3)$$

Oqimning pastki qobirg'adagi pasayish koeffitsienti:

$$K = \begin{cases} 0.6 + 33 \frac{d}{l_p} \end{cases} \quad (4)$$

Oqimning pazdagi pastki chegarasi uchun:

$$K_{kp.n} = AK_l K_B \left[1 + 0.65 \left(\frac{l_p}{h_p} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

Bu yerda A - koeffitsient;

K_l — pazning nisbiy kenglik koeffitsienti;

K_B — suv tashlovchi inshootning nisbiy balandligi.

A, K_l, K_B - parametrlar oqimning pazdagi chizmasi orqali topiladi, 4-rasm. (4) va (5) formulalar

$1 \leq \frac{l_p}{h_p} \leq 3$, shart bajarilganda ma'noga ega bo'ladi va qaralayotgan pazlarning o'lchovlarini beradi.

Oqim pazning pastki qismini silliq chizganda yoki $K_{kp.n}$ - uning balandligini yuqori qirrasiga nisbatan kamaytirganda (3-rasm) qiymati, $K_{kp.b}$, qiymatidan kam bo'ladi, ya'ni pazning yuqori qirrasida aeratsion kavitatsiyaning kelib chiqishi uchun havfli bo'lib qoladi. Lekin hozirgi vaqtgacha pazning yuqori qirrasidan aeratsion kavitatsiyaning paydo bo'lishi sezilmagan. Bu holat esa

kavitatsiya zonasining konstruksiya sirtiga tegmasligidan kelib chiqadi. Xususiyl holda esa kavitatsion kamera pazning yuqori chegarasida shart $\frac{K}{K_{kp}} > 0,65$ bajarilishi orqali yoki, boshqacha aytganda pazning pastki chegarasi buzilgan vaqt sodir bo'lishi mumkin.

Oqining chegaraviy qatlamning δ -qalinligini aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$\frac{\delta}{L} = 0,24 \left(\frac{L}{\Delta} \right)^{-0,13} \quad (6)$$

Bu yerda: L - stvordan pazgacha bo'lgan masofa bo'lib, chegaraviy qatlam boshlanish chegarasi; Δ - keltirilgan g'adir-budirlik.

Zatvor, pazga joylashtirilsa, oqimning shakllanishi tubdan o'zgaradi va pazga ta'sir ko'rsata boshlaydi. Pazning K_{kp} qiymati zatvorning chizmasi, zatvor pichog'ining o'zgarishi va pazning konstruktiv elementlar bilan to'lib borishi bilan o'zgarib boradi.

XULOSALAR.

1. Rezaksoy suv omboridagi tekis zatvorlari oraliqlarida aeratsiya orqali kavitatsiyaning paydo bo'lishi tufayli keskin o'zgaruvchan oqim bilan oqim sirt girdoblarining ta'siri tufayli aeratsiyalanadi. Havo oqimning erkin yuzasi orqali kirib borishi o'z-o'zini aeratsiya deb ataladi. Keskin o'zgaruvchan oqim bilan oqim sirt girdoblarining ta'siri tufayli aeratsiyalanadi.

2. Aeratsiyaning yuzaga kelishi uchun zaruriy shart chegara qatlamining yuzaga chiqishi hisoblanadi, lekin bu shartning bajarilishi yetarli emas - aeratsiya faqat sirt taranglik kuchlarining stabillashtiruvchi ta'siri ostida bo'lgan suv yuzasining yemirilishidan - deformatsiyasidan so'ng sodir bo'ladi.

Adabiyotlar

- [1]. PhD. O. Cho'lponov. Rezaksoy suv ombori bosimli quvuri bosh qismida sodir bo'lishi mumkin bo'lgan kavitatsiya jarayonini // Miasto Przyszłości Kielce 2025. Pej-386-391
- [2]. PhD. S.J.Razzakov, O.Cho'lponov, T.Qosimov Suv omboridagi aeratsiyali oqimning kavitatsiya jarayoniga ta'sirida suv chiqarish quvurning deformatsiyalanish holatini tadqiq qilish //FarPI. ilmiy-texnika jurnal, 2025, Tom 29 №1). 119-124 бетлар.
- [3]. PhD, katta oqituvchi O.Cho'lponov Suv omboridagi suv o'tkazgich quvurining kuchlanganlik-deformatsiya holatini aniqlashning tahlili.// "Arxitektura, qurilish va muhandislik sohalarida zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari" mavzusidagi xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik konferensiya NamDTU- 2025 yil 16-17 may. 38-41 betlar.
- [4]. Jurayev X., Chulponov O. Simulation of the lift of two sequentially installedgates of the Karkidon reservoir // E3S Web of Conferences 452, 02006 (2023).
- [5]. Chulponov O.G., Khudaykulov S.I. Modeling air penetration through the free surface of the flow // Journal of Civil, Structural, Environmental, Water resources and Infrastructure Engineering Research (JCSEWIER) ISSN(Print): 2278-3539; ISSN(E): 2278-3547 Vol. 12, Issue 2, Dec 2022, 1–6 © TJPRC Pvt. Ltd.
- [6]. Chulponov O.G'. Suv omboridagi suv o'tkazgich quvurining kuchlanish va deformatsiya holatini tadqiq qilish // Bino va inshootlar zilzilabardoshligi sohasida kadrlar tayyorlashning istiqbollari / Respublika ilmiy-amaliy anjumani.TAQU, 2023 y 23-24 dekabr. 258-261 b.
- [7]. Чўлпонов О.Г., Худайкулов С.И., Ёқубжонов Ё. Аэрации по критерию моделирование // Zamonaviy arxitekturada chizma geometriya masalalarini qo'llash muammolari va yechimlari / Vazirlik miqyosida ilmiy-amaliy konferensiya. NamMQI, 17.05.2022 y.247-251 6.
- [8]. Cho'lponov O.G', Xudoykulov S.I. Ko'p fazali oqimning erkin sirti yuzasi bo'ylab havo oqimining kirib borishini modellashtirish // Best publication ilmiy-tadqiqotlar markazi. Pedagog Respublika ilmiy jurnali, №3–son, 2022 - yil 15-noyabr. 169-175 b.

QO'SHTAVR KESIMLI YOG'OCH TO'SIN HISOB

S.J. Razzakov, T.Y. Usmanov

Namangan davlat texnika universiteti

[\(Qabul qilindi 20.10.2025 y.\)](#)

Annotatsiya. Maqolada kichik kesim yuzali yog'och hamda OSB (Oriented Strand Board)ni birikishi

orqali hosil qilingan qo'shtavr kesimli yog'och to'sinlarni hisoblash tartibi va kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini nazariy tadqiqi yoritilgan.

Kalit so'zlar: yog'och, panel, ko'ndalang kesim, birikma, nazariy hisoblash, kuchlanish, to'sinning og'ishi, nisbiy deformatsiya, elastiklik moduli.

Аннотация. В статье изложен порядок расчёта деревянных двутавровых балок, сформированных путём соединения деревянных элементов с плитами ОСБ (Oriented Strand Board), а также представлено теоретическое исследование напряжённо-деформированного состояния таких конструкций.

Ключевые слова: древесина, панель, поперечное сечение, соединение, теоретический расчёт, напряжение, прогиб балки, относительная деформация, модуль упругости.

Abstract. The article presents the procedure for calculating wooden I-beams formed by joining timber elements with OSB (Oriented Strand Board) panels, as well as a theoretical investigation of the stress-strain state of such structures.

Keywords: wood, panel, cross-section, joint, theoretical analysis, stress, beam deflection, strain, modulus of elasticity.

Kirish. Jahonda hozirgi davrda yog'och va boshqa tabiiy ekologik xavfsiz materiallardan tiklanadigan konstruksiyalarni ishlab chiqarishning innovatsion texnologiyalari qurilishda muhim o'rinni egallamoqda. Yog'och konstruksiyalari uchun samarador elementlari orqali yangi birikmalarni yaratish, ularni takomillashtirish asosida amaliy jihatdan tadqiq etish va qurilish amaliyotida qo'llash muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan samarali yog'och konstruksiyalari elementlarining birikmalarini takomillashtirish, birikmalarning mustahkamligini oshirish dolzarb muammolarning biriga aylanmoqda. Ayniqsa yog'och konstruksiyalari elementlarining birikmalarini yangi mustahkam turlarini yaratish, ularning kuchlanganlik-deformatsiyalanuvchanlik holatini real o'rganish, chidamli yog'och konstruksiyalari elementlarining birikmalarini muhandislik amaliyotida joriy etish, energiya va resurs-tejamkorligini ta'minlash, ekspluatatsiya sharoitlariga bardoshliligi, texnologik kabi xossalarni yaxshilashga alohida e'tibor qaratish muhim hisoblanadi. Shu jumladan, mahalliy xomashyodan foydalangan holda yog'och konstruksiyalari elementlarining birikmalarini takomillashtirishga yetarli darajada e'tibor qaratilmaganligi tadqiqotlardan ko'rinib qolmoqda [1].

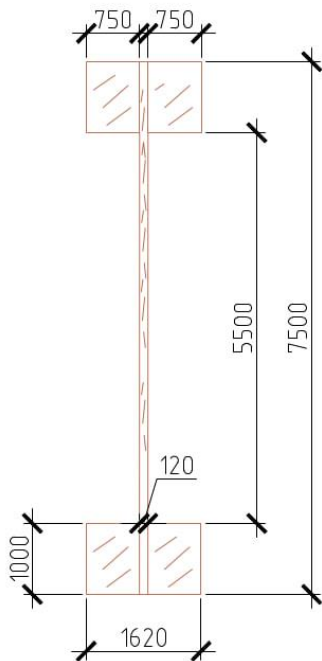
Yog'ochning yuk ko'taruvchi qurilish konstruksiyalari uchun material sifatida imkoniyatlari hozirgacha to'liq hal qilinmaganligini tahlillar ko'rsatmoqda. Asosiy sabab, yog'ochning o'ziga xos strukturaviy xususiyatlariga mos keladigan va uning o'ziga xos kamchiliklarining ta'sirini sezilarli darajada kamaytiradigan yetarlicha samarali bog'lovchi vositalarning yetishmasligi bo'lishi ham mumkin [2].

Yog'och konstruksiyalarning samaradorligini oshirish uchun konstruksiyalarning yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish imkonini beruvchi yangi turdagi kesimlardan foydalanish orqali amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

Qo'shtavr kesimli yog'och to'sinlar qurilish konstruksiyalari uchun nisbatan yangi yechim bo'lib, qurilish sanoatida ekologik toza, metall va temirbeton to'sinlarga nisbatan arzon narxda hamda boshqa konstruksiyalar kabi yuqori mustahkamlik va qattiqlikni ta'minlaydi. Qo'shtavr shakli inertsia momentini keskin oshiradi, natijada to'sindagi egilish kamayadi. Qo'shtavr kesimlarning afzalligi - ishlab chiqarishning nisbatan soddaligi va ularning funktsional ko'p qirraliligi, bu yog'och to'sinlarni samarali ishlab chiqarish imkonini beradi.



1-rasm. Qo'shtavr kesimli yog'och to'sin modeli.



2-rasm. To'sin qirgimi.

Tadqiqotning obyekti. Tadqiqotimiz obyekti sifatida jamaot va turar-joy binolarining tom yopma, penthaus va mansardalardagi yog'och to'sin elementlarining birikmalarini takomillashtirishga qaratilgan

Tadqiqotning maqsadi yog'och to'sinlarning mustahkamligi va qattiqligini isbotlash, shuningdek, 9 metr uzunlikdagi qo'shtavr kesimlik yog'och to'sinlarning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini tahlil qilish hamda ushbu qo'shtavr kesimli yog'och to'sinlarning nazariy xisob kitoblarini amalga oshirishdir. Ushbu qo'shtavr kesimlik yog'och to'sinlarni yaratishda 2-navli qarag'ay yog'och to'ri hamda OSB bir biriga yelimlangan hamda boltli birikma orqali maxkamlangan. Ushbu to'sinimizda 12 mm qalinlikdagi OSB qo'shtavr devori sifatida foydalanilgan. Qo'shtavr tokchasi sifatida foydalangan yog'och to'rimiz 100 x 75 mm lik o'lchamga ega.

Xisob ishlarini bajarishda dastlab eguvchi moment, qirquvchi kuch hamda qarshilik momenti aniqlandi. Bunda xisobiy yuklama $q^x = 8 \text{ kN/m}$, to'sinning xususiy og'irligi ham inobatga olindi.

Kesimning inersiya momentini esa ushbu formula yordamida aniqlandi

$$I_x = \frac{b[h^3 - (h-h_p)^3]}{12} \quad (1)$$

$I_x = 344925.4 \text{ sm}^4$. Inersiya momentini xisoblash ishlari kesimni devorsiz holatida bajarildi.

Kesim statik momentini neytral o'qqa nisbatan aniqlandi.

$$S_x = b h_p \frac{(h-h_p)}{2} \quad (2)$$

$$S_x = 5265 \text{ sm}^3$$

To'sin devorining elastiklik koeffitsiyenti — bu to'sinning devor qismi (stenkasi) tashqi kuch ta'sirida qanchalik deformatsiyaga uchrashini baholovchi ko'rsatkich bo'lib, odatda kesimning bikrligiga ta'sir etuvchi elastiklik moduli (E) va devor geometriyasi bilan aniqlanadi.

$$\beta = \frac{\pi^2 E_y S_x}{E_f \delta l^2} \quad (3)$$

$\beta = 0.713$. Yog'och qo'shtavr uchun $\beta=0.7-0.75$ oralig'i odatiy hisoblanadi, po'lat bilan solishtirganda past ko'rinadi. Lekin egiluvchan burilishga moyilroq, xavfsizlikni oshirish maqsadida qo'shimcha tayanch qovurg'alar bilan mustahkamlab $\beta = 0.8-0.9$ ga olib chiqish maqsadga muvofiq bo'ladi

Kesimning qarshilik momenti koeffitsiyenti (k) — kesimning real egilishga qarshiligi uning nazariy qarshiligidan qanchalik farq qilishini ko'rsatadi.

$$k_w = \frac{1}{1 + \frac{h_p}{h} \beta} \quad (4)$$

$k_w = 0.913$. Amaliyotda odatda $k=0.90-0.98$ oralig'ida bo'ladi. Demak 0.913 bu me'yoriy,

normal, ishlatish uchun yaroqli qiymat hisoblanadi.

Xisobiy qarshilik momenti quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$W^x = W_x k_w \quad (5)$$

$$W^x = 8397.77 \text{ sm}^3$$

Ruxsat etilgan kuchlanish yog'och konstruksiyalar uchun yog'och turiga, namlikka, ish sharoiti va ishlatilish soxasiga qarab o'zgaradi. 2-navli yog'och uchun ruxsat etilgan kuchlanish odatda egilishda 12-14 MPa, siqilish va cho'zilishda 14 MPa olinadi.

$$\sigma = \frac{M}{W^x} \quad (6)$$

$\sigma = 9.655 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$. Xisob ishlarini bajarishda qo'shtavr kesimlik to'sin bir jinslik yaxlit emasligi sababli ruxsat etilgan kuchlanish 10 Mpa olinadi.



3-rasm. To'sinning yuqoridan ko'rinishi.

quyidagi formula orqali tekshiriladi:

Qo'shtavr kesimlik to'sin kuchlanganlik sharti bajarildi.

Qo'shtavr devori OSB materialidan yasalganligini inobatga olib to'sinni urinma kuchlanishga ham tekshirildi.

$$\tau = \frac{QS_f}{I_x \delta} \quad (7)$$

$\tau = 4.5 \text{ Mpa} < 6.5 \text{ Mpa}$. Bu yerda $\delta = 1.2 \text{ sm}$

Qo'shtavrni qirqilishdagi urinma kuchlanishi

$$\tau = \frac{QS_f}{I_x b_p} \quad (8)$$

$$\tau = 0.549 \text{ Mpa} < 2.4 \text{ MPa}$$

Yog'och konstruksiyaning qirqilishdagi urinma kuchlanishi 2-3 MPa oralig'ida olinadi.

bu yerda $b_p = h_p k_p = 10 \cdot 1 = 10$ ga teng. $h_p = 10$ birikma bir biriga boltlar bilan birikandagi koefitsiyent. Boltlar soni 10 tadan ko'p bo'lgani uchun 10 olinadi. S_f statik moment bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$S_f = F_n \frac{(h - h_p)}{2} \quad (9)$$

$$S_f = 5265.3 \text{ sm}^3.$$

Qo'shtavrli kesimli yog'och to'sin urinma kuchlanish shartini ham bajardi. Tekshirishni so'nggi bosqichida salqillik shartiga tekshiriladi.

$$\frac{f}{l} = \frac{5q_1 l^3}{384 E I_x k_f} \quad (10)$$

Bu yerdagi $k_f = 0.583$ quyidagicha aniqlangan.

$$k_f = \frac{1}{1 + \beta} \quad (11)$$

Salqillik sharti ham $\frac{f}{l} = 0.0029 \text{ m} \leq \frac{1}{300} L = 0.003 \text{ m}$ bajarildi.

Hulosa. Olingan xisob ishlari asosida qo'shtavr kesimli yog'och to'sinlarning kuchlanganlik–deformatsiyalanish holatini baholashda uning geometrik parametrlari, materialning elastik xossalari hamda yog'och va OSB elementlarning o'zaro birikish xarakteri muhim ekanligini ko'rsatdi. 9 metr oraliqda ushbu qo'shtavr kesimli to'sindan foydalanish metall va temir beton to'sinlarga nisbatan 4-6 barobar yengil va iqtisodiy jihatdan 2 barobar samarilidir.

Adabiyotlar

- [1]. Razzakov S.J., Berdakov D.E. Yog'och konstruksiya elementlari birikmalarining mustahkamligi. Scientific Journal Construction and Education, 74-77-b.
- [2]. S.A. Isupov Calculation Methodology for Constituent Wooden Rods on Discrete Shear Bonds. Architecture and Engineering, 47-56-b.
- [3]. T.Y. Usmanov Yog'och va yog'och konstruksiyalar: xususiyatlari, qo'llanilishi va rivojlanish istiqbollari. Arxitektura, qurilish va muhandislik sohalarida zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari, xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami 1- qism. 762-766-b.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ С ОТОПИТЕЛЬНЫМ РАДИАТОРОМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

М.Э. Мадалиев, М.У. Содиков

Ферганский государственный технический университет
Madaliev.me2019@mail.ru, m.e.madaliyev@ferpi.uz, mrsxid@bk.ru
(Получена 17.10.2025 г.)

Аннотация. В данной работе проведено численное моделирование тепловых процессов в помещении с использованием программного пакета ANSYS. Рассматривается типичное закрытое помещение, содержащее радиатор отопления, окно, стены, пол и потолок с различными граничными температурными условиями. Температура радиатора установлена на уровне 348 К, температура окна – 268 К, а остальные поверхности (стены, пол и потолок) – на уровне 293 К. Цель исследования – проанализировать распределение температуры и характер движения тепловых потоков в помещении для оценки эффективности отопления и теплового комфорта. Результаты моделирования позволяют визуализировать тепловое поведение внутренней среды и могут быть использованы для оптимизации систем отопления и теплоизоляции зданий.

Ключевые слова: уравнения Навье–Стокса, модель k – ϵ , ANSYS Fluent, RANS.

Abstract. This paper presents a numerical simulation of thermal processes in a room using the ANSYS software package. A typical enclosed room containing a heating radiator, a window, walls, a floor, and a ceiling with various boundary temperature conditions is considered. The radiator temperature was set at 348 K, the window temperature was 268 K, and the remaining surfaces (walls, floor, and ceiling) were set at 293 K. The objective of the study was to analyze the temperature distribution and heat flow patterns in the room to assess heating efficiency and thermal comfort. The simulation results allow visualization of the thermal behavior of the indoor environment and can be used to optimize heating and insulation systems for buildings.

Keywords: Navier–Stokes equations, k – ϵ model, ANSYS Fluent, RANS.

Annotatsiya. Ushbu maqolada ANSYS dasturiy ta'minot paketidan foydalangan holda xonadagi issiqlik jarayonlarining raqamli simulyatsiyasi keltirilgan. Turli chegaraviy harorat sharoitlariga ega isitish radiatori, deraza, devorlar, pol va shipni o'z ichiga olgan odatiy yopiq xona ko'rib chiqiladi. Radiator harorati 348 K, deraza harorati 268 K va qolgan sirtlar (devorlar, pol va shift) 293 K ga o'rnatildi. Tadqiqotning maqsadi isitish samaradorligi va issiqlik qulayligini baholash uchun xonadagi harorat taqsimoti va issiqlik oqimi naqshlarini tahlil qilish edi. Simulyatsiya natijalari ichki muhitning issiqlik xususiyatlarini vizualizatsiya qilish imkonini beradi va binolar uchun isitish va izolyatsiya tizimlarini optimallashtirish uchun ishlatilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Navier-Stokes tenglamalari, k – ϵ modeli, ANSYS Fluent, RANS.

1. Введение.

Обеспечение комфортных тепловых условий в помещениях является одной из приоритетных задач в строительстве, архитектуре и энергетике. В условиях повышения требований к энергоэффективности зданий, минимизации теплопотерь и обеспечения устойчивого развития становится особенно актуальным проведение анализа процессов теплопередачи внутри помещений. Понимание распределения температуры, характера движения воздуха и влияния различных тепловых источников и потерь позволяет не только повышать уровень комфорта пользователей, но и оптимизировать расход тепловой энергии.

Тепловые процессы в помещении определяются сочетанием трёх основных механизмов: теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением. Каждый из них зависит от множества факторов, включая геометрию помещения, расположение и мощность отопительных приборов, теплотехнические характеристики строительных материалов и граничные условия. Сложность и нелинейность взаимодействующих процессов делают аналитические методы неэффективными, поэтому всё чаще применяются численные методы моделирования, в частности – метод конечных элементов и метод конечных объёмов, реализованные в программных продуктах, таких как ANSYS.

ANSYS позволяет выполнять комплексное моделирование тепловых и аэродинамических процессов с учётом турбулентных течений и многокомпонентной теплообменной среды. В

данной работе для моделирования движения воздуха в помещении использована турбулентная модель $k-\epsilon$ (k-epsilon), которая позволяет учесть вихревую структуру потока и адекватно описывает перенос импульса в турбулентной среде. Эта модель широко применяется в инженерных задачах благодаря своей устойчивости и приемлемому балансу между точностью и вычислительными затратами [1–6].

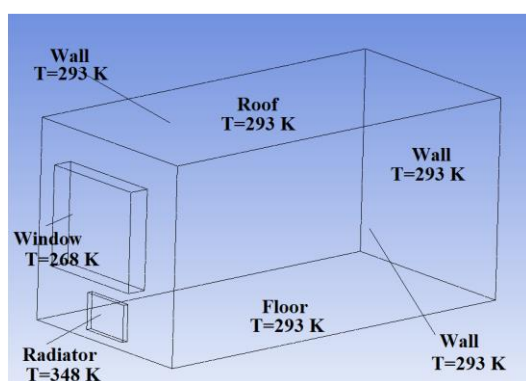
Для анализа температурного распределения в помещении решалась также энергетическая (тепловая) уравнение, описывающее перенос тепла за счёт конвекции и теплопроводности. Температурные граничные условия заданы следующим образом: радиатор поддерживается на уровне 348 К, окно — на 268 К, а все остальные ограждающие конструкции (стены, пол и потолок) — на 293 К. Такая схема моделирует характерные условия отопления в зимний период, где окно служит источником теплопотерь, а радиатор — источником теплоступления.

Целью данного исследования является численный анализ распределения температуры и движения воздуха в помещении, а также определение теплового комфорта и эффективности размещения отопительного оборудования. Результаты моделирования могут быть использованы при проектировании энергоэффективных зданий, оптимизации систем отопления и теплоизоляции, а также при анализе микроклимата в жилых и офисных помещениях.

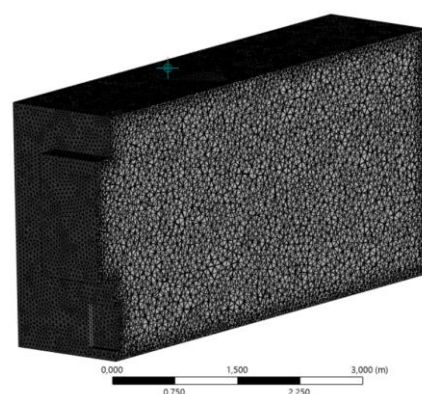
2. Физическая постановка задачи

Рассматривается трёхмерная модель прямоугольного помещения, в котором проводится численный анализ тепловых процессов с использованием программного комплекса ANSYS Fluent. Цель моделирования — исследовать распределение температуры и движение воздушных потоков при заданных тепловых граничных условиях. Геометрические размеры помещения и расположение объектов соответствуют типичной комнате с одним радиатором и одним окном.

Для корректного описания теплообмена в помещении заданы следующие стационарные температурные граничные условия: Температура радиатора: 348 К. Температура окна: 268 К. Температура стен, пола и потолка: 293 К. Все твёрдые поверхности моделируются как стационарные с неизменной температурой (условия Дирихле). На границах между воздухом и твёрдыми телами осуществляется конвективный теплообмен. Потоки воздуха внутри помещения возникают в результате температурной конвекции (естественной), вызванной различием температур между радиатором и остальными конструктивными элементами рис. 1 (а).



а) Граничные условия



б) Расчетная сетка

Рис. 1.

Начальные условия: Начальная температура воздуха в помещении принята равной 293 К. Давление — атмосферное (101325 Па). Начальная скорость воздуха — нулевая, что соответствует спокойному состоянию воздуха до возникновения естественной конвекции.

Турбулентность — Для моделирования движения воздуха применена турбулентная модель $k-\epsilon$ (standard k-epsilon), которая обеспечивает устойчивое решение для внутренних

течений при наличии температурных градиентов. Интенсивность турбулентности входного потока составляет 0,088%.

Для численного решения задачи построена структурированная объёмная сетка, представленная на рис. 1 (б). Сетка имеет достаточную плотность вблизи радиатора и окна для адекватного описания температурных и скоростных градиентов. Общая численность ячеек составляет примерно N (вписать при необходимости). Для обеспечения сходимости решения применялась адаптация сетки в зонах с наибольшими перепадами температуры.

3. Математическая модель

Численное моделирование теплообмена и движения воздуха в помещении выполнено на основе системы усреднённых уравнений Навье–Стокса (RANS — Reynolds-Averaged Navier–Stokes), дополненных уравнением энергии и моделью турбулентности k – ε . Этот подход позволяет эффективно описывать поведение турбулентных течений без необходимости разрешения всех мелкомасштабных вихрей, что делает его вычислительно экономичным и широко применимым в инженерной практике.

Уравнение сохранения массы (непрерывности):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Уравнение сохранения импульса, которое описывает изменение скорости жидкости под воздействием внешних и внутренних сил:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

где $\bar{u}_i$ – компоненты среднего скоростного поля, $\bar{p}$ – среднее давление, ν – кинематическая вязкость, τ_{ij} – компоненты тензора напряжений, ρ – плотность.

Уравнение энергии (усреднённое):

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k_{\text{eff}} \nabla T). \quad (3)$$

где k_{eff} учитывает вклад турбулентной теплопроводности.

4. Турбулентная модель k – ε :

Для моделирования турбулентности использована двухуравневая модель Standard k – ε , которая решает уравнения для турбулентной кинетической энергии k и скорости её диссипации ε :

$$\begin{cases} \rho \frac{Dk}{Dt} = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon, \\ \rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}. \end{cases} \quad (3)$$

где: P_k — производство турбулентной энергии, $\mu_t = C_\mu \rho k^2 / \varepsilon$.

5. Метод решения

Для численного моделирования течения воздуха и теплопереноса в помещении использовано программное обеспечение ANSYS Fluent с применением RANS-подхода и турбулентной модели Standard k – ε . Связь между давлением и скоростью решалась с помощью связанной схемы Coupled, обеспечивающей устойчивую сходимость при наличии естественной конвекции. Пространственная дискретизация выполнялась по следующим

схемам: для давления — Second Order, для импульса — Second Order Upwind, для энергии — Second Order Upwind, а для турбулентной энергии и её диссипации — First Order Upwind. Для стабилизации численного процесса были заданы релаксационные коэффициенты: 0.5 для давления и импульса, 0.75 для энергии и турбулентных параметров. Градиенты рассчитывались методом наименьших квадратов (Least Squares Cell Based). Временной шаг задавался как глобальный (Global Time Step), что соответствует стационарному режиму расчета. Эти численные параметры обеспечивают точное и стабильное решение задачи естественной конвекции с учетом сложных граничных условий.

6. Результаты и их обсуждение

На рис.2 представлены визуализации поля скорости воздуха в помещении на различных этапах временного развития течения.

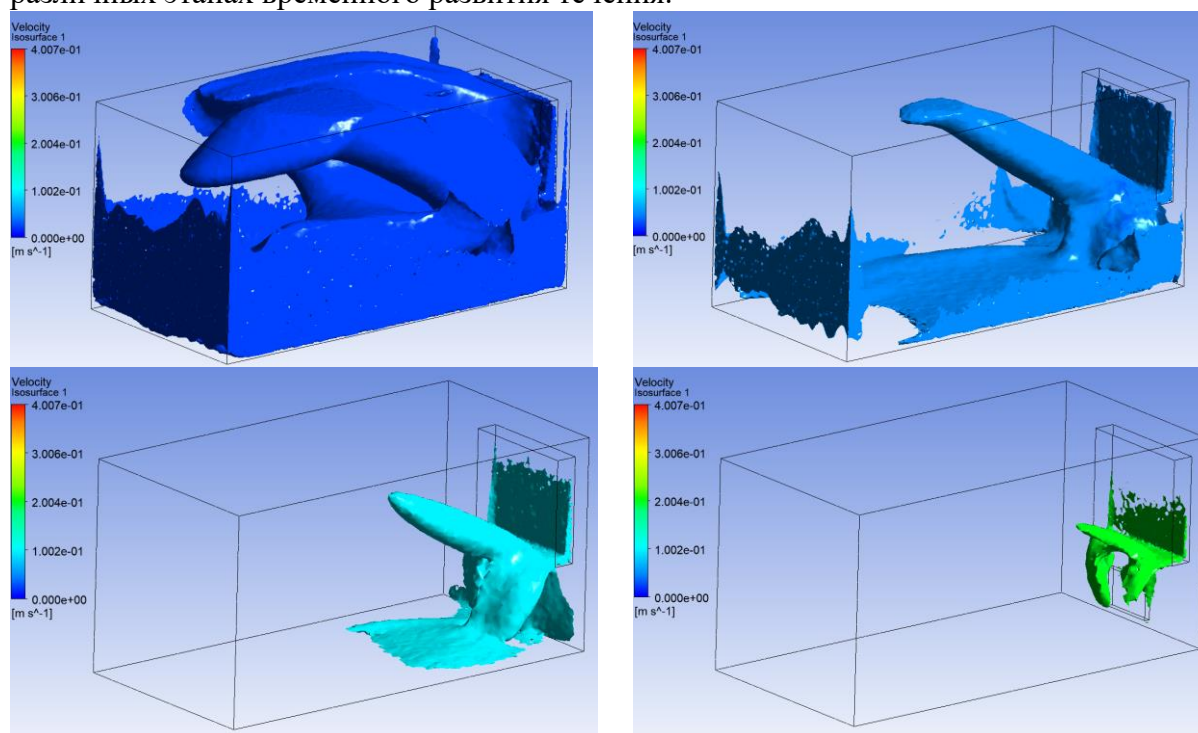


Рис. 2. Изменение структуры воздушного потока во времени.

Цветовая шкала отображает величину модуля скорости (в м/с), где синий цвет соответствует минимальным значениям, а красный — максимальным (до ~ 0.4 м/с). Все изображения иллюстрируют эволюцию естественной конвекции, вызванной разностью температур между радиатором ($T = 348$ К) и другими поверхностями помещения. Верхний левый рисунок демонстрирует начальную фазу формирования циркуляционного потока, при котором горячий воздух от радиатора поднимается вверх, распространяясь под потолком. Верхний правый рисунок показывает дальнейшее развитие движения, при котором горячие массы воздуха постепенно вытесняются к центральной части комнаты. Нижний левый рисунок иллюстрирует стабилизацию основной циркуляционной струи, направленной вдоль стены, противоположной радиатору. Нижний правый рисунок подчеркивает наличие вихрей и возвратных потоков вблизи источника тепла, что является результатом взаимодействия восходящего горячего воздуха и более холодных воздушных масс у окна ($T = 268$ К). Такая временная динамика показывает, как со временем устанавливается устойчивая конвективная структура, обеспечивающая перенос тепла по всему объему помещения. Полученные данные позволяют оценить эффективность отопления и зоны возможного дискомфорта.

На рис.3 представлено векторное поле скорости, показывающее направление и интенсивность движения воздуха в помещении.

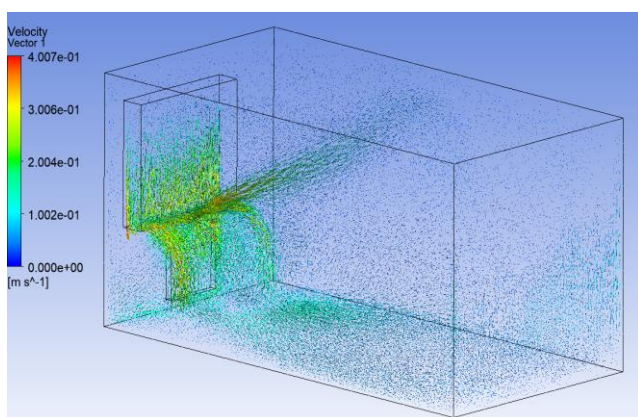


Рис. 3. Векторное поле скорости воздуха в помещении.

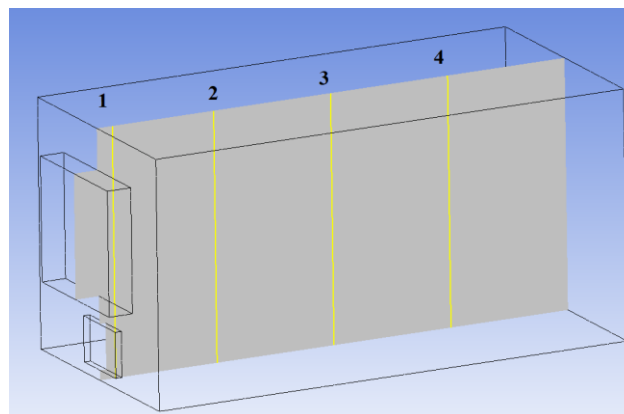
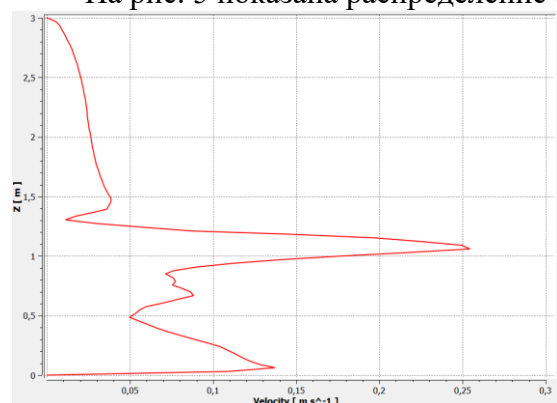


Рис. 4. Распределение скорости и температуры по вертикали в четырёх сечениях помещения

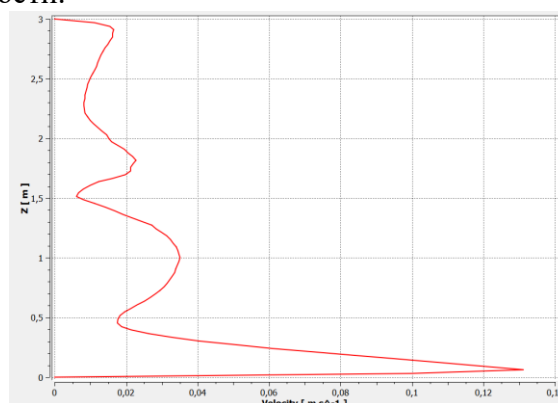
Видно, что нагретый воздух от радиатора поднимается вверх и распространяется по потолку, создавая циркуляционный поток, который затем опускается в направлении противоположной стены. Максимальная скорость составляет около **0.4 м/с**, наибольшие значения наблюдаются вблизи радиатора, что указывает на активную естественную конвекцию.

На рис. 4 показана схема сечений, проходящих от радиатора (слева) к противоположной стене (справа), где: Сечение 1 — ближе всего к радиатору, Сечение 4 — у противоположной стены.

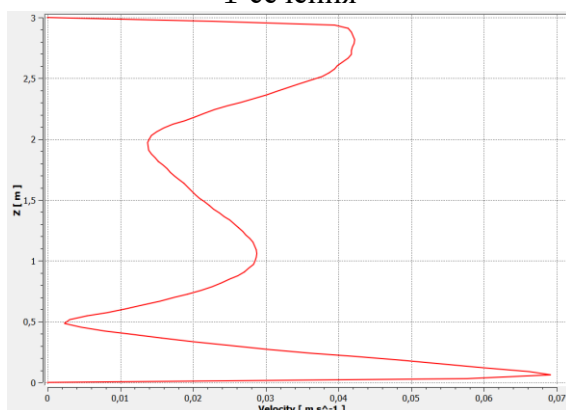
На рис. 5 показана распределение скорости.



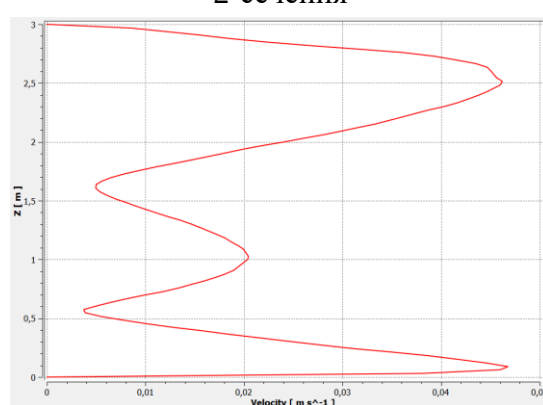
1-сечения



2-сечения



3-сечения



4-сечения

Рис. 5. Распределение скорости

Графики демонстрируют вертикальные профили скорости воздуха (ось Z) вдоль высоты помещения в каждом сечении. Сечение 1: Наблюдается наибольшая скорость у радиатора (~0.3 м/с), что соответствует восходящему горячему потоку. Сечения 2 и 3:

Скорость снижается, но сохраняются локальные ускорения, свидетельствующие о циркуляционных потоках. Сечение 4: Скорости минимальны (~ 0.02 м/с), движение воздуха в основном нисходящее, что подтверждает завершение конвекционного контура.

На рис. 6 показана распределение температуры.

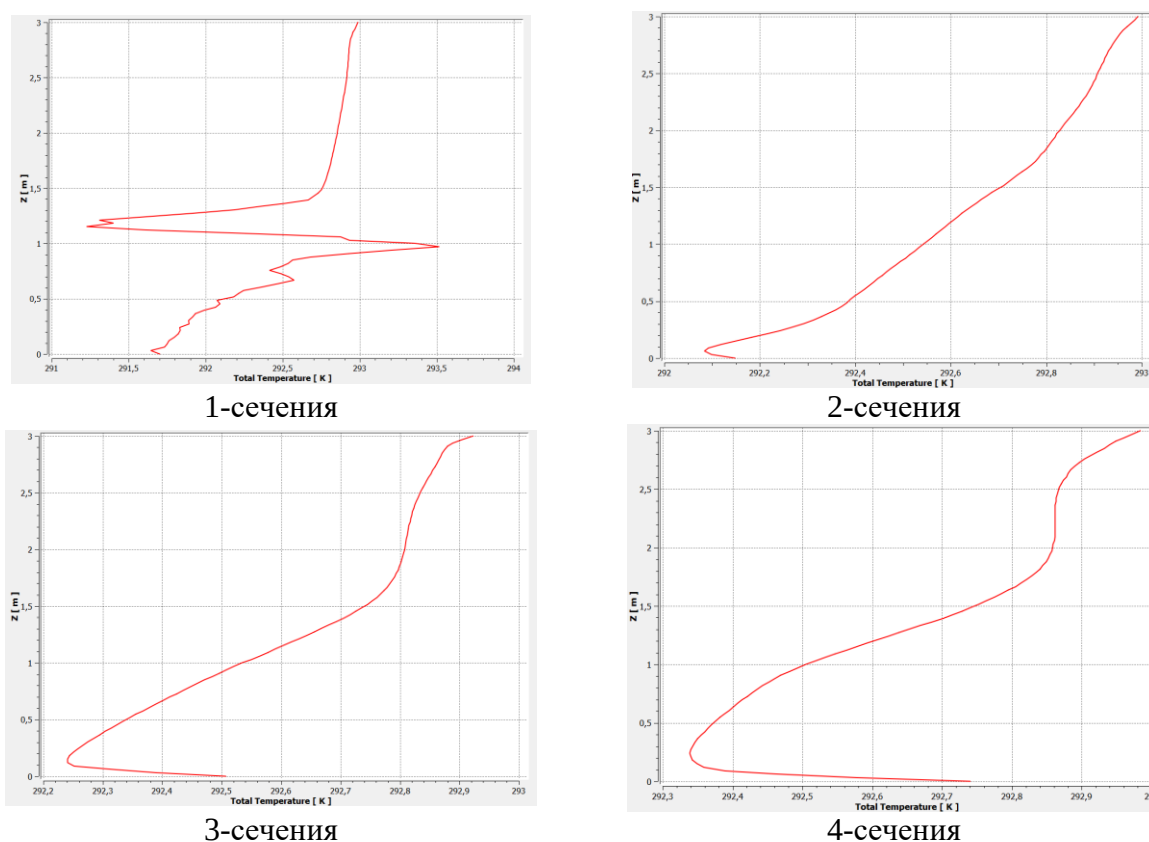


Рис. 6. Распределение температуры.

Графики отражают, как меняется температура воздуха по высоте в каждом сечении. Сечение 1: Резкий градиент температуры вблизи пола и потолка, высокая температура наверху (до 293.5 K), что указывает на скопление тёплого воздуха от радиатора. Сечения 2 и 3: Температура равномернее распределена, с постепенным увеличением к потолку (естественная стратификация). Сечение 4: Температура практически постоянна по высоте (~ 292.5 –293 K), что говорит о стабилизации воздушного потока у противоположной стены.

7. Заключение

В результате численного моделирования с использованием ANSYS Fluent была проведена комплексная оценка теплового режима в помещении с учётом действия естественной конвекции, возникающей от радиатора. Полученные данные о распределении температуры и скорости воздуха позволили визуализировать формирование устойчивого циркуляционного потока: горячий воздух поднимается вверх от радиатора, распространяется вдоль потолка и опускается у противоположной стены. Анализ профилей температуры и скорости в различных сечениях показал наличие характерной стратификации воздуха, что свидетельствует об эффективной теплопередаче внутри помещения. Проведённое исследование подтверждает применимость модели k - ϵ и RANS-подхода для задач внутренней аэро- и теплотехники, а также может быть использовано для оптимизации систем отопления и улучшения теплового комфорта в зданиях.

Список литературы

- [1]. Hayrullin, A., Haibullina, A., & Ilyin, V. (2022). RANS numerical simulation in in-line tube bundle: prediction of heat transfer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- [2]. Hossain, M. A., & Hossain, S. (2014). Numerical investigation of porous medium heat transfer.

- [3]. Karkaba, H., Habchi, C., & Takash, A. A. (2019). Numerical analysis of different indoor heating methods. 2019 Fourth International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA), 1–7.
- [4]. Bhola, M., & Singh, S. (2022). Analysis of heat transfer of turbulent channel using different geometries using ANSYS. Materials Today: Proceedings.
- [5]. Chorak, A., Ihringer, E., Ben Abdellah, A., Dhimdi, S., Essadiqi, E., Bouya, M., & Faqir, M. (2014). Numerical evaluation of heat transfer in corrugated heat exchangers. 2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 401–406.
- [6]. Frikha, S. (2024). Numerical and experimental study of the forced convection heat transfer for a circular cylinder. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration.

УДК 624.072.2

YENGIL BETONLI TEMIRBETON TO‘SINLARNI ANSYS DASTURIDA MODELLASHTIRISH

C.J. Razzakov, O.Q. Fozilov

Namangan davlat texnika universiteti

[\(Qabul qilindi 05.09.2025 y.\)](#)

Maqolada yengil betondan tayyorlangan temirbeton to‘sinlarning mustahkamlik tavsiflari ANSYS dasturida modellashtirilgan. Tadqiqotda turli hajmiy og‘irlikdagi betonlar va armaturalash holatida to‘sinlar yuk ko‘tarish qobiliyati, solqilik, deformatsiya hamda chegaraviy momentlari tahlil qilinib, amaliy va iqtisodiy afzalliklari asoslab berilgan.

Tayanch so‘zlar: *temirbeton, to‘sin, yengil betonlar, ANSYS, egilishdagi mustahkamlik, solqilik, nisbiy deformatsiya, eguvchi moment, chegaraviy moment.*

В статье смоделированы прочностные характеристики железобетонных балок из лёгкого бетона с использованием программы ANSYS. В исследовании проанализированы несущая способность, прогиб, деформация и предельные моменты балок при различных плотностях бетона и условиях армирования, обоснованы их практические и экономические преимущества.

Ключевые слова: *железобетон, балка, лёгкие бетоны, ANSYS, прочность при изгибе, прогиб, относительная деформация, изгибающий момент, предельный момент.*

In the article, the strength characteristics of reinforced concrete beams made of lightweight concrete were modeled using the ANSYS software. The study analyzed the load-bearing capacity, deflection, deformation, and ultimate moments of beams under different concrete densities and reinforcement conditions, substantiating their practical and economic advantages.

Key words: *Reinforced concrete, Beam, Lightweight concrete, ANSYS, Flexural strength, Deflection, Relative deformation, Bending moment, Ultimate moment.*

Hozirgi kunda jahon qurilish amaliyotida ko‘p qavatli bino va inshootlar qurilishi jadal rivojlanib, zamonaviy qurilish materiallariga bo‘lgan talab toboro ortmoqda. Bu sharoitda konstruksiyaviy va seysmik xavfsizlikni ta‘minlash muhim masala bo‘lib qolmoqda. Oddiy hollarda yuk ko‘taruvchi temirbeton konstruksiyalar uchun asosan og‘ir betonlar tavsiya etilsada, ularning yuqori zichligi va mustahkamligiga qo‘shimcha ravishda yengil betonlar ham so‘nggi yillarda yuk ko‘tarish qobiliyati jihatidan raqobatbardosh ekanligi ilmiy tadqiqotlar orqali asoslanmoqda [1,2]. Yengil betonlardan foydalanish konstruksiyaning xususiy og‘irligini sezilarli darajada kamaytiradi, natijada seysmik hududlarda inersiya kuchlarining pasayishiga olib kelib, zilzilabardoshlikni oshiradi. Shu bilan birga, bino massasining kamayishi yuk ko‘taruvchi elementlarning ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini va armaturalash miqdorini kamaytirish imkonini beradi, bu esa iqtisodiy samaradorlikka erishishda muhim ahamiyatga ega [3,4]. Shuningdek, ko‘plab jahon va mahalliy olimlar tomonidan o‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar mazkur yo‘nalishning ilmiy va amaliy ahamiyatini yanada tasdiqlab bermoqda.

H.K.AL Farttoosi va boshqalar [5] tomonidan yengil va oddiy betondan tayyorlangan ikki qatlamli to‘sinlarning qiya kesim bo‘yicha mustahkamlik xususiyatlari o‘rganilgan. Turli

balandlikdagi qatlam xususiyatlariga ega bo'lgan 28 kunlik mustahkamlikka ega jami 16 ta to'sinlar tayyorlanib sinovdan o'tkazilgan. Tajribalar yengil beton qatlami balandligini umumiy to'sin balandligiga nisbatining qiymatini (h_{LW}/h) va siqilishdagi mustahkamligini aniqlashni ham o'z ichiga olgan. Natijalarga ko'ra yengil va oddiy to'ldiruvchili to'sinlarni egilishidan hosil bo'luvchi tayanch reaksiyalarni aniqlash hamda yuklanishdan buzilish turlari aniqlangan. Barcha to'sinlardagi buzilishlar qirquvchi kuchdan hosil bo'luvchi diagonal darzlar bir xil tarzda yuzaga kelishi kuzatilgan. Olingan natijalarga ko'ra shuni ta'kidlash joizki, to'sin tayanchi va qirquvchi yuk qo'yiladigan qism oralig'ini uning balandligiga nisbat 2.75, 2.375 hamda 2 bo'lganda oraliqlarda qirquvchi kuch qiymatlari aniqlangan. To'sindagi (a/h) ni qiymatini 2.75 dan 2.375 va 2 ga kamaytirilganda oddiy to'ldiruvchili to'sinlarda chegaraviy yuk qiymati mos ravishda 68% va 111% ga, ikki qatlamli to'sinlarda 73% va 113% ga hamda to'laligicha yengil to'ldiruvchili to'sinlarda esa 9% va 40% ga oshganligiga erishilgan.

Zhu, H., Chen, J. va boshqalar [6] tomonidan keramzit to'ldiruvchili yengil beton to'sinlarni uzoq muddatli yuklardan tob tashlagandan keyingi egilishdagi mustahkamlik xususiyatlarini o'rganilgan va kelgusidagi tadqiqotlar uchun ko'rsatmalar berilgan. Keramzit to'ldiruvchili to'sinlarning tob tashlashdan keyingi egilishdagi yuk ko'tarish xususiyatlarini o'rganish uchun 4 ta to'sinni 200 kunlik uzoq muddatli yuklanishga qo'yish va beton yoshi to'rt kunlik 4 ta to'sinni tob tashlashi, yuksiz statik yukka sinashdagi natijalarini taqqoslash ishlari amalga oshirilgan. Natijalar shuni ko'rsatganki, birinchidan keramzit to'sinlarning tob tashlashdan keyingi egilishdagi yuk ko'taruvchanligi oshganligi va shu bilan birga betonning mustahkamligi va energiyani yutish qobiliyati ijobiy tomonga o'zgarganligi kuzatilgan bo'lsa, ikkinchidan, 200 kunlik tob tashlashga qo'yilgandan so'ng keramzit to'ldiruvchili to'sinlarning chegaraviy mustahkamligi taxminan 10% ga oshgan. Keramzit to'ldiruvchili to'sin qurishidagi kunlar asta sekin oshishi bilan uning bikrligi, ustuvorligi va chegaraviy yuk ko'taruvchanligi ham shunga bog'liq holda oshganligi kuzatilgan. Bu ya'ni, oshish jarayonlari avvalgi bosqichlarda jadallik bilan, keyingi 120 kunlikda sekinroq va 228 kundan so'ng esa barqaror holatga o'tganligi kuzatilgan.

Izlanishlar va tahlillar shuni ko'rsatadiki, yengil betonlar asosida tayyorlangan temirbeton to'sinlarni faqat eksperimental tadqiqotlar orqali o'rganish va tadqiq qilish yetarli emas. Chunki laboratoriya sharoitida olingan natijalar ko'pincha cheklangan miqdordagi namuna asosida xulosa chiqarishga imkoniyat beradi. Shu boisdan to'sinlarni zamonaviy kompyuter dasturlaridan biri bo'lgan ANSYS dasturida modellashtirish muhim ahamiyat kasb etadi. Bu dastur yordamida eksperimental natijalarni matematik va sonli tahlillar bilan solishtirish, ularning aniqligini tekshirish hamda ilmiy asoslangan xulosalar chiqarish mumkin. ANSYS dasturida to'sin konstruksiyasini modellashtirish ular tayyorlangan yengil betonlarning murakkab xususiyatlarini chuqurroq tahlil qilish imkonini beradi. Masalan, g'ovaklik, past zichlik, deformatsiya va yorilish mexanizmlarini oddiy tajriba yo'li bilan to'liq kuzatish qiyin. ANSYS dasturida modellashtirish orqali kuchlanish va deformatsiya taqsimlanishi, yorilish zonalarini aniq ko'rsatib bera olinadi.

Albatta barcha turdagi eksperimental tadqiqotlarni amalga oshirish muayyan iqtisodiy xarajatlarni talab etadi. Modellashtirish esa vaqt va mablag'ni tejashda ham katta yordam beradi. Real sharoitda ko'plab namuna tayyorlash va ularni sinash uchun katta resurslar talab etiladi. ANSYS orqali esa turli o'lcham, shakl va yuklanish sharoitlarini virtual muhitda sinab ko'rish mumkin bo'ladi. Shu bois yengil betonlar asosida olib borilgan tadqiqotlarni ANSYS dasturida modellashtirish ularning mexanik xususiyatlarini har tomonlama tahlil qilish, eksperimental natijalarni ishonchli ravishda asoslash va ilmiy xulosalarning aniqligini ta'minlash uchun zarur hisoblanadi.

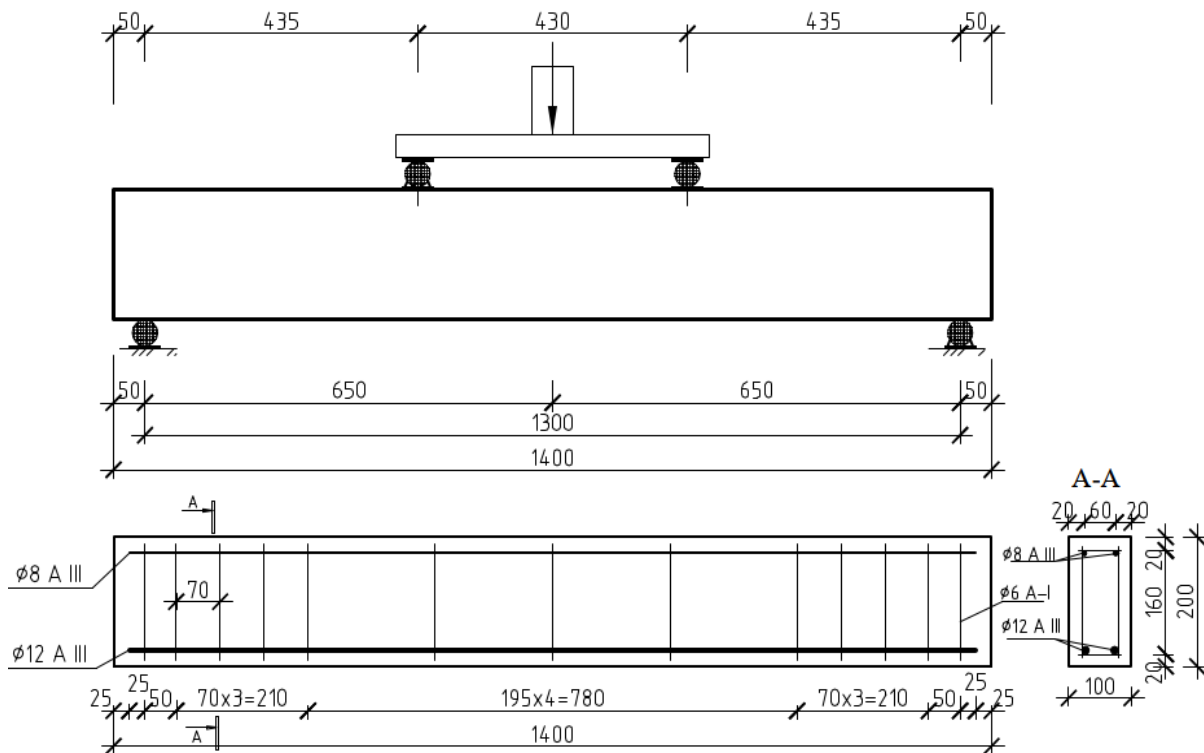
Yuqoridagi fikrlardan kelib chiqqan holda, O'zbekistonning o'zgaruvchan iqlim sharoitlariga mos keladigan, yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan yengil va ishonchli beton yaratish hamda uni ko'p qavatli binolar qurilishida qo'llash muhim ahamiyatga ega bo'lganligi sababli, yengil betondan tayyorlangan to'sin namunalari ANSYS dasturida modellashtirildi.

Mazkur sonli modellashtirish ANSYS dasturida, chekli elementlar usuliga asoslangan holda amalga oshirildi. Ushbu zamonaviy dastur temirbeton to'sinlarning geometrik va mexanik

xususiyatlarini hisobga olgan holda, ularning real sharoitdagi ishlash xarakterini modellashtirish imkoniyatini beradi. Shu bilan birga dastur juda keng funksional imkoniyatlarga ega bo'lib, yuklama ta'siri ostida hosil bo'ladigan solqilik, kuchlanish, deformatsiya va boshqa muhim ko'rsatkichlarni barchasini chuqur tahlil qilishga ham sharoit yaratadi.

Modellashtirish jarayonida materialning chiziqli bo'lmagan xususiyatlari, jumladan, betonning elastik va plastik deformatsiyasi, kirishish va sirpanuvchanlik deformatsiyalari hamda relaksatsiyasi ham hisobga olindi. Bu esa konstruksiyaning mustahkamligini va bikrligini konstruksiya buzilgunga qadar aniq baholash hamda eksperimental natijalar bilan taqqoslash imkonini yaratdi.

To'sinning hisobiy sxemasi bir oraliqdan iborat bo'lib, uning o'lchamlari, hisobiy sxemasi va armaturalanishi 1-rasmda keltirilgan.

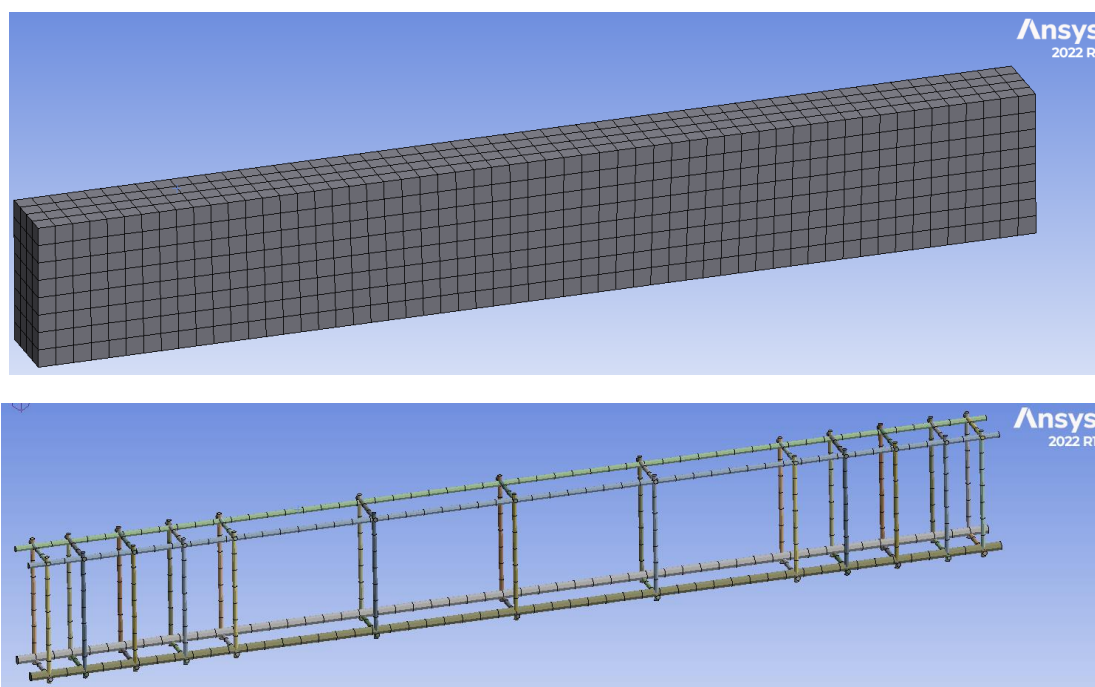


1-rasm. To'singa yuklamaning qo'yilish sxemasi va unda armatura karkasining joylashishi.

Modellashtirish jarayonida quyidagi to'sin turlaridan foydalanildi. B1-L0/H100 keramzitsiz, ya'ni og'ir betondan tayyorlangan. Uning o'rtacha hajmiy og'irligi 2515 kg/m^3 , kubikaviy mustahkamligi 48.89 MPa , siqilishdagi prizmatik mustahkamligi 35.24 MPa , cho'zilishdagi mustahkamligi 2.61 MPa , elastiklik moduli 35416 MPa bo'lib, barcha turdagi to'sinlarga ishchi armatura sifatida $2\text{Ø}12\text{mm A-III}$ va siqiluvchi armatura sifatida $2\text{Ø}8 \text{ A-III}$ qo'llanilgan. Konstruktiv armatura sifatida esa $Ø12\text{mm}$ li A-I sim armatura olingan.

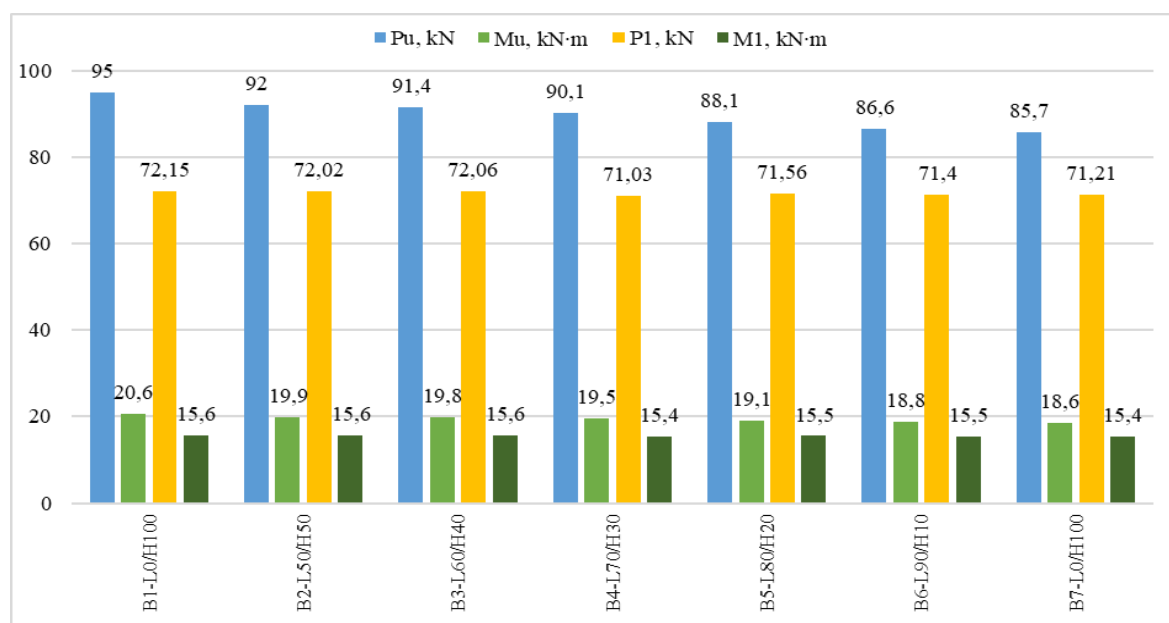
B7-L100/H0 esa to'liq keramzitdan iborat. Uning hajmiy og'irligi 1632 kg/m^3 , kubikaviy mustahkamligi 23.30 MPa , prizmatik mustahkamligi 17.17 MPa , cho'zilishdagi mustahkamligi 2.12 MPa , elastiklik moduli esa 28354 MPa ga teng bo'ldi. Qolgan to'sinlar fizik-mexanik ko'rsatkichlari tarkibdagi keramzit miqdorini ortib borgan sari beton hajmiy og'irligi va mustahkamlik ko'rsatkichlari bosqichma-bosqich kamayish tendensiyasiga egaligi kuzatildi.

ANSYS dasturida to'sinlar 25 mm chekli elementlar bilan uch o'lchamli holda modellashtirildi (2-rasm), armatura va himoya qatlami o'lchamlari eksperimental tadqiqoti jarayonidagi to'sin karkasi o'lchamlari bilan moslashtirildi. Shuningdek, konstruksiyaning real hayotdagi ishlash xarakteriga yaqin qiymatlarni olish maqsadida barcha materiallarning chiziqli bo'lmagan xususiyatlari hisobga olindi.

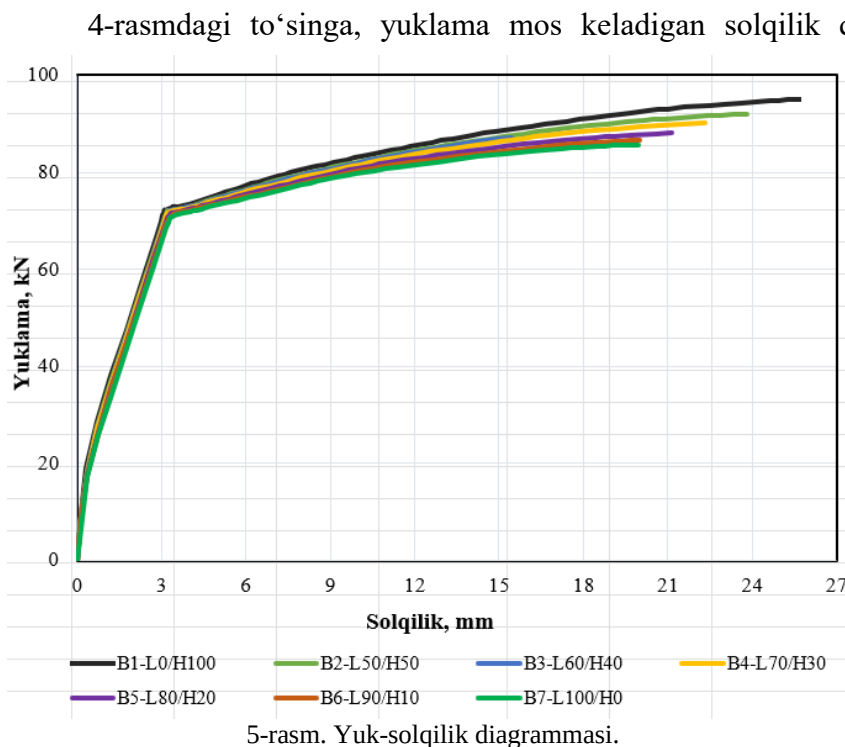


2-rasm. To'sin va armatura karkasining ANSYS dasturida chekli elementlarga ajratilgan modeli.

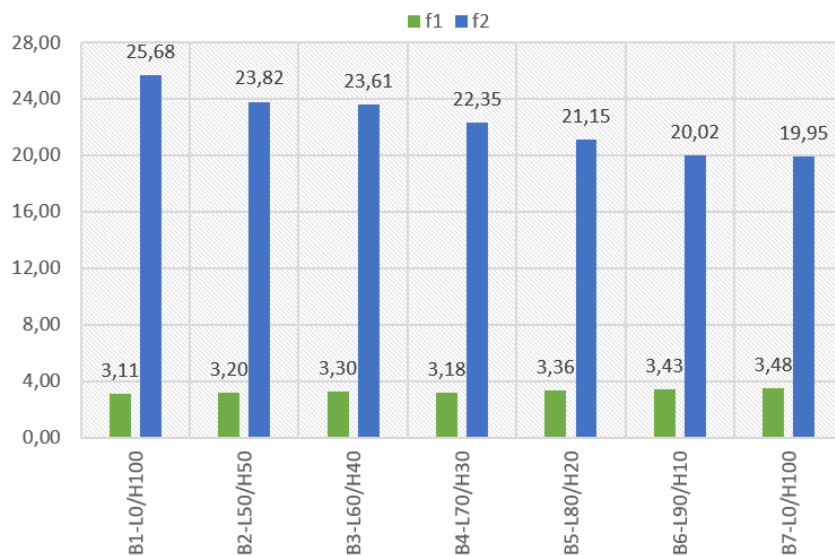
Modellashtirish davomida to'sinda buzuvchi (chegaraviy) yuklama va chegaraviy momentlar, po'lat armaturalar oquvchanlik chegarasiga yetgandagi yuklama va momentlar aniqlandi. Olingan modellashtirish natijalariga ko'ra to'sinlardagi mustahkamlikning o'zgarishi betonning hajmiy og'irligiga bog'liq holda kamayib borgani kuzatildi (3-rasm). Og'ir betondan tayyorlangan temirbeton to'sinning yuk ko'tarish qobiliyati 95 kN ni tashkil etdi. Eng kam yuk ko'tarish qobiliyati esa to'la yengil betondan tayyorlangan B7-L100/H0 to'sinda kuzatilib, 85.7 kN ga teng bo'ldi. To'sinlar mustahkamligidagi kamayish bir xil qonuniyatga bo'ysundi, ya'ni, beton zichligi kamayishi bilan yuk ko'tarish qobiliyati mos holda kamaydi. Mazkur qonuniyatning saqlanishi olib borilgan tadqiqot natijalarining ishonchli va aniq ekanligini ko'rsatadi. Og'ir beton va to'la yengil betondan iborat to'sinlar orasidagi mustahkamlik farqi taxminan 10 % ni tashkil qildi.



3-rasm. To'sinlarda yuklama va chegaraviy moment qiymatlari.



5-rasmda keltirilgan diagrammada har xil hajmiy og'irlikka ega temirbeton to'sinlar uchun "yuk-solqilik" diagrammasining umumlashtirilgan holi aks ettirilgan. Ushbu diagramma orqali 3- va 4-raslarda keltirilgan alohida holatlardan xulosa chiqarish va umumiy tushunchalarni tahlil qilish imkoni yaratildi.



Diagrammadan ko'rinib turibdiki, to'sinlardagi yuk ko'tarish qobiliyatining o'sishi dastlabki bosqichda, ya'ni, po'lat armaturalarning elastik ishlash zonasida ortib bordi. Bu bosqichda to'sinlar maksimal bikrlikka ega bo'lib, to'sinning ta'sir etayotgan yuklamaga nisbatan maksimal bikrligi ta'minlangan. Biroq, po'lat armaturalardagi kuchlanish uning oquvchanlik chegarasiga yetgach, ya'ni, plastik deformatsiyalar boshlangandan so'ng, to'sinning umumiy bikrligi kamaya boshladi.

Ayniqsa, og'ir betondan tayyorlangan B1-L0/H100 to'sinida plastik zonaga o'tish (bikrlilik kamayishi) $0.77P_u$ bosqichida boshlangan bo'lsa, yengil betonli B7-L100/H0 to'sinda bu holat

$0.83P_u$ da ro'yi berdi. Bu holat to'sinning deformatsiyaga bo'lgan qarshiligi og'ir betonda nisbatan ertaroq kamayishini ko'rsatadi. Bu esa, to'sinning umumiy mustahkamlik va bikrligini baholashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu bilan birga, nazariy hisoblashlarda armaturaning oquvchanlik chegarasidan keyingi ishlash holati e'tiborga olinmaydi. Chunki bu bosqichda konstruksiyada plastik deformatsiyalar hosil bo'ladi va konstruksiyaning me'yoriy yuk ko'tarish qobiliyati tugallangan deb hisoblanadi. Shu bois, mazkur diagramma orqali to'sinlarda yuklamalarga mos solqilik o'zgarishlarini tahlil qilish, ularning ta'sirini baholash hamda konstruksiyalarni optimallashtirish uchun muhim ahamiyatga ega ilmiy va amaliy xulosalar chiqarish mumkin.

XULOSALAR

1. Yengil va og'ir betonli to'sinlarning ishlash xususiyati, modelashtirish natijalari shuni ko'rsatadiki, og'ir betonli to'sinlarning yuk ko'tarish qobiliyati katta bo'lsada, yengil betondan tayyorlangan to'sinlardagi xususiy og'irlikni kamligi, seysmik va konstruksiyaviy xavfsizlikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.
2. Deformatsiya va solqilikning rivojlanishi po'lat armaturalar oquvchanlik chegarasiga yetgunga qadar cho'zilish va siqilish zonalaridagi deformatsiyalar qariyb bir xil qiymatlarga ega ekanligi aniqlandi. Ammo armaturalar oquvchanlik chegarasiga yetgandan so'ng esa cho'ziluvchi zonadagi solqilik keskin ortganligi tufayli to'sinning umumiy bikrligi pasayib deformatsiyaga qarshiligi kamaydi.

Adabiyotlar

- [1]. Razzakov S. J., Fozilov O. Q. Yengil betonning yangi avlodi va uning mustahkamligi //Строительство и образование. – 2025. – Т. 4. – №. 2. – С. 53-59.
- [2]. Хамидов А. И. и др. Использование гелиотехнологий для ускорения твердения бетонов на основе безобжиговых щелочных вяжущих //Вестник науки и творчества. – 2018. – №. 2 (26). – С. 45-47.
- [3]. Фозилов О. К., Рахимов А. М. Пути снижения энергетических затрат при производстве сборных железобетонных изделий в районах с жарким климатом //Приоритетные направления развития науки. – 2014. – С. 73-75.
- [4]. Ризаев Б. Ш. и др. Прочностные характеристики легкого бетона на пористых заполнителях //Universum: технические науки. – 2022. – №. 6-3 (99). – С. 11-15.
- [5]. H.K.A.AL-Farttoosi, O. A. Abdulrazzaq. Shear Behavior of Two-Layer Beams Made of Normal and Lightweight Concrete Layers. Basrah Journal for Engineering Sciences, Vol. 22, No. 1, (2022), 115-128.
- [6]. Zhu, H.; Chen, J.; Wu, Y.; Li, J.; Fu, Z.; Liu, P. Experimental Study on Flexural Bearing Characteristics of Ceramsite Concrete Beams after Creep at Different Curing Ages. Coatings 2023, 13, 158.

YUQORI KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR UZATISH LINIYALARIDA TOJLANISH YO‘QOTISHLARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARINI TAHLIL QILISH

A.N. Tovboyev, I.B. Tog‘ayev

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti,
Tel.: +998913097172 (c), E-mail: tovboyev70@mail.ru
Tel.: +998977966636 (c), E-mail: togayev.islom@mail.ru
(Qabul qilindi 17.10.2025 y.)

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr uzatish liniyalarida tojlanish yo‘qotishlarini hisoblaydigan algoritmnining xususiyatlari va tahlil qilish bosqichlari keltirilgan. Bu aktiv o‘tkazgichlar uchun liniyani modellashtirilishi va har bir o‘tkazgich uchun tojlanish yo‘qotishlari alohida hisoblanishi orqali amalga oshiriladi. Ushbu xususiyatlar o‘tkazgichlar to‘plamlari uchun eng maqbul konfiguratsiya va intervalni tanlash imkonini beradi, bu esa tojlanish yo‘qotishlarini kamaytirish va muvozanatlashtirishga yordam beradi. Fazadagi o‘tkazgichlar konfiguratsiyasi va soni tojlanish yo‘qotishlarining qiymati va nosimmetrikligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Elektr uzatish liniyasini loyihalash davrida tojlanishdan kelib chiqadigan yo‘qotishlar hisobga olinib, tahlil qilindi.

Kalit so‘zlar: Elektr ta’minoti tizimi, havo elektr uzatish liniyasi, tojlanish yo‘qotishlari, tizimli tahlil, keng yo‘nalishli yo‘qotishlar, uzun yo‘nalishli yo‘qotishlar, loyihalashtirish bosqichlari, o‘tkazgich yuzasidagi potentsial gradiyenti.

Аннотация. В данной статье представлены особенности и этапы анализа алгоритма расчёта потерь на корону в линиях электропередачи. Расчёт выполняется на основе моделирования линии для активных проводников, при котором потери на корону определяются индивидуально для каждого проводника. Такие особенности позволяют выбирать оптимальную конфигурацию и расстояние между проводниками, что способствует снижению и балансировке потерь на корону. Конфигурация и количество проводников в фазе оказывают существенное влияние на величину и несимметричность потерь на корону. При проектировании линии электропередачи потери, возникающие вследствие коронного разряда, были учтены и проанализированы.

Ключевые слова: Система электроснабжения, воздушная линия электропередачи, потери на корону, системный анализ, продольные потери, поперечные потери, этапы проектирования, потенциал градиента на поверхности проводника.

Annotatsion. This article presents the specific features and analytical stages of an algorithm developed for calculating corona losses in overhead transmission lines. The calculation is performed based on line modeling for active conductors, where corona losses are determined individually for each conductor. These features make it possible to select the optimal configuration and spacing between conductors, thereby contributing to the reduction and balancing of corona losses. The configuration and number of conductors per phase have a significant impact on both the magnitude and asymmetry of corona losses. During the design stage of the transmission line, the losses caused by corona discharge were taken into account and thoroughly analyzed.

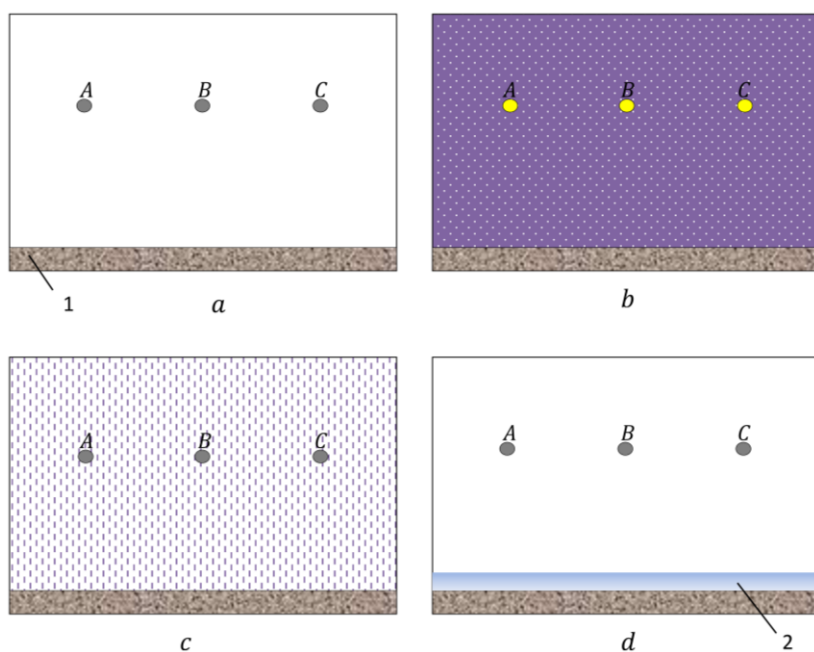
Key words: Power supply system, overhead transmission line, corona losses, system analysis, longitudinal losses, transverse losses, design stages, potential gradient on the conductor surface.

Kirish. Elektr energiyasini iste’molchilarga yetkazib berishda loyiha shu tarzda o‘zgartiriladiki 110 kVdan yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida yaxshi ob-havo sharoitida yo‘qotish qiymati taxminan 0,65 kVt/kmgacha kamaytiriladi [1]. Elektr uzatish liniyalarining izolyatorlaridagi toklarning oqishidan kelib chiqadigan yo‘qotishlar odatda texnik nuqtai nazardan e’tiborga olinmaydi. Agar elektr uzatish liniyasi o‘tkazgichlarida kuchlanishning oshirilishi kuzatilsa, o‘tkazgich yuzasidagi potentsial gradiyenti havo izolyatsiya kuchidan yuqori qiymatga yetishi mumkin [2]. Shuningdek, o‘tkazgichni o‘rab turgan havo ionizatsiyalanib, havo orqali oquvchi tok sababli energiya yo‘qotishlari yuzaga keladi. Holat shunga o‘xshaydiki, havo o‘tkazgich kabi harakat qila boshlaydi va oquvchi tok (yoki tok oqishi) hosil bo‘ladi. Yuqoridagi havo o‘tkazgichlarida bu ta’sir qorong‘u sharoitda aniq kuzatilib, o‘tkazgichlarni o‘rab turgan nurli, ko‘k rangli, doirasimon kesimli tojlanish ravshan ko‘rinadi. Tojlanish ta’siri elektr uzatish

liniyalari yaqinida eshutilishi mumkin bo'lgan shivirlash, quvvat va energiya yo'qotishlari, televizor signallariga aralashish hamda o'tkazgichlar va liniyalarning metall konstruksiyalarida korroziya paydo bo'lishiga olib keladi.

Asosiy qism. Elektr uzatish liniyasi uning π -ko'rinishli sxemasi orqali modellanganida, barqaror yoki nominal holatda, tojlanish va izolyator orqali oquvchi toklardan kelib chiqadigan yo'qotishlar e'tiborga olinmaydi, chunki yaxshi loyihalashtirilgan uzatish liniyalarida bunday yo'qotishlar odatda e'tiborga arzimaydi. Biroq, bunday yo'qotishlar elektr energiyasini uzatish samaradorligini sezilarli darajada kamayishiga sabab bo'ladi. Qo'shimcha yuqori kuchlanishli (330–750 kV) havodagi uzatish liniyalarida noqulay ob-havo sharoiti tufayli yo'qotishlar 300 kVt/kmgacha yetishi mumkin [3,4,5]. Tojlanish razryadlarining yuzaga kelishi va ularning intensivligi, shuningdek, kelib chiqadigan yo'qotishlar quyidagi omillardan ta'sirlanadi: O'tkazgich yuzasidagi elektr maydon gradiyenti, o'tkazgich yuzasining texnik holati, ob-havo sharoiti, nisbiy havo zichligi, o'tkazgich yuzasidagi suv ta'siri, liniyaning o'rtacha ishlaydigan kuchlanishi, fazaviy o'tkazgichlar diametri va o'lchami, yig'ilgan o'tkazgichli liniyalar tarkibi, himoya o'tkazgichlarning mavjudligi yoki yo'qligi, fazaviy va himoya o'tkazgichlarning notekisligi va liniyaning nosimmetrikligi, shuningdek tuzilish turi, tojlanish razryadlari va ulardan kelib chiqadigan yo'qotishlarning yuzaga kelishi hamda intensivligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Empirik kuzatuvlar asosida Pik silindrsimon bir-biriga teng va tekis yuzali o'tkazgichlar holatida tojlanish razryadlariga ilk texnik-ilmiy yondashuvni ishlab chiqdi va ularni miqdoriy tahlil qilish uchun formulalardan foydalandi.

Pik tomonidan qo'llanilgan ifoda boshqa parametrlar qatorida havoning nisbiy zichligi, tizim chastotasi, o'tkazgich radiusi, fazalar orasidagi samarali masofa, faza va neytral orasidagi kuchlanish hamda kritik yoki kuchlanish buzilishiga bog'liq. [6,7,8,9]. Shu bilan birga, ko'plab ishlarda tabiatan doimiy bo'lgan ushbu qiymat havoning dielektrik doimiyligi deb atalgan, u esa umumiy holda iqlim sharoitlariga bog'liq bo'lishi mumkin. Yana bir keng qo'llaniladigan yondashuv Peterson tomonidan taklif etilgan bo'lib, u tojlanish natijasidagi yo'qotishlarni hisoblash uchun ifoda ishlab chiqqan. Ushbu formula va usul elektr uzatish tizimlaridagi tojlanish hodisasini hisoblash bo'yicha ilmiy adabiyotlarda klassik nazariy yondashuv sifatida mustahkam o'rin egallagan. Pikning modelidan ma'lum farqlar bilan Peterson tomonidan taklif etilgan mazkur ifoda ma'lum bir manbalarda keltirilgan. Peterson hisoblash usulida o'tkazgich sirtining geometrik



1-rasm. Havo liniyasi o'tadigan hududdagi meteorologik sharoitlarning sxematik tasvirlari: a – quyoshli ob-havo, b – qor yog'ishi, c – yomg'ir, havoning yuqori namligi, tuman, d – qor yog'gandan keyingi holat, a, b, v – havo liniyasi o'tkazgichlari, 1 – yer; 2 – qor qoplamasi.

nomutanosibligi (ya'ni sirtning bir xil emasligi) inobatga olinadi, hisob-kitoblar yaxshi ob-havo sharoitida amalga oshiriladi hamda elektr uzatish liniyasining fazalari simmetrik ravishda transpozitsiya qilingan, deb qabul qilinadi. Elektr uzatish liniyalarida tojlanishdagi quvvat yo'qotishlarini aniqlash uchun turli metodlar mavjud (1-rasm).

Petersen tomonidan yaxshi ob-havo sharoitida yuz beradigan tojlanishdagi quvvat yo'qotishlarini hisoblashga mo'ljallangan formula ilgari surilgan bo'lib, u so'ngra ushbu yo'nalishdagi ilmiy adabiyotlarda klassik nazariy ifoda sifatida keng qo'llanila boshlangan. Biroq ushbu

uslublarning ikkita asosiy kamchiligi mavjud: birinchidan, hisob-kitoblar faqat qulay (yaxshi) ob-havo sharoitlari uchun amalga oshiriladi; ikkinchidan, bu metodlar elektr uzatish liniyalarining simmetrik transpozitsiya qilingan holatda ishlashini taxmin qiladi. Tuman, shudring, yog‘ingarchilik, muz qatlami, qor va qumli shamol ta’siri kabi holatlardagi yo‘qotishlar misol sifatida keltirilgan. Ushbu tadqiqotlarning aksariyati elektr uzatish liniyasini simmetriyali tartibda ulangan deb hisoblaydi. Shuning uchun, liniyaning nosimmetrikligi tojlanish yo‘qotishlariga qanday ta’sir ko‘rsatishini o‘rganish zarur hisoblanadi. Tojlanish natijasidagi birligiga nisbatan aktiv quvvat yo‘qotishlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Faza tuzilishining o‘rtacha qiymatlar bo‘yicha havo liniyalarida tojlanish natijasida aktiv quvvat yo‘qotishlari

Nominal kuchlanish (kV)	Havo elektr uzatish liniyasidagi turli xil ob-havo sharoitida tojlanish hisobiga to‘g‘ri keladigan solishtirma quvvat isrofi kVt/km			
	Yaxshi ob-havoda	Quruq qorli havoda	Yomg‘ir	O‘ta sovuqda
750	4.20	16.55	60	122.5
500	2.30	8.80	29	76
330	0.90	3.90	13	28.8
220	0.30	1.10	3	12
110	0.03	0.12	0.35	1.2

Algoritm hisob-kitob jarayonida liniyaning nosimmetriyasi va nosimmetrik yuklamasini ham inobatga oladi, bu esa natijalarning aniqligini ta’minlaydi. Taklif etilgan algoritm tojlanish ta’siri natijasidagi yo‘qotishlarni kamaytirish imkonini beradi, biroq u buni maxsus optimallashtirish jarayonisiz amalga oshiradi. har bir aktiv o‘tkazgich uchun sig‘imiy o‘tkazuvchanliklarni ifodalovchi B’ matritsasi 1-formula yordamida hisoblanadi.

$$B^1 = j\omega(P^{-1}) = j\omega(C) \quad (1)$$

Endilikda 2-formula yordamida har bir aktiv o‘tkazgich uchun sig‘imiy toklar vektori hisoblash mumkin. Ushbu toklar liniyaning haqiqiy nomutanosibligi natijasida paydo bo‘ladi.

$$I^1 = (B^1)(U_e) \quad (2)$$

Har bir aktiv o‘tkazgich uchun sig‘imiy toklar vektori hisoblab chiqilgandan so‘ng, 3-formula yordamida har bir aktiv o‘tkazgich uchun tanqidiy yoki buzuvchi toklar aniqlanishi lozim.

$$I_{Cr-i}^1 = 1.858 \cdot 10^{-2} m_1 m_2 \delta^{2/3} \cdot f \cdot a_i (A/km) \quad (3)$$

Bu yerda i — aktiv o‘tkazgichlar sonini anglatadi.

m_1 —o‘tkazgich yuzasidagi nosimmetriklilikni hisobga oluvchi koeffitsiyent.

m_2 —tashqi qatlamdagi simlar soniga qarab, o‘tkazgichning nosimmetriklilikni hisobga oluvchi koeffitsiyent.

a—o‘tkazgichning tashqi radiusi.

f—chastota, (Hz) birligida

d—havo zichligini hisobga oluvchi koeffitsiyent bo‘lib, uning qiymati 4-formula yordamida aniqlanadi.

$$\delta = \frac{0.386 \cdot P_B}{273 + t} \quad (4)$$

Bu yerda P_B —atmosfera bosimi, millimetr simob ustunida ifodalanadi. t—atrof muhitning o‘rtacha harorati, Selsiy darajasida (°C) ifodalanadi. 273—mutlaq nol harorati, Selsiy darajasida (°C) ifodalangan. Algoritmga atmosfera bosimi dengiz sathidan yuqorilikka bog‘liq funktsiya sifatida 5-formula yordamida hisoblanadi.

$$P_B = \log^{-1} \left[\log 760 - \frac{H}{18336} \right] = \log^{-1} \left[2.881 - \frac{H}{18336} \right] \quad (5)$$

H—liniyaning dengiz sathidan balandligi, metrlarda (m) ifodalanadi. 760—dengiz sathidagi standart

atmosfera bosimi, millimetr simob ustunida (mm sim. ust.) ifodalanadi. Yillik eng yuqori tojlanish yo'qotishlarini kilovatlarda hisoblash uchun, yomg'ir yog'gan paytda tojlanishning chegaraviy yoki buzuvchi kuchlanishi 20 % ga kamayadi, deb qabul qilinadi. Shu bilan birga, yomg'ir yog'adigan liniya qismi foiz ko'rinishida tanlanishi mumkin. Algoritmning yana bir imkoniyati shundaki, yil davomida liniya o'tkazgichlarining pastki yuzasi chang yoki namlik oqibatida suv tomchilari yig'ilgan deb qabul qilinadigan soatlar sonini tanlash mumkin. Bu holat, odatda, minimal quvvat talab qilingan vaqtlarda o'tkazgichlar sovuq holda ishlaganda sodir bo'ladi. Haroratdan kondensatsiya bo'lgan paytda butun liniya bo'ylab kuchlanish buzilishi 20 % ga kamayadi va tojlanish yo'qotishlari yomg'irdagi kabi ortib boradi. Masalan, 220 kV va uzunligi 24 km bo'lgan ikki zanjirli uzatish liniyasda, agar yil davomida kondensatsiya payti 0 soatga to'g'ri kelsa, tojlanish yo'qotishlari 0,2404 kVt/km ni tashkil qiladi. Agar yil davomida kondensatsiya payti 360 soatga oshirilsa, tojlanish yo'qotishlari 0,2450 kVt/km ni tashkil qiladi, ya'ni 1,91 % ga ko'payadi. 2-jadvalda faza o'tkazgichlari haqida ma'lumot keltirilgan.

2-jadval

Tadqiqot olingan uzatish liniyasi fazaviy o'tkazgichlari va himoya simlari haqidagi ma'lumotlar

O'tkazgich	Ichki qarshilik, om/km bo'yicha	Diametr, millimetrda	O'rtacha geometrik radius, millimetrda
Faza	0.08	27.5	11.110
Himoya simi	2.00	11.0	0.00015

3-jadvalda tojlanish yo'qotishlarini hisoblashni soddalashtirilgan uslublari keltirilgan.

3-jadval

Tojlanish yo'qotishlarini hisoblash uchun qo'shimcha ma'lumotlar

Parametr	Qiymat
Tasvirlangan grafik yoki egrilik turi	Parabola
Liniyaning o'rtacha yoki nominal ishlovchi kuchlanishi (faza-faza bo'yicha, kV)	245
Liniya trassasining dengiz sathidan yuqoriligi (m)	0
Atrof muhitning o'rtacha harorati (Selsiy darajasi)	26
Energetika tizimi chastotasi (Hz)	60
Yomg'ir oqibatida chegaraviy tojlanish kuchlanishining kamayishi (%)	20
Liniya uzunligi (km)	24
Guruhlangan (to'plangan) o'tkazgichlar	0.4
O'tkazgich yuzasidagi nosimmetriklarni hisobga oluvchi koeffitsiyent (0,85–0,98 oralig'ida)	0.83
O'tkazgich sim qatlamlarini hisobga oluvchi koeffitsiyent (0,74–0,77 oralig'ida)	0.74

Xulosa.

Barcha ma'lumotlar kiritilgandan so'ng, dastur liniyaning eng yuqori ishlovchi kuchlanishini hisoblaydi, ushbu misolda u faza-faza bo'yicha 205,63 kV ni tashkil qiladi. Tojlanish uchun chegaraviy yoki buzilishi mumkin bo'lgan kuchlanish eng yuqori ishlovchi kuchlanishdan 45,37 % ga yuqori bo'lib, [3]-manbada tavsiya etilgan 12 % dan ancha yuqori hisoblanadi. Bu natija liniyaning har bir faza uchun nisbatan katta o'lchamli ikki o'tkazgichga ega bo'lganligi bilan izohlanadi. 3-Jadvalda har bir aktiv o'tkazgich uchun sig'imi toklar keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, har bir aktiv o'tkazgich bo'yicha sig'im toklari bir-biriga teng bo'lmasada, manba tuzilmasining Y

o'qiga nisbatan simmetriyasi ma'lum darajada saqlanib qolgan. 3-jadvaldan ko'rinib turibdiki, maksimal farq 13,53% ni tashkil etadi. Bu farq 2 va 11-aktiv o'tkazgichlar orasidagi sigim toklari (mos ravishda 0,344 A/km) hamda 7 va 4-o'tkazgichlar (mos ravishda 0,303 A/km) o'rtasida kuzatiladi. Barcha qiymatlar tanqidiy qiymatdan (0,5 A RMS/km) oshgan.

Adabiyotlar

- [1]. Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052048> pp.260-216.
- [2]. Rijov Yu.P. Yuqori kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalari: Oliy o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma // M.: Izdatelskiy dom MEI, 2019 y 138 bet.
- [3]. Tovboyev A.N., Norqulov A.O., Tog'ayev I.B. Uch fazali ferromagnit elementlarga ega bo'lgan uch fazali zanjirlarda subgarmonik tebranishlarning harakat tenglamasi. Ilm-fan, texnika va texnologiyalar bo'yicha ilg'or tadqiqotlar xalqaro jurnali. Hindiston, IJARSET jildiga mualliflik huquqi. 6,10-son, 2019 yil oktyabr, 11207-11210-betlar.
- [4]. Levchenko I.I., Zasipkin A.S., Alliluyev A.A., Sasuki Ye.I. Muzli tumanlarda havo elektr uzatish liniyalarining ekspluatatsiyasi, ta'mirlanishi va monitoringi. o'quv qo'llanma // M. Izdatelskiy dom MEI, 2007y 448 bet.
- [5]. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferrezonans. «Uzbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali – Navoi 2020. №4 (83). 110-113 bet
- [6]. Tog'ayev I.B., Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions. Vol.6, Issue 4, 2022 Australia, Melbourne. 267-271pt.
- [7]. Tog'ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Havo elektr uzatish liniyalarining holatini baholash bilan ularni monitoring qilish // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN (online): 2181-2454 Volume 2 | Issue 5 | May, 2022
- [8]. Savina N.V., Myasoedov Yu.V. Tarqatish elektr tarmoqlarining ishlashida elektr energiyasini yo'qotish bo'yicha tizimli tadqiqotlar // IrGTU Vestnik. 2012. № 1 (60). 142–148 bet.
- [9]. Mavlonov J. A., Mardonov D.Sh. “Rudani yanchuvchi tegirmonlarni elektr energiya samaradorligini oshirish usullari” // Konchilik xabarnomasi. Ilmiy texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2022. № 3. 102-104 bet.

ICHKI VA TASHQI O'QLI GIDROAGREGATNING TUZILISHI VA ISHLASH TAMOYILLARI

E.A. Goipov, R. Aliev

Z.M. Bobur nomidagi Andijon davlat universiteti
2251717elmurod@mail.ru, tel: 94 246 07 17
 (Qabul qilindi 17.10.2025 y.)

Annotatsiya. Mazkur maqolada past bosimli suv manbalarida samarali ishlaydigan ichki va tashqi o'qli kontrrotorli gidroagregatning tuzilishi, ishlash printsiplari hamda gidrodinamik jarayonlari tahlil qilingan. Gidroagregatning ikki bosqichli energiya o'zlashtirish mexanizmi va CFD modellashtirish usuli yordamida natijalar keltirilgan.

Kalit so'zlar: Gidroagregat, kontrrotorli turbina, CFD modellashtirish, past bosim, mikro-GES, samaradorlik, yashil energiya.

Аннотация. В данной статье проанализированы конструкция, принципы работы и гидродинамические процессы гидроагрегата с внутренним и внешним осевыми контрроторами, эффективно работающего в условиях низконапорных водных источников. Представлены механизм двухступенчатого освоения энергии гидроагрегата и результаты, полученные с помощью метода CFD-моделирования.

Ключевые слова: Гидроагрегат, контрроторная турбина, CFD-моделирование, низкий напор, микро-ГЭС, эффективность, зеленая энергия.

Annotation. This article analyzes the structure, operating principles, and hydrodynamic processes of a counter-rotating hydro-unit with internal and external axes that operates effectively in low-head water sources. The hydro-unit's two-stage energy utilization mechanism and results obtained using the CFD modeling method are presented.

Keywords: *Hydro-aggregate, counter-rotating turbine, Computational Fluid Dynamics modeling, low head, micro-Hydro Power Plant, efficiency, green energy.*

I. Kirish. Bugungi kunda jahon energetika sohasida energiya xavfsizligini ta'minlash va uglevodorod yoqilg'ilarga bo'lgan bog'liqlikni kamaytirish va yaqin kelajakda ularni diversifikatsiya qilish dolzarb vazifalardan biriga aylandi. Bu jarayonda qayta tiklanuvchi energiya manbalari - xususan, suv energiyasidan samarali foydalanish sohasi muhim o'rin tutadi. Suv resurslarining past bosimli qismlaridan foydalanish imkonini beruvchi mikrogidroelektr stantsiyalar (mikro-GES) va kontrrotorli gidroagregatlarni yangi, samarador turlarini yaratish ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega bo'lib qolmoqda.

Ushbu sohada O'zbekiston Respublikasida ham so'nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishga yo'naltirilgan keng ko'lamlı davlat siyosatlari amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Prezidentning PQ-4422 (2019), PQ-4477 (2019), PQ-104 (2023) va PQ-252 (2024)-son qarorlarida 'yashil iqtisodiyot' tamoyillariga asoslangan energiya samaradorligini oshirish, gidroenergetik tizimlarni modernizatsiya qilish va past bosimli suv manbalaridan foydalanish ustuvor vazifalar sifatida belgilangan. Mamlakatimizdagi irrigatsiya, drenaj va suv xo'jaligi tarmoqlaridagi ariq va kanallarda suv oqimining potentsiali katta bo'lib, ularning gidroenergetik zaxirasidan to'liq foydalanish hali ta'minlanmagan. Shu bois, past bosim sharoitida ham yuqori samara bilan ishlaydigan, arzon va ixcham gidroagregatlar ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Xorijiy ilmiy izlanishlar kontrrotorli turbinalarning an'anaviy gidromashinalarga nisbatan ustunligini ko'rsatmoqda. Masalan, Biner va hammualliflar (2021) tomonidan yaratilgan DuoTurbo tizimi past naporli suv tarmoqlarida 85% gacha samaradorlik ko'rsatgan [1]. Fahlbeck va Dudlik (2024) past bosimda ishlovchi kontrrotorli nasos-turbinada ikki valli tizimning tur rejimidagi barqaror ishlashini CFD orqali isbotlagan [2], Xiuli va Hong (2020) esa ikki yo'nalishli kontrrotorli aksial-oqimli turbinasining gidravlik optimallashtirish modelini ishlab chiqqan [3]. Sonohata va Fukutomi (2012) kichik o'lchamli kontrrotorli turbinada konstruktsiya va aylanma valning dinamik barqarorligini amalda tekshirgan [4], Kim (2012) esa ikki valli tidal turbina modelini tajriba asosida o'rgangan [5].

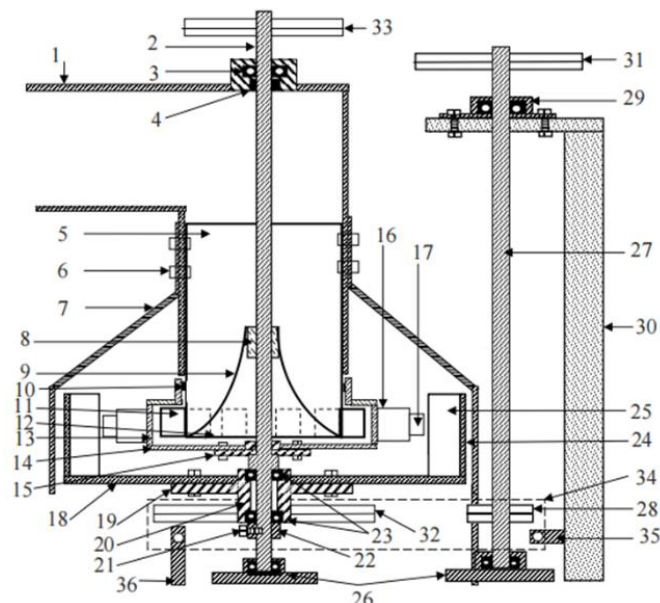
Ikki bosqichli gidroagregatlar samaradorligini baholashda CFD texnologiyalari muhim o'rin tutadi. Hill (2020) va Ruiz (2025) tomonidan ikki aylanma valli turbinalarning gidrodinamikasi RANS/SST-RC modellari asosida tahlil qilingan [6-7]. Shamsuddeen (2024) suv yo'llaridagi past bosim sharoitdagi mikrogidroturbinalarning amaliy imkoniyatlarini ko'rsatgan [8], Quaranta (2022) esa mavjud irrigatsiya inshootlariga mos turbinalarning geometrik parametrlarini optimallashtirish yo'llarini taklif qilgan [9]. Bílková (2023) va Barsi (2023) past naporli propeller tipli turbinalarda aylanish tezligini avtomat boshqarish usullarini ishlab chiqqan [10-11]. Past bosimli suv manbalarida gidroenergetik qurilmalarni samarali qo'llash yo'nalishida Picone (2023) kross-flou turbinalarni, Park va Knight (2023) esa CFD asosida diffuzor-augmentirlangan turbinalarni optimallashtirish natijalarini taqdim etgan [12, 13]. Wang (2020) diffuzorli mikro-gidroturbinalarni tajriba yo'li bilan sinovdan o'tkazib, CFD natijalari bilan 3-4% farqni aniqlagan [14], Vaz (2023), Walz, A.R (2024) lar esa diffuzor-augmentirlangan (Diffuser-Augmented Turbine) turbinalarning dambalar ortidagi oqimlardagi ish samaradorligini CFD asosida baholagan [15,16]. Aggidis (2014) gidroturbina prototiplarini avtomatik sinov tizimida tekshirish orqali ish xarakteristikalarini shakllantirgan [17].

Shunday qilib, xalqaro tadqiqotlar natijalari kontrrotorli ichki va tashqi o'qli gidroagregatlarning suv energiyasidan ikki bosqichda foydalanish orqali umumiy samaradorlikni oshirishini tasdiqlamoqda. O'zbekiston sharoitidagi past bosimli suv manbalari ko'pligi, energetika tizimida 'yashil energiya' ulushini kengaytirish zarurati, hamda davlat siyosatidagi strategik ustuvorliklar bunday ilmiy ishlanmalarning amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.

II. MATERIAL VA USULLAR

[18, 19]-ishlarda kontrrotorli gidroagregat tadqiq etilgan. Ushbu kontrrotorli gidroturbina koaksial vallarga ega bo'lgan soploli reaktiv gidroturbina va suv g'ildiraklaridan tashkil topgan. Bu gidroagregatda reaktiv gidroaturbina vali aktiv tarzda ishlovchi suv g'ildiragi valini ichida

podshipnik orqali biriktirilgan holda joylashgan. Ushbu gidroagregat kattaroq bosim va suv sarfida ishlaganda aktiv g'ildirak kuraklariga bo'ladigan ta'sir kuchi davriy ravishda bo'ladi. Chunki kuraklar orasidagi masofaning katta-kichikligiga bog'liq holda soplodan chiqadigan suvning urilish burchagi va ta'sir masofasi davriy bir kurakdan ikkinchi kurakga o'tadi. Natijada ikkala valga



1-rasm. Ikki aylanish valiga ega kontrrotorli gidravlik agregat.

val uchun tayanch vazifasini o'taydi. Natijada podshipniklar tez ishdan chiqadi va ishqalanish kuchini yengish uchun katta energiya yo'qotiladi. Aytib o'tilgan konstruksiyadagi gidroagregatdagi kamchiliklarni bartaraf etish uchun ko'rib o'tilgan gidroagregatda quyidagicha konstruksion o'zgartirishlar kiritish taklif etiladi (1-rasm).

1-ta'minot trubasi; 2-ishchi g'ildirak vali; 3,23,29, 26-korpus podshipniklar; 4-gidrosalnik; 5-yo'naltiruvchi qurilma ta'minot silindri; 6,37-bolt; 7-gidroturbina tashqi korpusi; 8-gidropodshipnik; 9-konus; 10-oraliq salnigi; 11-yo'naltiruvchi kuraklar; 12-yo'naltiruvchi qurilma pastki diski; 13-ishchi g'ildirak silindri; 14-ishchi g'ildirak pastki diski; 15-valga biriktirilgan vtulkali disk; 16-soplo suv kirish kanali; 17-soplo suv chiqish nasadkasi; 18-kurakli ishchi g'ildirak chamberagi; 19-chambarak boltlar orqali qotiriladigan disk; 20-disk biriktiriladigan korpus podshipnikli vtulka; 21-bolt; 22- birinchi asosiy valga qotiriladigan vtulka; 23-podshipniklar; 24-chambarakga biriktirilgan tayanchlar; 25-tayanchga qotirilgan kuraklar; 27-ikkinchi val (aktiv g'ildirak vali); 28-ikkinchi valdagi pastki shki; 29-poshipnikli korpus; 30-platfomadagi tayanch; 31-ikkinchi valning harakatni generatorga uzatuvchi shkivi; 32-aktiv ishchi g'ildirakga o'rnatilgan shki; 33-reaktiv ishchi g'ildirakning harakatni generatorga uzatuvchi shkivi; 34-shkiylarni suvdan himoyalash qopqog'i; 35, 36-qopqog'ni platformaga bolt bilan qotirish moslamasi.

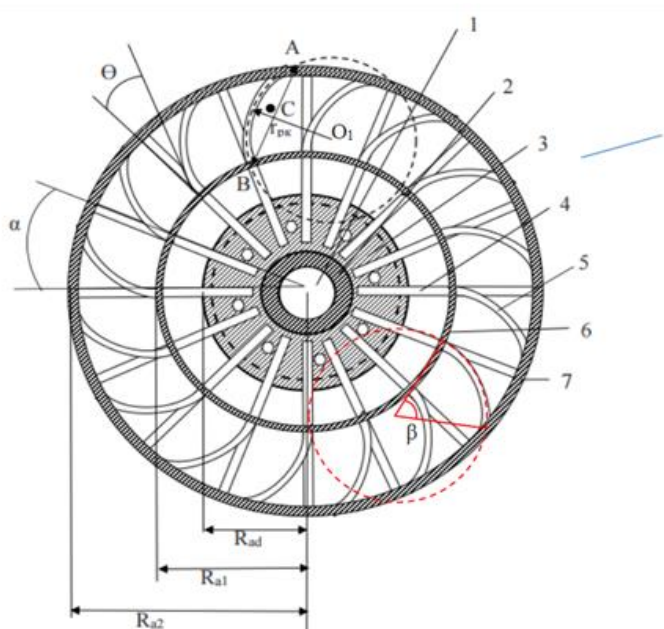
1-rasmda keltirilgan gidroagregatga suv oqimi 1-ta'minot silindri orqali kirib, 6-boltlar orqali statsionar gidroturbina korpusiga biriktirilgan 5-ta'minot silindriga o'tadi. Ta'minot silindri markazida joylashgan 2-valga 8-gidropodshipnik orqali biriktirilgan 9-koaksial konus va silindr devorlari orasida tekis toraygan kanal bo'ylab harakatlanadigan suv oqimi silindrning pastki qismida joylashgan darchadan 11-yo'naltiruvchi kuraklar orasiga kiradi. Yo'naltiruvchi kuraklardan chiqqan suv oqimi 13-ishchi g'ildirak silindriga biriktirilgan 16-soplo suv kirish kanaliga yo'naladi va 17- soplodan suv chiqish nasadkasidan chiqib, 24-chambarakga biriktirilgan tayanchlardagi 25-kuraklarga ma'lum burchak ostida kirib ta'sir etadi va aktiv g'ildirak valiga nisbatan aylantiruvchi kuch momenti hosil bo'ladi. 18-kurakli ishchi g'ildirak chamberagida hosil bo'lgan aylanish 20-disk biriktirilgan korpus podshipnikli vtulkaga o'rnatilgan 32-shki orqali 27-ikkinchi valdagi 28-pastki shkiyga uzatiladi va shu valga yuqorida o'rnatilgan 31-shkiyning aylanma harakati elektr generatoriga uzatiladi.

Gidroagregatni aktiv ishchi g'ildiragining gorizontaal kesimining umumiy ko'rinishi sxemasi

quyidagi rasmda keltirilgan (2-расм).

Gidroagregatning aktiv ishchi g'ildiragi quyidagi tashkiliy qismlardan iborat:

1. Ishchi g'ildirak vali, radiusi r_v .
2. Markaziy disk vtulkasi, tashqi radiusi r_{vt2} , ichki radiusi r_{vt1} .
3. Markaziy disk, radiusi R_{ad} .
4. Ishchi g'ildirak tayanchlari, uzunligi L , eni a , kengligi b , qalinligi c_0 .
5. Kuraklar, balandligi h_k , egrilik radiusi r_{pk} , yoy uzunligi L_y , qalinligi c .
6. Kichik halqa, tashqi radiusi R_{a1} , profil eni a_1 , kengligi b_1 , metal qalinligi c_1 .
7. Katta halqa, tashqi radiusi R_{a2} , profil eni a_2 , kengligi b_2 , metal qalinligi c_1 .



2-rasm. Gidroagregatning aktiv ishchi g'ildiragini gorizontaal kesimi (yuqoridan ko'rinishi).

Ushbu aktiv ishchi g'ildirakning

aylanish valiga nisbatan hosil qiladigan

inersiya momenti sanab o'tilgan qismlarning aylanish valiga nisbatan hosil qiladigan inersiya momentlarining algebraik yig'indisidan iborat bo'ladi.

1. Ишчи гилдирак валининг инерция momenti:

$$I_v = 0.5m_v r_v^2 \quad m_v = \pi \rho_m h r_v^2 \quad (1)$$

2. Марказий диск инерция momenti:

$$I_d = 0.5m_{vt}(r_{vt1}^2 + r_{vt2}^2) \quad (2)$$

$$m_{vt} = \pi \rho_m h (r_{vt1}^2 - r_{vt2}^2) \quad (3)$$

3. Марказий диск vtulkasining инерция momenti:

$$I_{ad} = 0.5 \cdot \pi \rho_m b_{ad} R_{ad}^4 \quad (4)$$

$$m_d = \pi \rho_m b_{ad} R_{ad}^2$$

Ишчи гилдирак таянчларининг инерция momenti:

$$I_t = \frac{1}{3} m_t L^2 \quad (5)$$

$$m_t = \rho_m [(a + c_0)(b + c_0) - ab] L$$

4. Куракларнинг инерция momenti:

$$f m_{vt} = \pi \rho_m h (r_{vt2}^2 - r_{vt1}^2) \quad (6)$$

$$m_{vt} = \pi \rho_m h (r_{vt2}^2 - r_{vt1}^2)$$

1-rasmda keltirilgan umumiy sxemada AB vatar uzunligi L_y , yoy egallagan markaziy burchak β , kurak qalinligi b_k бўлиб, radiusi r_{pk} bo'lgan aylanani bir qismini tashkil etsin. Bu kurak yoyi va uning og'irlik markazi joylashgan C nuqta orasidagi masofa juda kichik bo'lgani uchun C nuqtadan aylanish markazigacha bo'lgan masofani quyidagicha aniqlaymiz:

$$d_c = R_{a2} - L_y \quad (7)$$

Куракнинг ички ёйининг эгрилик радиуси:

$$r_i = r_{pk} - b_k \quad (8)$$

Bitta kurakning aylanish valiga nisbatan hosil qiladigan inertsia momentini hisoblaymiz. Hisoblashni ikki bosqichda amalga oshiramiz. Birinchi bitta kurakning balanligiga parallel bo'lgan va yoyining C og'irlik markazi o'tuvchi vertikal o'qqa nisbatan inertsia momentini aniqlaymiz. Ikkinchi bosqichda Gyugens-Shteyner teoremasidan foydalanib ishchi g'ildirak valiga nisbatan inertsia momentini aniqlaymiz.

Kurak profilining yuzasi:

$$A = \beta r_{pk} b_k \quad (9)$$

Kurakning egirlik markaziga nisbatan inersiya momenti:

$$J_{eg} = \frac{r_{pk}^4 - r_i^4}{8} \left(\frac{\pi\beta}{180^\circ} + \sin \beta \right) \quad (10)$$

(9)- (10) formulalardan foydalanib kurakning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qga nisbatan inersiya momentini aniqlaymiz. Bunda og'irlik markazi C va O₁ nuqtalar orasidagi masofa:

$$s = \frac{r_{pk}^3 - r_i^3}{r_{pk}^2 - r_i^2} \cdot \frac{240^\circ}{\pi\beta} \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \quad (11)$$

Kurakning profil tekisligidagi og'irlik markazi C nuqtada joylashgan OX va OY koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momentini Gyugens Shteyner teoremasidan foydalanib quyidagicha aniqlaymiz. C nuqtadan o'tuvchi o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$\begin{aligned} I_k &= 0.5 \cdot (J_x + J_y) \cdot \rho_m h_k \\ J_x &= J_{O_1} - A s^2 \\ J_y &= \frac{r_{pk}^4 - r_i^4}{8} \left(\frac{\pi\beta}{180^\circ} - \sin \beta \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Bitta kurakning C og'irlik markaziga nisbatan inersiya momentini quyidagicha aniqlaymiz:

$$I_{kO_1} = \frac{1}{2} \left[\frac{r_{pk}^4 - r_i^4}{4} \cdot \frac{\pi\beta}{180^\circ} - \frac{240 r_{pk} b_k}{\pi} \frac{r_{pk}^3 - r_i^3}{r_{pk}^2 - r_i^2} \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] \rho_k h_k \quad (13)$$

Bitta kurakni ishchi g'ildirakning aylanish markaziga nisbatan inersiya momenti:

$$\begin{aligned} m_k &= \rho_k \beta r_i b_k h_k \\ I_0 &= I_k + m_k \left(R_{a2} - \frac{L_y}{2} \right)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

6. Kichik halqaning inersiya momenti:

$$\begin{aligned} I_{h6} &= \frac{\pi R_{a1}^4 \cdot m_{h6}}{2} \left(1 - \left(\frac{R_{a1} - a_1}{R_{a1}} \right)^4 \right) \\ m_{h6} &= \pi \rho_m (a_1 b_1 - (a_1 - c_1)(b_1 - c_1)) * \\ &\quad (2R_{a1} - a_1) \end{aligned} \quad (15)$$

7. Katta halqaning inersiya momenti:

$$\begin{aligned} I_{h7} &= \frac{\pi R_{a2}^4 \cdot m_{h7}}{2} \left(1 - \left(\frac{R_{a2} - a_2}{R_{a1}} \right)^4 \right) \\ m_{h7} &= \pi \rho_m (a_2 b_2 - (a_2 - c_2)(b_2 - c_2))(2R_{a2} - a_2) \end{aligned} \quad (16)$$

8. Shkivning inersiya momenti:

$$\begin{aligned} I_{shk} &= \frac{1}{2} m_{shk} R_{shk}^2 = 0.5 \cdot \pi \rho_{shk} b_{shk} R_{shk}^4 \\ m_{shk} &= \pi \rho_{shk} b_{shk} R_{shk}^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Aylanish valiga nisbatan to'la inersiya momenti barcha tashkiliy qismlarning inersiya momentlarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} I_{to'la} &= I_v + I_d + I_{ad} + kI_t + nI_0 + I_{h6} + \\ &\quad + I_{t7} + I_{shk} \end{aligned} \quad (18)$$

Bu yerda n - kuraklar soni; k -tayanchlar soni.

Suvning soplodan chiqish tezligi v_s uchun Bernulli tenglamasi yechilib, quyidagi natija olindi:

$$v_s = \left(\frac{kl \sin \alpha_1}{d_2} + \cos(\alpha_2 - \alpha_1) \right) \cdot \sqrt{1,9 \cdot H_s \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \left(\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 - 1 \right) + 1 \right] - h_2} \cdot \left[\frac{S_y}{S_s} - \sqrt{\left(\frac{S_3}{S_s} - 1 \right)^2 - \zeta_{90^0} - \zeta_2} \right] \quad (19)$$

buerda α -Koriolis koeffitsienti, $\alpha=2$; d_1 va d_2 , mos ravishda, gidroturbinaning kirish kanali va ichki yo'naltiruvchi qurilmasining suv kirish silindrining diametrlari; l – kurak uzunligi; α_1, α_2 – mos holda yo'naltiruvchi qurilma kuraklariga kirish va chiqish burchaklari. S_s - soplo suv chiqish joyi ko'ndalang kesim yuzasi; ζ_{90^0} -suvning 90^0 ga burilgandagi va ζ_2 soplo konusida ko'ndalan kesimnikamayishidan yuzaga keluvchi qarshilik koeffitsiyentlari.

Suv oqimining gidroturbina ichida harakatlanishi davomida gidroturbina diametrini o'zgarishi, duv oqimining burilishi, yo'naltiruvchi kuraklarga taemoqlanishi va gidravlik qarshiliklar tufayli umumiy energiya yo'qotilishi ularning algebraik yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$h_G = \left(\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 - 1 \right)^2 \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_{90^0} (1 - \cos \theta) \frac{v_3^2}{2g} + \zeta_{SK} \frac{v_3^2}{2g} + \left(\left(\frac{d_y}{d_s} \right)^2 - 1 \right)^2 \frac{v_4^2}{2g} \quad (20)$$

bu yerda d_y va d_s - mos holda yo'naltiruvchi kuraklar hosil qilgan darcha va soploga suv kirish joylarining effektiv diametrlari; ζ_{SK} – gidravlik qarshilik koeffitsienti; θ – burilish joyining egrilik yoyi hosil qilgan burchagi; ψ –trubalar uchun 2 ga, to'rtburchak figuralar uchun 1 ga teng bo'lgan proporsionallik koeffitsienti; λ – Darsi koeffitsienti.

Qattiq jismning harakatlanishida kinetik momentning o'zgarishi haqidagi umumiy teoremani qo'llab aylanish chastotasi aniqlandi:

$$\omega_z = \frac{v_c^2 (R_c^2 - r_c^2)}{R_3^2 R_c v_3 + R_c^3 v_c} \quad (21)$$

bunda R_c - aylanish o'qidan suv chiquvchi soplo markazigacha bo'lgan masofa; r_c - соплодан сув чиқиш жойининг радиуси; ϑ_3, ϑ_c -мос ҳолда сувнинг соплога кириши ва чиқишидаги тезликлари.

Barcha soplolar bir xil geometrik o'lcham va simmetrik joylashsa,

$$R = \sum_{j=1}^n m_j (\omega_{1j} \cos \beta_{1j} + \omega_{2j} \cos \beta_{2j}) = nm_1 (\omega_1 \cos \beta_1 + \omega_2 \cos \beta_2) \quad (22)$$

$$m_1 = A_{sop} \rho v_1$$

Bu yerda A_{sop} - soplodan suv chiqish joyining ko'ndalang kesim yuzasi; v_1 - suvni aktiv ishchi g'ildirak kuraklariga urilish vaqtidagi tezligi.

Suv oqimi kuraklarga zarba bilan urilib energiya yo'qotilmasligi uchun oqimning kurakka nisbatan ω_1 nisbiy tezligi ishchi g'ildirak kuragiga kirish joyida o'tkazilgan urinma yo'nalishi bilan ustma-ust tushishi zarur. Bu shart bajarilishi uchun suvning v_1 absolyut tezligi ω_1 nisbiy tezligi va ishchi g'ildirakning qaralayotgan nuqtasidagi u_1 chiziqli(ko'chirma) tezliklarning teng ta'sir etuvchisi bo'lishi kerak. Suv dastasining aktiv g'ildirakga ta'siri uchun tezliklar uchburchagidan quyidagi natijalarni olamiz:

Suv oqimining kurakga kirish $v_1 \sin \alpha_1$ va chiqish kengligi $\omega_2 \sin \alpha_2$ teng desak:

$$v_1 \sin \alpha_1 = \omega_2 \sin \alpha_2$$

ko'rinadiki, suvning ishchi g'ildirakdan chiqishida mumkin bo'lgan eng kichik absolyut tezligiga erishish uchun $\omega_2 = u_1$ bo'lishi kerak. U holda (7) dan foydalanib:

$$v_1 \sin \alpha_1 = v_1 \sin \alpha_2 ;$$

$$\frac{v_1 \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1 \sin(\beta_1 - \alpha_1)}{\sin \beta_1}$$

$$\sin \alpha_1 (\text{ctg } \alpha_1 - \text{ctg } \beta_1) = 1$$

Aktiv turbinalarda suvning ishchi g'ildirak ichiga kirishidagi tezligi ta'sir etuvchi bosimning to'liq qiymatiga mos keladi, suvning keyingi harakatida tezligi ortmaydi, shuning uchun $\omega_1 = \omega_2 = u_1$ bo'ladi.

Bundan kelib chiqadiki, u_1 va v_1 tezliklarda qurilgan parallelogramm umumiy asosi v_1 bo'lgan ikkita teng yonli uchburchakdan xosil bo'ladi. U holda $\beta_1 = 2\alpha_1$. Agar yuqorida olingan (9) tenglikda $\beta_1 = 2\alpha_1$ ni almashtirsak:

$$\sin \alpha_2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha_1) = 2 \text{ctg } \alpha_1$$

(10) ifodani soddalashtirsak:

$$\sin \alpha_2 = \sin 2 \alpha_1$$

$$u \sin \alpha_2 = v_1 \sin \alpha_1$$

$$u \sin 2\alpha_1 = v_1 \sin \alpha_1$$

$$2u \cos \alpha_1 = v_1$$

Olingan ifoda α_1 burchak odatda 25° - 35° oralig'ida o'zgaradi, bunda aktiv turbinalar uchun β burchak 50° - 60° oralig'ida bo'ladi va gidroturbina yaxshi samaradorlikda ishlaydi. Aytaylik, $\alpha_1 = 25^\circ$, (6) formuladan $\alpha_2 = 50^\circ$ ni olamiz. Bu xolda absolyut chiqish tezligi juda katta bo'ladi.

Bu holda aktiv ishchi g'ildirakning chiziqli tezligi $u \approx 0,55v_1$ ga teng bo'ladi. Bundan kelib chiqadiki, ishchi g'ildirakning kuraklarining kirish va chiqish qismlari bir xil kenglikda bo'lishi kerak. Bu olingan natijalar asosida aktiv ishchi g'ildirakning aylanish burchak tezligini aniqlab, u orqali energetik kattaliklarini hisoblash mumkin.

Yuqoridagi analitik ifodalar asosida gidroturbina harakatlanuvchi suv oqimining turli nuqtalardagi tezligi va bosimining o'zgarishi matematik modellashirish asosida o'rganish COMSOL Multiphysics 6.1 (Build: 282) versiyasi CFD modulida besh xil geometrik shakldagi soplolar uchun standart RANS metodi, SST-RC turbulentlik modelida bajarildi. Bu $k-\omega$ va $k-\varepsilon$ turbulentlik modellari kombinatsiyasidir. Tekis siljish qatlamlari va uyurmali oqimlar uchun maxsus ishlab chiqilgan avtomatlashgan tizimda simulyatsiya amalga oshirildi. Soploga suvni kirishidagi tezligi ishchi g'ildirakning aylana bo'ylab chiziqli tezligi va yo'naltiruvchi qurilmadan chiquvchi suv oqimi tezliklarining vektor yig'indisidan iborat deb qaraldi. Kuraklarga normal yo'nalishda kiruvchi suv oqimi

uchun quyidagi boshlang'ich shartlar olindi:

$$\begin{aligned} u &= -U_0 n; \\ U_{ref} &= -U_0 n; \\ \kappa &= \frac{3}{2} (U_{ref} I_T)^2, \quad \varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{2^{\frac{3}{2}}}{L_T}. \end{aligned} \quad (23)$$

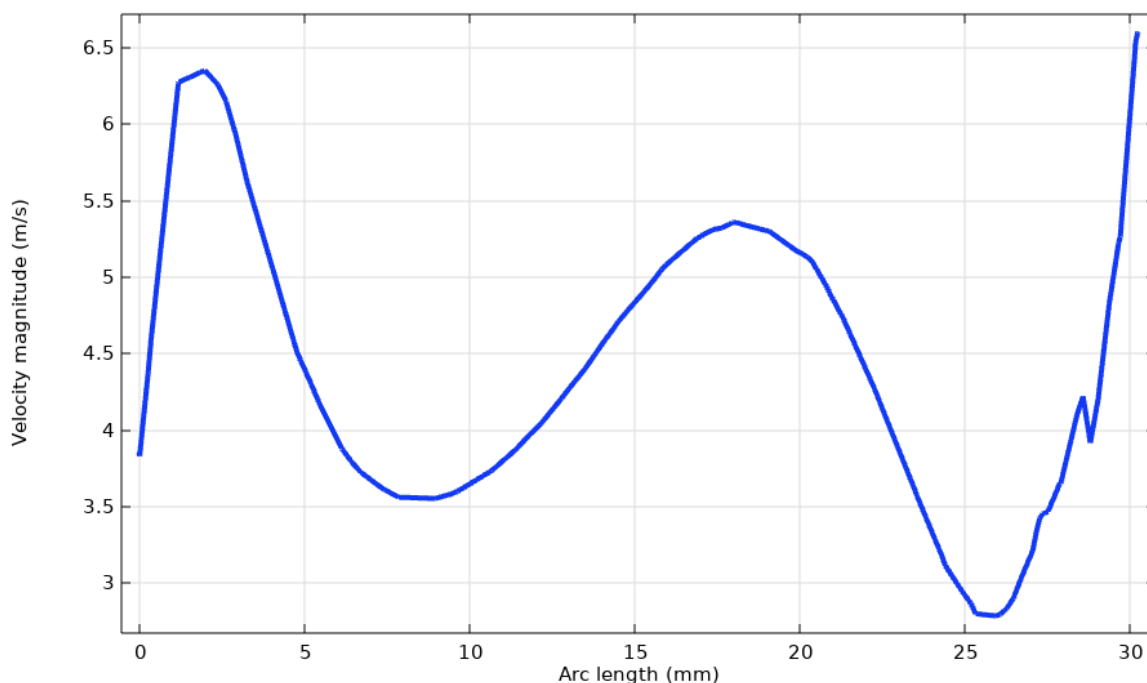
Soplo devorlarida chegara qatlamlariga tegishli III-tur chegaraviy shartlar qo'yildi:

$$\begin{aligned} un &= 0; \\ Kn &= -\rho \frac{u_\tau}{u^+} u_{\tan g}; \\ \nabla \kappa n &= 0, \quad \varepsilon = \rho \frac{c_\mu \kappa^2}{\kappa_v \delta_w^+ \mu}. \end{aligned} \quad (24)$$

Soplodan suv dastasining chiqishidagi tezligi va bosimi uchun quyidagi tenglamalar olindi:

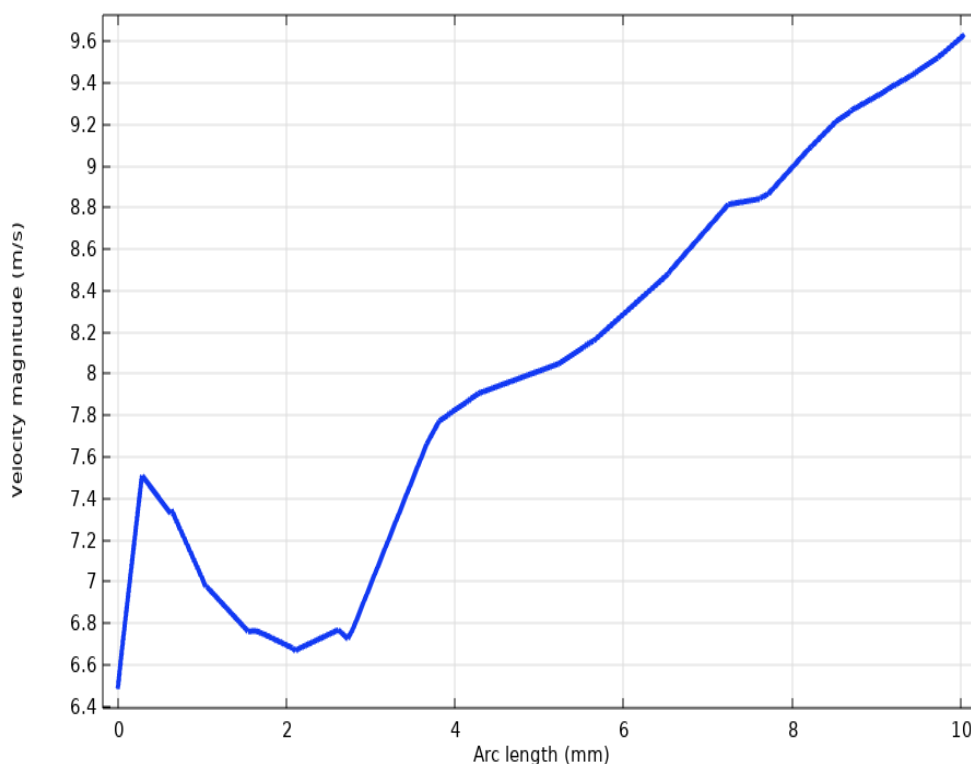
$$\begin{aligned} [-PI + K]n &= -P_0 n; \\ p'_0 &\leq p_0, \quad ut = 0; \\ \nabla \kappa n &= 0, \quad \nabla \varepsilon n = 0, \quad \nabla G n = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

k -turbulent kinetik energiya; ε -turbulent tarqalish tezligi; μ -qovushqoqlik; μ_T -turbulent qovushqoqlik.



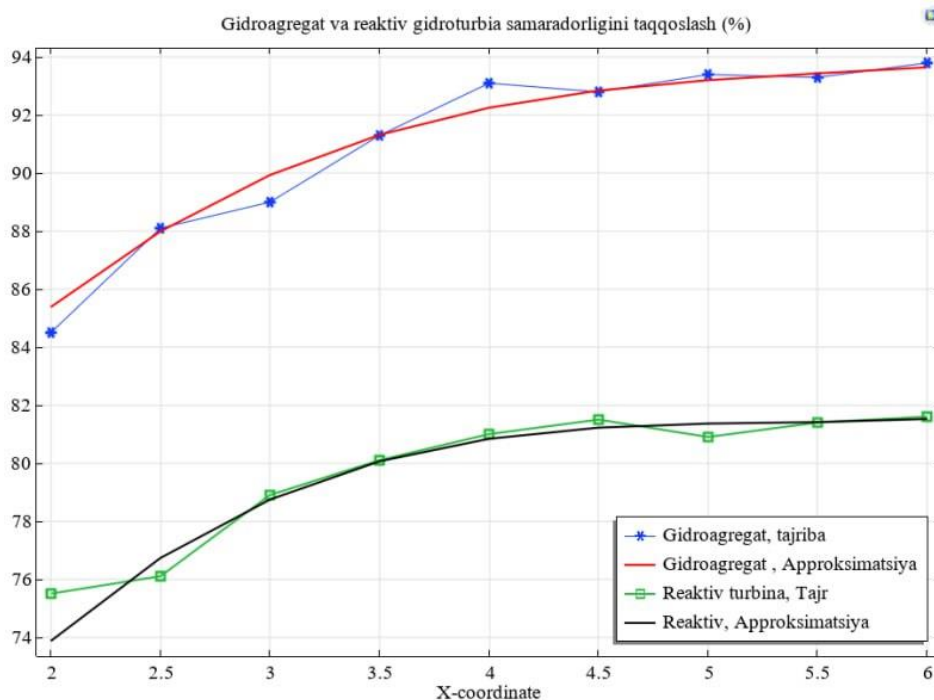
3-расм. Сув оқимining soplo uzunligi bo'ylab harakatlanishidagi o'rtacha tezlik maydonini o'zgarishi.

3- rasmda suv oqimining soploga kirishdagi tezligining o'zgarishi keltirilgan. Rasmda ko'rinadi yo'naltiruvchi kurakdan chiqqan suv oqimi tezligi kamayadi maxalliy qarshiklar kamayib saploning toraygan qismi bo'ylab harakatida devorlar bo'ylab suv tezligi ortib boradi va saplo ichki devorlari tasirida ichki tezlik kamayishiga olib keladi. 6-rasmda ko'rinadiki suv oqimi keyingi harakati davomida, soplodagi konfuzorlik evasiga tezlik ortadi va chiqishda 9.6 m/s tezlikda soplodan chiqib ketadi.



4-расм. Сув оқимining soplo konfuzori va chiqishidagi oʻrtacha tezlik maydonining oʻzgarishi.

Nazariy hisoblash natijalaridan koʻrinadiki, soplarning suv chiqish effektiv radiusi 4.5 sm boʻlganda suv bosim ortib borganda gidroagreatdagi suv sarfi suv bosimi 2-6 m oraliqda ortganda gidroagreatning normal ishrejimida ishlashin uchun suv sarfi 423.3-732.7 l/s oraliqda mos holda oʻzgarishi kerak. Bunda gidroagreatning samaradorligi 2 m da 85.5 % ni tashkil etib bosim ortgani sari 95.8 gacha yetadi. Ushbu nazariy hisoblashdan olingan natija, tajriba sinovda olingan natijani apraksimatsiya funksiyasi blan taqqoslanganda 3.4 % farq qildi.



5-rasm. Gidroagreat va reaktiv gidroturbinaning 2-6 m suv bosimi oraliqda ishlaganda samaradorliklarni taqqoslash natijalari.

Tajriba sinovdan olingan natija va uning apraksimatsiya funksiyasi hamda protatip sifatida

olinga rekativ gidroturbinani taqqoslash grafigi quyidagi 5-rasmda keltirilgan.

5- rasmda ko`rinadiki bir xil ish sharoitida gidroagregatning ish samaradorligi yakka holda ishlaydigan soploli reaktiv gidroturbinaning samaradorligidan suv bosimiga mos holda 10-13% ortiqcha energiya ishlab chiqarish imkoniga ega bo`lar ekan.

III. XULOSA. Tadqiqot natijalari shundan dalolat beradiki, ikki aylanma valli kontrrotorli gidroagregatlar past bosimli suv manbalarida energiyani ikki bosqichli o`zlashtirish orqali umumiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi. CFD modellashirish orqali olingan natijalar amaldagi gidrodinamik jarayonlar bilan yaqin mos keldi va hisobiy hamda tajriba orqali aniqlangan samaradorlik orasidagi farq 3–4% dan oshmadi.

Ishlab chiqilgan ichki va tashqi o`qli gidroagregatda reaktiv va aktiv g`ildiraklarning aylanish yo`nalishlari qarama-qarshi bo`lgani sababli suv oqimining kinetik energiyasi samarali foydalaniladi, shuningdek aylanma impuls yo`qotishlari kamayadi. Bu esa agregatning ishlash barqarorligini va uzoq muddatli ekspluatatsiya imkoniyatini ta`minlaydi.

Past bosim sharoitida 85–90% gacha bo`lgan FIK ko`rsatkichiga erishilganligi mazkur konstruksiyaning amaldagi mikro–GESlar uchun yuqori texnologik ahamiyatga ega ekanligini ko`rsatadi. Shuningdek, ikki aylanma valli tuzilish agregatni xizmat ko`rsatishda qulaylik yaratadi, podshipniklardagi yuklamani kamaytiradi va texnik xizmat davriyligini 1,5–2 barobar uzaytiradi.

O`tkazilgan tadqiqotlar shuni ko`rsatadiki, ushbu turdagi gidroagregatlar O`zbekiston sharoitidagi irrigatsiya va drenaj tarmoqlaridagi past bosimli suv manbalarida qo`llash uchun maqbul hisoblanadi. Keyingi bosqichda gidroagregatning geometrik parametrlarini optimallashtirish, materiallarini yengillashtirish va avtomat boshqaruv tizimini joriy etish bo`yicha tadqiqotlarni amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

- [1]. Biner, D. et al. DuoTurbo: Counter-Rotating Micro-Hydroelectric System. **Sustainability**, 2021.
- [2]. Fahlbeck, J., Dudlik, A. Performance of contra-rotating pump-turbine. **Renewable Energy**, 2024.
- [3]. Xiuli, W., Hong, S. Hydraulic Optimization of Two-Way Counter-Rotating Axial-Flow Turbine. **Frontiers in Energy Research**, 2020.
- [4]. Sonohata, R., Fukutomi, J. Contra-Rotating Small-Sized Hydro Turbine. **Open Journal of Fluid Dynamics**, 2012.
- [5]. Kim, S. Experimental study of counter-rotating tidal turbine model. **Renewable Energy**, 2012.
- [6]. Hill, C., Goupee, A. Dual Rotor Tidal Energy Converter. **Energies**, 2020.
- [7]. Ruiz, R.A., Madrigal, J. Variable-speed contra-rotating pump-turbine. **Energy Reports**, 2025.
- [8]. Shamsuddeen, M.M. Feasibility study of ultra-low-head hydro turbines. **Heliyon**, 2024.
- [9]. Quaranta, E., Bahreini, A. The Very Low Head Turbine for Hydropower. **Sustainable Energy Technologies**, 2022.
- [10]. Bilková, E. Variable-Speed Propeller Turbine for Small Hydropower. **Energies**, 2023.
- [11]. Barsi, T. Flow Regulation of Low-Head Propeller Turbines. **Machines**, 2023.
- [12]. Picone, C. Cross-Flow Type Turbine for Ultra-Low Head Streams. **Water**, 2023.
- [13]. Park, J., Knight, B.G. CFD-based design optimization of ducted turbines. **Scientific Reports**, 2023.
- [14]. Wang, Y. Design and validation of diffuser-augmented micro hydro turbine. **Ocean Engineering**, 2020.
- [15]. Vaz, J.R.P. Diffuser-Augmented Turbine Downstream of Dams. **Sustainability**, 2023.
- [16]. Walz, A.R. Design Optimization of Diffuser-Augmented Dual-Rotor Turbine. Univ. Minnesota Thesis, 2024.
- [17]. Aggidis, G.A. Hydro turbine prototype testing and performance curves. **Renewable Energy**, 2014.
- [18]. O.O. Bozarov, R.U. Aliyev, Counter-rotary hydraulic unit with reactive and active Impellers, *Technical science and innovation* 2023, №2(16). pp.107-115.
- [19]. O. Bozarov, R.Aliyev, D.Qodirov, E. Begmatov, Counter-rotor hydraulic unit on the basis of a nozzle jet hydro turbine, ICECAE 2023, E3S Web of Conferences 434, 01007,
- [20]. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401007>.
- [21]. Bazarov O.O, R.Aliyev, D.Qodirov, H.Usarov, Energy parameters of a hybrid counter-rotor hydraulic unit operating on the basis of solar and hydraulic energy, ICECAE 2023, E3S Web of Conferences 434, 01010, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401010>.
- [22]. Bozarov O.O, Usarov Kh. S. Begmatov E. M., The relationship between the parameters of the impeller with the guide vane of the jet hydroturbine nozzle /"The role of alternative energy sources in the development of the energy industry" Republican scientific-practical conference. Namangan city, April 28-29, 2022. p.p.138-143.

УДК 621.383.51:621.317.7

ЗНАЧЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ PID (POTENTIAL INDUCED DEGRADATION)

М.Х. Муродов¹, С.М. Барайшук², Э.Х. Беркинов¹, М.Я. Набиев¹, Т.У. Атамирзаев¹

¹Наманганский государственный технический университет,
²Белорусский Государственный аграрный технический университет
(Получена 20.10.2025 г.)

Annotatsiya. Ushbu maqolada fotoelektrik tizimlarda PID (Potential Induced Degradation) effekti mexanizmi va uning quyosh panellari samaradorligiga ta'siri o'rganilgan. Zaminlash tizimining elektr potentsialni barqarorlashtirishdagi roli, tuproqning solishtirma qarshiligini (ρ) kamaytirish usullari, jumladan gidrogel-grafit aralashmalaridan foydalanish samarasi tahlil qilingan. Namangan sharoitida Wenner usuli asosida o'lchov natijalari keltirilib, amaliy hisoblashlar yordamida 4 Ω talabi uchun zarur elektrodlar soni aniqlangan. Tadqiqot natijalari PID effekti xavfini kamaytirish va fotoelektrik tizimlarning uzoq muddatli barqarorligini ta'minlashda tuproq modifikatsiyasi muhimligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: PID-effekti, zaminlash, tuproq qarshiligi, gidrogel-grafit aralashma, Wenner usuli, fotoelektrik tizimlar.

Аннотация. В статье исследуется механизм возникновения эффекта PID (Potential Induced Degradation) в фотоэлектрических системах и его влияние на эффективность солнечных модулей. Рассмотрена роль системы заземления в стабилизации электрического потенциала и повышении надежности оборудования. Проанализированы методы снижения удельного сопротивления грунта, включая использование гидрогелево-графитовых смесей. На примере условий Намангана приведены результаты измерений по методу Веннера и выполнены расчёты необходимого количества электродов для достижения сопротивления 4 Ом. Полученные результаты показывают, что модификация грунта существенно снижает риск PID и повышает долговечность фотоэлектрических установок.

Ключевые слова: эффект PID, заземление, сопротивление грунта, гидрогелево-графитовая смесь, метод Веннера, фотоэлектрические системы.

Abstract. This paper investigates the mechanism of Potential Induced Degradation (PID) in photovoltaic systems and its impact on the long-term performance of solar panels. The role of grounding in stabilizing electrical potential and improving system safety is analyzed, emphasizing soil resistivity reduction techniques using hydrogel-graphite mixtures. Field measurements conducted in Namangan using the Wenner method were applied to calculate the number of grounding electrodes required to achieve a target resistance of 4 Ω . The results demonstrate that soil modification significantly reduces PID risks and enhances the reliability of photovoltaic installations under dry soil conditions.

Keywords: Potential Induced Degradation (PID), grounding, soil resistivity, hydrogel-graphite mixture, Wenner method, photovoltaic systems.

В последние десятилетия фотоэлектрическая энергия является одним из самых быстрорастущих и экономически привлекательных направлений среди возобновляемых ресурсов. Фотоэлектрические станции (ФЭС) большой мощности важны в национальных энергетических системах, и каждый из их компонентов – панели, инверторы, монтажные конструкции и системы заземления – напрямую влияет на эффективность всей системы.

Одним из важных факторов, снижающих долгосрочную эффективность солнечных панелей, является потенциальная индуцированная деградация (ПИД) – деградация, вызванная потенциалом. ПИД иногда может привести к снижению мощности модуля до 10-40%. В то же время, неправильная или недостаточно организованная система заземления также негативно влияет на безопасность и надежность эксплуатации. В данной статье подробно анализируется механизм ПИД, роль систем заземления, значение электропроводности грунта и практические рекомендации.

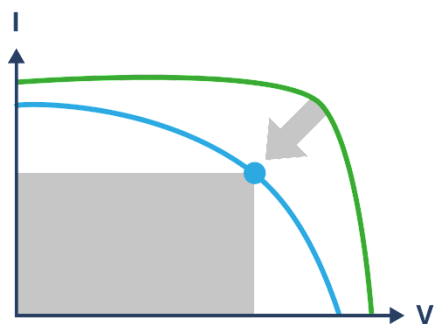


Рис. 1. Изменение ВАХ за счет ПИД.

Механизм PID: теория и практические признаки. ПИД – это процесс изменения электрических свойств модуля в результате диффузии и накопления ионов (особенно Na^+) через диэлектрический слой (ЭВС), стекло и полупроводниковые слои внутри модуля. Отдельные панели в электрической цепи имеют свой абсолютный потенциал, который может быть положительным или отрицательным по отношению к потенциалу Земли (0 В). Разность напряжений (например, ± 600 В или выше) приводит в движение ионы внутри диэлектрического слоя.

Накопление ионов приводит к следующим процессам:

- нарушение слоя пассивации;
- уменьшение шунтового сопротивления («leakage/bypass current» – увеличение тока утечки/обтекания);
- образование локальной «горячие точки» («hotspot») и появление черных пятен на инфракрасных изображениях;
- Ухудшение MPP (точка максимальной мощности) и ВАХ (рис. 1).

Методы определения PID в лабораторных и внешних условиях: электролюминесценция (ЭЛ), инфракрасное изображение (ИК), измерения MPP/ВАХ и исследования тока, напряжения по цепи. В модулях признаки PID часто усиливаются в элементах, близких к рамке (рис. 2).

Деградация PID

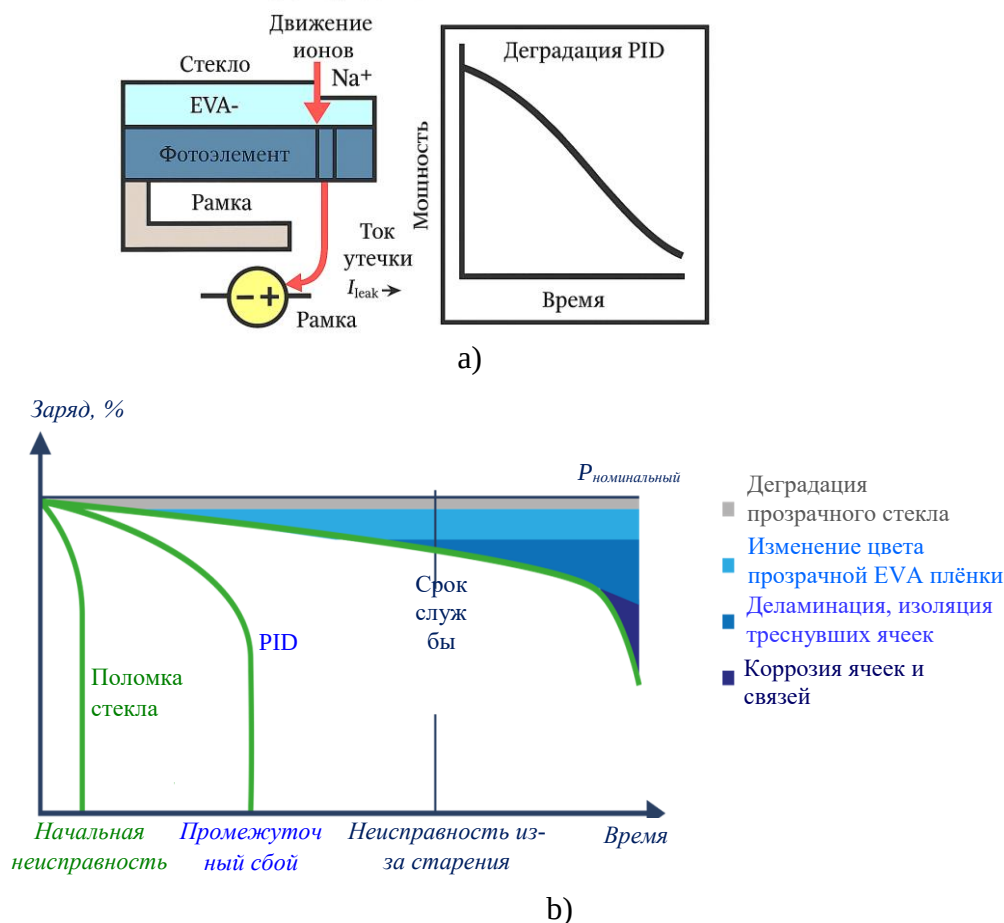


Рис. 2. Возникновение деградации ПИД в фотоэлектрических модулях и уменьшение мощности во времени (а) и причины деградации (б).

Грунтование и его влияние на ПИД. Две основные функции заземления: обеспечение электробезопасности и управление разностями потенциалов в системе. В случае ПИД заземление играет положительную роль, используя следующие методы:

1. Приближение потенциала к нулю – связывая электрод в модуле или цепи с землей, можно ограничить достижение его абсолютного потенциала опасных значений относительно земли.

2. Управление направлением движения ионов – заземление положительного или отрицательного электрода может уменьшить поток ионов внутри диэлектрика или перенаправить их в другое направление.

3. «Лечебные» процедуры – существуют эксперименты, в которых панели, деградировавшие из-за ПИД, могут быть частично восстановлены путем «перегрузки» с определенным потенциалом (например, +1000 В на панелях р-типа, -1000 В на панелях n-типа) или временным заземлением электродов.

На практике, когда такие компании, как SunPower, обнаружили проблему ПИД, наблюдались значительные улучшения путем улучшения изоляции панелей или подключения необходимого электрода к грунту. Однако типы заземления и топологии инверторов не всегда могут совпадать – в бестрансформаторных инверторах необходимо учитывать динамический характер потенциала.

Основным параметром, определяющим эффективность заземления, является проницаемость грунта (или его эквивалент – сопротивление грунта ρ , $\Omega \cdot m$). Свойства грунта зависят от: влажности, минерального состава, содержания солей, температуры и структуры.

Земная адаптация закона Ома – это специальное преобразование общей формы закона Ома для расчета электрического сопротивления в почвенной среде. То есть, по земле тоже течёт ток, но он распространяется вокруг, а не как по металлической проволоке, поэтому формула адаптирована. Следовательно, для обычного проводника сопротивление $R = \rho \cdot L / A$, но для заземляющих электродов традиционные формулы не используются. Потому что земля (грунт) – это не однородная металлическая проволока, а среда, состоящая из разных слоев с разной проводимостью. Поэтому закон Ома нельзя применять непосредственно. Однако, условно, тот же самый закон может быть использован в форме, адаптированной для земли.

Для расчетного сопротивления заземляющего электрода используется следующая формула:

$$R_{\text{электрод}} \approx \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

где: ρ – удельное сопротивление земли, L – длина электрода, d – диаметр электрода.

При параллельном расположении нескольких электродов общее сопротивление зависит от их взаимного положения и конструктивного взаимодействия – для максимальной эффективности рекомендуется, чтобы расстояние между электродами было примерно в 4-5 раз больше длины электрода.

Взаимное сопротивление – взаимные позиции и конструктивное взаимодействие электродов – это электрическое взаимодействие, возникающее между несколькими

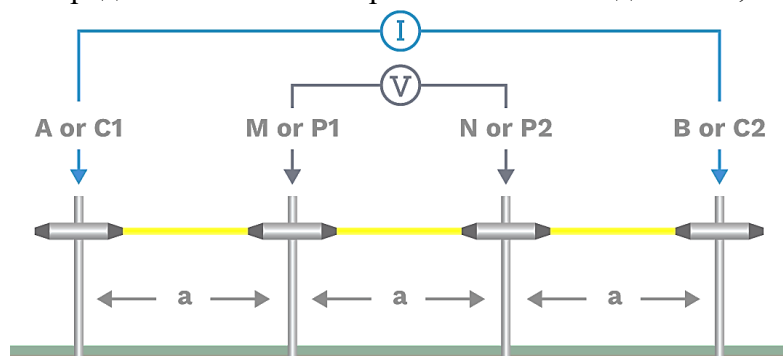


Рис. 3. Четырехэлектродный метод (Wenner) для определения сопротивления грунта.

электродами, введенными в грунт. Если в грунт ввести один электрод, то вокруг него образуется «зона грунтового тока», по которой течет ток. Этот поток тока распространяется цилиндрически.

Если несколько электродов расположить близко, то их зоны распространения тока перекрываются. Поэтому их общее сопротивление не

уменьшается мгновенно, как у обычного параллельного соединения, потому что поля тока между ними влияют друг на друга. Это можно объяснить тем, что «зона распространения» тока, протекающего в грунт вокруг каждого электрода, имеет форму круга или эллипса, а плотность тока уменьшается по мере удаления от электрода. Если два электрода расположить очень близко друг к другу, то их зоны распространения тока перекрываются и становятся общими. В результате их общая эффективность становится такой же, как у одного электрода – то есть, даже если мы добавим два электрода, сопротивление не уменьшится, как ожидалось. Это явление называется взаимным сопротивлением. Проще говоря: если мы поместим электроды слишком близко, они будут мешать друг другу, и их полезность уменьшится [1,2].

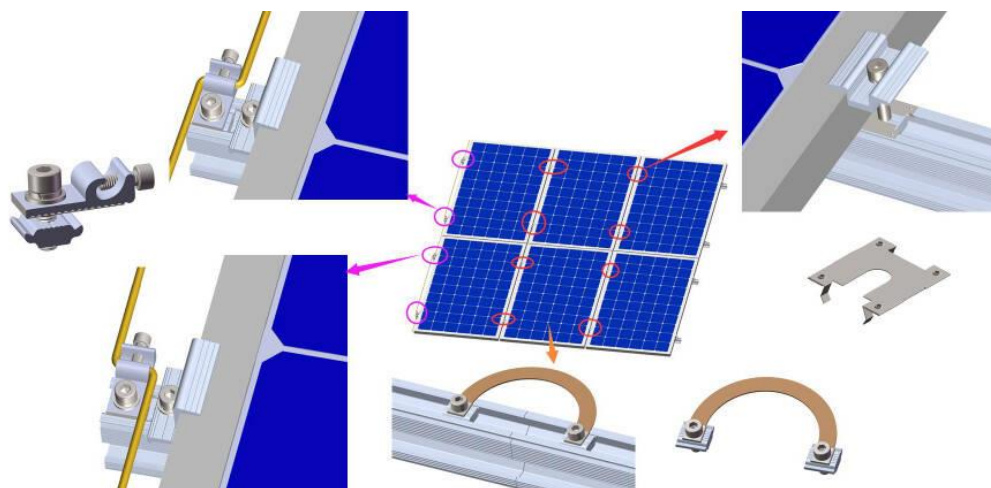


Рис. 5. Монтаж заземляющего проводника через специальные кронштейны на солнечные панели и металлические конструкции.

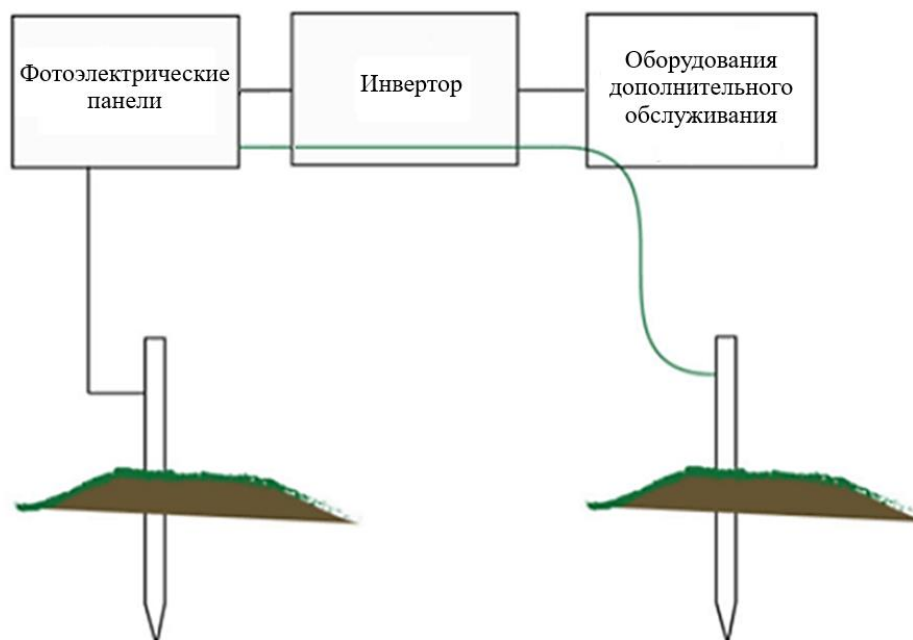


Рис. 6. Блок-схема заземления фотоэлектрической системы в грунт.

Измерение сопротивления грунта (методика Веннера) [3]. Наиболее часто используемый метод определения сопротивления грунта на площадке – четырехэлектродный метод (метод Веннера): четыре электрода (А, М, N, В) размещаются равномерно; проводимый ток подается через А-В, и измеряется разность потенциалов U между М-N.

Сопротивление грунта:

$$\rho = 2\pi a \cdot R_{Wenner} = 2\pi a \cdot \frac{U}{I}$$

где:

- a – расстояние между электродами, т.е. расстояние между каждым соседним электродом.
Например: если разместить 4 электрода и расстояние между ними равно 1 м, то $a = 1$ м. Если разместить 2 метра, то $a = 2$ м (рис. 3).
- ρ – удельное сопротивление грунта (Ом·м),
- a – расстояние между электродами (метры),
- U – измеренное напряжение (вольт),
- I – пропускаемый ток (ампер).

По полученному значению ρ принимается решение о проектировании системы заземления.

Методы улучшения заземления и свойств грунта (практические рекомендации).

Следующие практические меры рекомендуются для снижения эффективности заземления и, следовательно, риска ПИД:

1. Модификация грунта
 - Гидрогель-графитовые смеси: повышение проницаемости грунта (удержание влаги + создание проницаемого слоя) [4].
 - Солевые растворы и засоление: снижают сопротивление в короткие сроки, но необходимо учитывать коррозионные и экологические аспекты.
 - Угольный или графитовый порошок: может улучшить долгосрочную, безкоррозионную проводимость.
2. Электродные правила и материалы
 - Коррозионностойкие материалы (медь, покрытая медью, нержавеющая сталь); выбор диаметра и длины электрода в соответствии с проектом.
 - Комбинированная вертикальная + горизонтальная электродная сеть более эффективна в зависимости от геологического строения местности.
3. Топология заземления и инверторы
 - Гальваническая изоляция с трансформаторными инверторами может снизить риск ПИД.
 - В бестрансформаторной инверторной системе необходимо контролировать потенциал путем правильного выбора электродов и управления полюсами цепи.
4. Мониторинг и техническое обслуживание
 - Раннее выявление PID посредством регулярных проверок электролюминесценции (EL)/инфракрасной термографии (IR) и измерений MPP.
 - Сезонные измерения резистивности грунта (в сухой и влажный периоды) и при необходимости ремодификация грунта.
 - Ежегодные проверки сопротивления заземления (с помощью омметра) и мониторинг коррозии контактов.

Практические расчеты и технические расчеты по типовому проекту.

Первым шагом для проектной площадки является определение сопротивления грунта в 3-5 точках по методике Веннера. На основе полученного значения ρ рассчитывается необходимая длина и количество одиночного электрода или массива электродов.

Если $\rho > 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{м}$ (сухое песчаное поле), применение проницаемой смеси (графит/гидрогель) является обязательным. Если $\rho < 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (влажная глинистая или засоленная), может быть достаточно и меньшего количества обычных водородных электродов [5].

Для обеспечения независимой работы электродов рекомендуется расстояние между ними $L_{\text{электрод}} \times 4$ ($L_{\text{электрод}}$ – длина электрода).

Рассмотрим технические параметры заземляющей установки для фотоэлектрической станции с гибридным инвертором мощностью 10 кВт, установленной и запущенной в августе (!) этого года в Наманганском районе Наманганской области. Станция состоит из 10 поликристаллических кремниевых фотоэлектрических панелей мощностью 580 Вт каждая, 4 гелевых аккумуляторов емкостью 200 А·ч и инвертора мощностью 10 кВт. С учетом влияния ПИД-эффекта в системе был смонтирован заземляющий проводник через кронштейны с соединением солнечных панелей и крепящихся к ним металлических конструкций (рис. 5).

Фотоэлектрическая система, состоящая из фотоэлектрических панелей на крыше объекта, инвертора и соответствующего дополнительного обслуживающего оборудования, заземлена в грунт через электроды (рис. 6).

Расчеты были выполнены на основе приведенной выше основной формулы:

$$R_{\text{электрод}} \approx \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

Здесь:

ρ – удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м;

L – длина заземляющего электрода, м;

d – диаметр электрода, м.

Для условий г. Намангана по результатам измерений были приняты следующие параметры:

$\rho = 200$ Ом·м, $L = 2,44$ м, $d = 0,016$ м.

В результате расчета сопротивление одного вертикального электрода было определено как $R_1 = 70,62 \Omega$.

Если предположить, что n электродов соединены параллельно, их общее сопротивление определяется следующим образом:

$$R_n \approx R_1 / n$$

Таким образом, рассчитанные значения для различного числа электродов следующие:

$n = 1 \rightarrow R = 70,62$ Ом.

$n = 3 \rightarrow R = 23,54 \Omega$.

$n = 5 \rightarrow R = 14,12 \Omega$.

$n = 10 \rightarrow R = 7,06$ Ом.

$n = 18 \rightarrow R \approx 3,92$ Ом.

Из результата видно, что для требования 4Ω требуется не менее 18 электродов длиной 2,44 м.

Результаты и обсуждение.

Поскольку удельное сопротивление грунта в условиях Намангана составляет в среднем около $200 \Omega \cdot \text{м}$, этот фактор необходимо учитывать при проектировании системы заземления. Для достижения требуемого сопротивления 4Ω рекомендуется использовать 18 вертикальных электродов длиной 2,44 м или 12-15 более длинных электродов (3,0-4,0 м). Применение гидрогель-графитовых смесей повышает устойчивость системы. В практических проектах фактическое сопротивление грунта должно измеряться методом Веннера. Эти расчеты должны быть приняты в качестве исходной технической оценки и усовершенствованы на основе данных измерений повторных экспериментов для окончательного проектирования.

Кроме того, применение модификаций, улучшающих поверхность контакта с землей – гидрогель-графитового наполнителя (hydrogel-graphite filler) или увлажняющих смесей повышает эффективность. В этом случае проницаемость грунта увеличивается, а общее сопротивление уменьшается до 30-50%. В ходе наших исследований мы будем представлять результаты экспериментов и расчетов по улучшению проницаемости грунта гидрогелевыми смесями.

Закключение.

Долгосрочная, стабильная и безопасная эксплуатация солнечных панелей напрямую зависит от качества системы заземления. Эффект PID остается реальной и экономически невыгодной проблемой для современных фотоэлектрических систем. Как указано выше, заземление может уменьшить влияние PID – но это только один компонент: модульные материалы (PID-free технологии), инверторные топологии и модификация грунта должны использоваться вместе для эффективного решения.

Практически рекомендуемый порядок: измерение сопротивления грунта по площади, проектирование заземляющих электродов (электродов, сетей), при необходимости модификация грунта (гидрогель/графит или соль), установка заземляющего устройства и измерения, мониторинг (EL/IR и электрические измерения). Эти этапы помогут снизить риск ПИД и поддерживать оптимальный срок службы фотоэлектрической станции и выработку энергии.

Список литературы

- [1]. Glen A. Mazur, In Cooperation with Fluke Corporation. Principles of Earth Grounding Resistance 1st Edition. © 2014. ISBN: 978-0-8269-1436-1
- [2]. W. Keith Switzer. Practical Guide to Electrical Grounding. 1st Edition, ERICO Publication, 1999 y.
- [3]. Коппель М. Измерение удельного сопротивления грунта и определение сопротивления заземляющего электрода методом Веннера // Journal of Electrical Engineering. – 2017. – Т. 68, № 3. – С. 163-168.
- [4]. Baraishuk S. et al. The use of hydrogels in mixtures to reduce the transient resistance of the soil-grounding device //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 497. – С. 03001.
- [5]. Набиев М. Я. Проведение исследований технических характеристик заземляющих устройств на экспериментальной площадке //Механика и технология. – 2024. – Т. 4. – №. 17. – С. 201-207.

SANOAT KORXONALARIDA VA ELEKTR TIZIMLARDA ELEKTR ENERGIYASIDAN OQILONA FOYDALANISH VA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

М.Б. Hudayarov¹, Sh.Sh. Fayziyev²

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Tel.: +998977330792(c),

e-mail: muzaffar_hb@mail.ru

²Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Tel.: +998913344545(c),

e-mail: sherikfayz@gmail.com

(Qabul qilindi 05.09.2025 y.)

Annotatsiya: Bugungi kundagi sanoat korxonalarida elektr energiya samaradorligini oshirish va undagi mavjud isrofgarchiliklarning oldini olish hammamizning muammoyimiz hisoblanadi. Yaqinda mamlakatimiz rahbari tomonidan energiya resurslaridan oqilona foydalanish va bu sohadagi muammolar ko'rib chiqildi. Korxona va binolarda elektr energiyasidan foydalanishda, elektr energiyani kamroq sarflash evaziga yaxshi natijalarga erishish ham samaradorlik oshirish hisoblanadi. Energiya samaradorligiga oid tushunchalar barcha sohalarda o'z aksini topgan bo'ib, bu maqolada ayrim sohalarda elektr energiyasidan tejamkorlik bilan foydalanish muammosi ko'riladi.

Kalit so'zlar: energiya sarfi, me'yor, individual, elektr energiyasi, seh normasi, sanoat korxonalari, energiya samaradorligi, mahsulot, texnologik jarayon, norma, solishtirma sarfi.

Аннотация: Повышение эффективности использования электроэнергии на современных промышленных предприятиях и предотвращение её потерь – задача для всех нас. Недавно глава государства рассмотрел вопросы рационального использования энергетических ресурсов и проблемы в этой области. В использовании электроэнергии на предприятиях и в зданиях достижение высоких результатов при меньшем её потреблении также считается повышением эффективности. Понятие энергоэффективности находит отражение во всех сферах, и в данной статье будет рассмотрена проблема экономного использования электроэнергии в некоторых сферах.

Ключевые слова: энергопотребление, норматив, индивидуальный, электроэнергия, цеховой норматив, промышленные предприятия, энергоэффективность, продукт, технологический процесс, норматив, удельный расход.

Annotation: Increasing the efficiency of energy use at modern industrial enterprises and preventing its losses is a task for all of us. Recently, the head of state considered issues of rational use of energy resources and problems in this area. In the use of electricity in enterprises and buildings, achieving high results with less consumption is also considered to be an increase in efficiency. The concept of energy efficiency is reflected in all areas, and this article will consider the problem of economical use of electricity in some areas.

Key words: energy consumption, standard, individual, electric power, workshop standard, industrial enterprises, energy efficiency, product, technological process, standard, specific consumption.

Kirish. Ma'lumki, fizik qonunlarga ko'ra energiya bordan yoq bo'lmaydi yo'qdan bor bo'lmaydi, faqat o'z shakli va turini o'zgartiradi. Shu kabi elektr energiyasi ham bir nechta energiya evaziga bizgacha yetib keladi. Shuni aytish joizki bugungi kunda elektr energiyasidan tejamkorlik bilan foydalanish bugungi davr talabi bo'lib kelmoqda. Buning uchun honadonimizdagi isitish asboblari, ishlatimayotgan yoritish chiroqlarini o'chirib qo'yish, ishda yoki ishlab chiqarish korxonalari, jamiki qayerda bo'lsa ham qayta ishlamaydigan elektr jihozlarini o'chirib qo'yish, tejamkorlikka ilk qadamlardan birini tashlagan bo'lamiz. Ishxona, ofis, korxonalarda isitish asboblardan oqilona foydalanish-energiya samaradorligining ko'rsatkichlaridan biri hisoblanadi[1].

Shuni aytib o'tish joizki, sanoat korxonalarida elektr energiya iste'moli bir tekis emas, ya'ni texnologik jarayonga qarab, mahsulot ishlab chiqarishga bo'lgan talabni o'zgarishiga qarab, u doimiy o'zgarib turadi va bir nechta faktorlarga doimiy ravishda bog'liq bo'ladi. Yuqorida aytib o'tilganidek, ana shunday o'zgarishlarni, faktorlarni hisobga olish albatta me'yoriy ko'rsatkichlarni aniqlashdagi hisob aniqligini oshirishga xizmat qiladi.

Asosiy qism. Me'yorlash strukturasi ikkinchi pog'onasida korxona bo'yicha seh iste'mol qilayotgan elektr energiya iste'molini me'yorlash masalalari ko'rib chiqiladi va bu yerda asosiy urg'u texnologik ehtiyojlar bilan bir qatorda sehning o'z ehtiyojlari uchun iste'mol qilinayotgan elektr energiya miqdori hisobga olinadi. Aynan shu pog'onada ishlab chiqarilayotgan mahsulot bo'yicha seh normalari o'rnatiladi va u quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi: [1].

$$d_{seh} = (W_{seh} + W_{yon} + W_{ven} + W_{yord}) / A_{seh} \quad (1)$$

Bu yerda; W_{seh} – texnologik ehtiyojlar uchun sarf bo'ladigan elektr energiya, $kVt \cdot soat$;

W_{yon} – yoritish uchun sarf bo'lgan elektr energiya, $kVt \cdot soat$;

W_{seh} – sehning vintelyatsiya qurilmalari uchun sarf bo'lgan elektr energiya, $kVt \cdot soat$;

W_{yord} – yordamchi ehtiyojlari uchun sarf bo'lgan elektr energiya, $kVt \cdot soat$.

A_{seh} – ishlab chiqarilayotgan mahsulot hajmi.

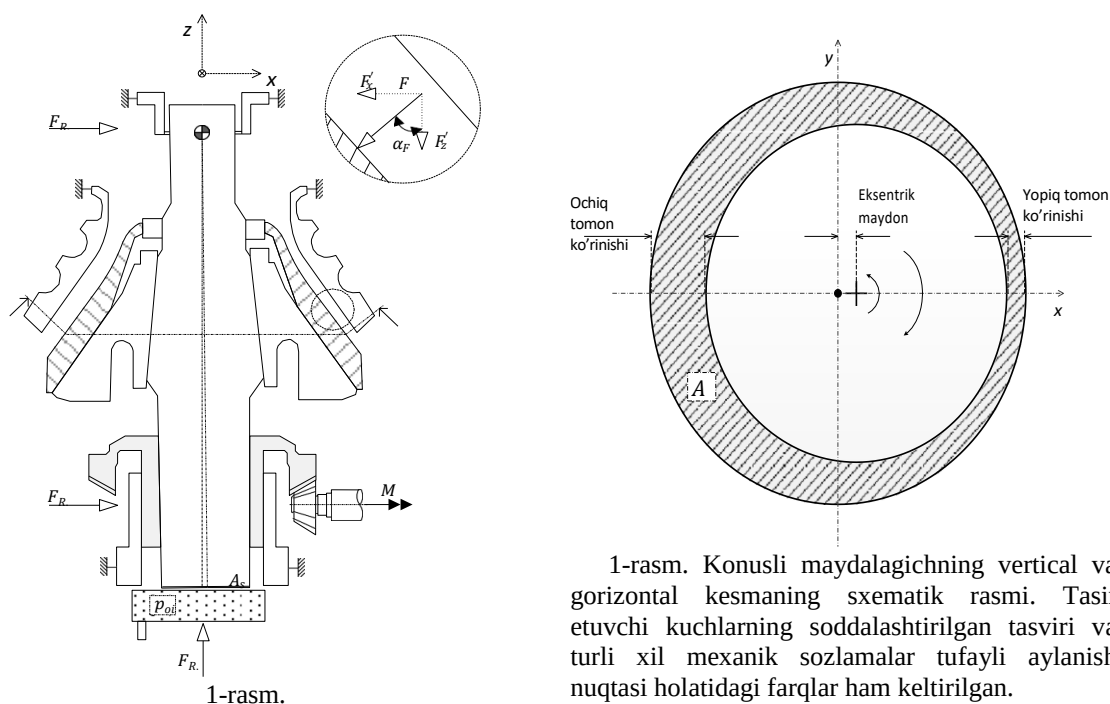
Umuman olganda energiya resurslari sarfining me'yori quyidagilardan tashkil topadi: - yordamchi protses uchun sarflar - texnologik liniyalardagi elektr energiya sarflari; - qurilmalardagi elektr energiya isroflari; - texnologik jarayonlar uchun elektr energiya sarfi. Me'yorlash strukturasi uchunchi pog'onasi bu texnologik jarayonlarni o'zida ifodalovchi pog'ona hisoblanib, bu yerda aynan ma'lum bir texnologik jarayon bo'yicha ishlab chiqarilayotgan mahsulot uchun norma ko'rsatkichlari o'rnatiladi va bu quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi: [1].

$$d_{tex} = \frac{P_{hi}}{A} \quad (2)$$

Bu yerda; P_{hi} – agregatning hisobiy yuklamasi, kVt ,

A – ishlab chiqarilayotgan mahsulot hajmi.

Tog' - kon va qurilish sanoatida mineral xom - ashyoni maydalash jarayonlari uchun jag'li, bolg'ali va konusli maydalagichlar keng qo'llaniladi. Qattiq materiallarni maydalash uchun eng ko'p ishlatiladigan konusli maydalagichlar bo'lib, unda material bo'laklari statsionar konus shaklidagi idish ichida aylanma eksentrik harakat asosida aylanadigan konus tomonidan maydalanadi. Aylanish jarayonida, harakatlanuvchi konusning boshi, bir tomondan, tanaga yaqinlashib, xom - ashyo bo'laklarini parchalaydi va ikkinchi tomondan, mahsulotning to'kilishini ta'minlash uchun undan uzoqlashadi. Konusli maydalagichlar (1-rasm) yirik (KKD), o'rta (KSD) va kichik (KMD) hajimdagi xomashyo ishlab chiqarish mo'ljallangan turlari bor [2].



1-rasm.

1-rasm. Konusli maydalagichning vertical va gorizontaal kesmaning sxematik rasmi. Tasir etuvchi kuchlarning soddalashtirilgan tasviri va turli xil mexanik sozlamalar tufayli aylanish nuqtasi holatidagi farqlar ham keltirilgan.

Yuqori quvvatli maydalash qurilmalari uchun ishlatiladigan elektr yuritmalar asosiy qismi asinxron motor bo'lib hisoblanadi. Chunki asinxron motor konstruktiv jihaddan sodda va iqtisodiy jihaddan arzon demakdir. Hozirgi kunda Navoiy Kon Metallurgiya kombinati, 2- gidro metallurgiya zavodi, rudani maydalash sexidagi yirik konusli KKD-1500/180 GRSh maydalash qurilmasi elektr yurutmasi sifatida AK4-450Y-10UZ markali faza rotorli asinxron motor ishlatiladi (1-jadval). Biroq bu turdagi asinxron motorlar bugungi kunda keng foydalanilmaydi. Chunki ularning konstruksiyasi qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorga nisbatan murakkabligi sababli ommalashmagan. Ammo yagona afzallik bu tezlik boshqarish imkoni mavjudligidir. Faza rotorli asinxron motorning rotorda joylashgan halqalariga tegib turuvchi cho'tkalar orqali qarshiliklar ulanilishi hisobiga rotor tezligi rostdaniladi. KKD-1500/180 GRSh, tanlangan konusli maydalagichning elektr yurutmasi AK4-450Y-10UZ markali faza rotorli asinxron motor texnik parametrlari (jadval 1) da keltirilgan.

1-jadval

AK4-450Y-10UZ markali faza rotorli asinxron motor texnik parametrlari.

Elektr motor turi	Quvvati (kWatt)	Aylanslar soni (ayl/min)	Kuchlani shi (V)	FIK (%)	Quvvat ko'ffitsenti (cos f)	Stator toki (A)	Rotor toki (A)	Maksimal momentning nominalga nisbati (Mmax/Mn)
AK4-450Y-10UZ	400	750	6000	92,6	0,83	50	390	6,4

2-gidro metallurgiya zavodi, 1-sehdagi rudani yanchish qurilmasi AK4-450Y-10UZ markali faza rotorli asinxron motor validagi yuklamaning o'zgarishi asosida quvvatni avtomatik rostlash usulini tadbqiq qilish uchun dastlab bir qator ilmiy amaliy tajribalarni bajarish lozib bo'lib sanaladi. Hozirda AK4-450Y-10UZ markali faza rotorli asinxron motor doimiy 24 soat ish rejimida faoliyat ko'rsatib kelmoqda. Kapital tamirlash uchun har 5 oy da bir marotaba 24 soat ishdan tashqari farmoyish joriy qilinadi. Ammo, rudaning qattiqligi, metal qismlarning maydalagichga tushib qolishi, mexanik va elektr jihozlarida yuzaga keluvchi muamolar sababli, kunlik avariya yani favqulotda to'xtab qolish holati kuzatilishi mumkin. Bu turdagi favqulotda to'xtab qolish davri 2 dan 6 soatgacha bo'lgan oraliqda ruxsat beriladi. Maydalagich elektr yuritmasi ishlash davrida

oʻtginchi jarayonlar va asosiy kattaliklarda yuzaga keluvchi oʻzgarishlarni chuqur oʻrganish, olib borayotgan ilmiy ishimizni har tomonlama mukammal va kutilayotgan natijalarni aniqroq qoʻlga kiritish uchun imkon beradi [3].

Hozirgi kunda barcha elektr energiyasi isteʼmolchilari toʻrt tarif guruhiga boʻlinadi. Bular I, II, III va IV tarif guruhlarini hisoblanadi.

I tarif guruhiga ulangan quvvati 750 kVA va undan ortiq boʻlgan, elektr energiyasi uchun tabaqalashtirilgan tarif boʻyicha hisob-kitob qilinadigan isteʼmolchilar kiradi. Byudjet tashkilotlari, fermer xoʻjaliklari va suv isteʼmolchilari uyushmalarining nasos stansiyalari, shuningdek, davlat byudjetidan moliyalashtiriladigan nasos stansiyalari bundan mustasno [4].

II tarif guruhiga quyidagilar kiradi: elektr energiyasi uchun bir stavkali tarif boʻyicha hisob-kitob qiladigan isteʼmolchilar, maishiy isteʼmolchilardan tashqari; Energetika vazirligi tarkibiga kiradigan, hududiy elektr taʼminoti korxonalari, shu jumladan, hududiy elektr tarmoqlari korxonalaridan elektr quvvati oladigan korxona va tashkilotlarning, shuningdek, elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi korxonalarning ushbu korxonalar hududidan tashqarida alohida joylashgan obyektlarining xoʻjalik ehtiyojlari. Bunda Energetika vazirligi tarkibiga kiradigan hamda elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi korxonalar tomonidan xoʻjalik ehtiyojlari uchun oʻziga tegishli tarmoqlarda elektr energiyasi ishlab chiqarish boʻyicha foydalanilgan elektr energiyasi amaldagi tannarx boʻyicha hisob - kitob qilinadi.

III tarif guruhiga maishiy isteʼmolchilar kiradi. Ushbu tarif guruhi boʻyicha aholi tomonidan turmush ehtiyojlari uchun uy-joylarda, xonadonlarda, yotoqxonalarda, yordamchi xoʻjaliklarda, shaxsiy foydalaniladigan tomorqa bogʻ obyektlarida, shu jumladan, bogʻ shirkatlari va dala hovlilar sugʻorish nasoslari, shaxsiy avtomashinalar uchun garajlarda sarflanadigan elektr energiyasi haqi tok qabul qilgichlarning quvvati hamda hisobga olish asboblarining oʻrnatilgan joyidan qatʼiy nazar toʻlanadi. Shaxarsozlik normalari va qoidalariga muvofiq ovqat tayyorlash uchun elektr plitalar bilan jihozlangan oʻn qavatdan baland turar-joylar va yotoqxonalarda yashaydigan maishiy isteʼmolchilar tomonidan foydalaniladigan elektr energiyasi uchun toʻlovlar ushbu tarif guruhiga kiradigan amaldagi tarifning 50 foizi miqdorida amalga oshiriladi.

IV tarif guruhi boʻyicha I va II tarif guruhlarini isteʼmolchilari tomonidan texnologik maqsadda elektr isitish, shuningdek, binolarni isitish, issiq suv taʼminoti va ovqat tayyorlash uchun sarflanadigan elektr energiyasining hajmi toʻlanadi.

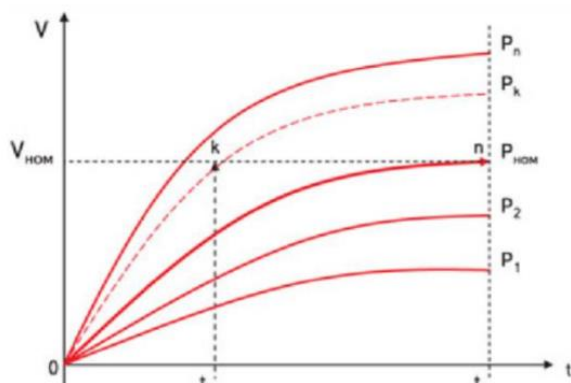
Mamlakatimizning konchilik sanoati sohasida konveyerlar juda keng miqyosda qoʻllaniladi. Konveyer transportlari uzluksiz ravishda yuk tashish transportini hisoblanib, ular vositasida yuklarni koʻchirish juda katta samaradorlikka erishish imkonini beradi. Konveyer transporti dastlabki oʻrnatish harajatlari katta boʻlishini inobatga olmaganda, ekspluatatsiya jarayonida kam harajat evaziga katta hajmdagi yuklarni tashish imkonini beradi. Konveyer transporti ishlab chiqarish tarmogʻi va konchilik sanoatida juda keng miqyosda qoʻllaniladi. Konveyer transportining qoʻllash sohasi va uzunligi ham juda keng miqyosda boʻladi. Konveyerlarni kichik uzunlikdan juda katta uzunlikkagacha boʻlgan masofalarda birday samarali ishlatish mumkin. Shuningdek konveyerlarning bir qancha turlari mavjud boʻlib, bularga tasmali konveyerlar, kurakli konveyerlar, plastinkali konveyerlarni misol tariqasida keltirishimiz mumkin. Bu turdagi konveyerlar ishlab chiqarish va kon sanoatining turli xil sharoitlarida ham konveyer transportini qoʻllashning samarador ekanligini yana bir bor isbotlaydi. Ishlab chiqarish va sanoat korxonalarida asosan tasmali konveyerlar keng miqyosda foydalaniladi. Tasmali konveyerlarning foydali ish darajasi va konstruksiyasi jihatdan boshqa tur konveyer transportlaridan samarali hisoblanadi. Tasmali konveyerlarning elektr yuritgichi sifatida asosan asinxron turdagi elektr mashinalar qoʻllaniladi [5].

Misol tariqasida keltirishimiz mumkinki boyitish fabrikalarining ruda taʼminoti jarayonida maydalagichga rudalar elektrovoz dumpkarlari yordamida tashib kelinadi. Bir elektrovoz yuk boʻshatishni tamomlagach ikkinchi elektrovoz kelgunga qadar va uni yuk toʻkigich uchun monyovr amalga oshirgunga qadar maʼlum vaqt oʻtadi, shu vaqtda maydalagichning taʼminot konveyerlari yuksiz hollarda aylanib turadi. Nazorat datchiklari yordamida konveyerning ish rejimi toʻlalligicha avtomatik tarzda amalga oshirish mumkin boʻladi.

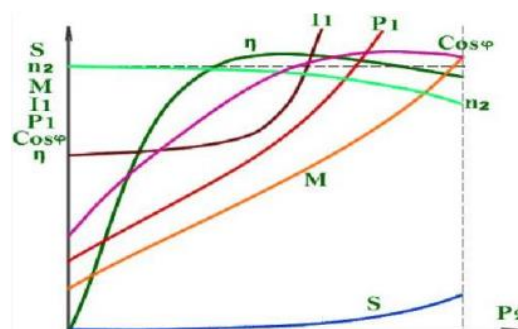
Konveyer transportini energiya samaradorligini oshirish bilan bir qatorda uni texnik parametrlari

o'zgarishini ham, me'yorida oshib ketmasligini ham ta'minlash kerak. Bunda: dvigatel chulg'am temperaturasi, aktiv quvvat koeffitsienti, magnit kuch chiziqlari, statorning o'tkinchi jarayonidagi toklarni me'yorida bo'lishini tajribada ko'ramiz.

Konveyer transportini elektr yuritmasini eng asosiy parametrlaridan biri bu temperaturasi hisoblanadi.



1-rasm. Elektr dvigatelni stator chulg'amini temperatura grafigi.



2-rasm. Elektr dvigatelni ishchi grafigi.

Temperatura elektr yuritmani ishlash davomiyligini kamaytirib, chulg'am izolyatsiyasiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Elektr yuritmalarining ish jarayonida energiya bir qismi ulardagi isroflarni qoplashga sarflanadi. Energiya isroflarining barcha turlari issiqlikka aylanib, asosan elektr yuritmalarining aktiv qismlari temperaturasi oshirsa, uning bir qismi esa atrof muhitga uzatiladi.

Elektr yuritmalarining chulg'amlari magnit o'tkazgich elementlari va konstruktiv detallar majmuasidan iborat. Bu qismlarning issiqlik o'tkazuvchanligi, issiqlik sig'imi va sovitilish sharoitlari har xil bo'ladi. Bu esa, elektr yuritmalarini issiqlik maydoni taqsimlanishining murakkab xarakterda ekanligini ko'rsatadi.

Sanoat korxonalarining energiya samaradorligini oshirish metodologiyasi [6].

1- bosqich. Energiya resurslari iste'moli anomal yuqori bo'lgan korxonalarni aniqlash.

Interval baholash – bu energiya iste'moli ruxsat etilgan oraliqqa tushmaydigan korxonalarni aniqlash jarayonidir. Bunda energiya iste'mollari bo'yicha ma'lumotlarni tartiblash yo'li orqali ruxsat etilgan oraliq topiladi. Baholash natijasida tezkor energetika tekshiruvlarini o'tkazish uchun korxonalar ro'yxati aniqlanadi.

2- bosqich. Aniqlangan korxonalarda tezkor energetika tekshiruvlarini o'tkazish

Tezkor energetika tekshiruvi korxonaning haqiqiy energiya iste'moli, yoqilg'i-energetika resurslarini ortiqcha sarf etilishi sabablari, energiyani tejash salohiyatini aniqlash, shuningdek energiyani tejashga doir asosiy chora-tadbirlarni ishlab chiqish va energiya iste'moliga bo'ladigan sarf xarajatlarni kamaytirish imkoniyatlarini beradi.

3- bosqich. Aniqlangan korxonalarda investitsion energetika tekshiruvlarini o'tkazish

Investitsion energetika tekshiruvi – bu energiya samaradorligining texnik xususiyatlarini chuqurroq tahlil etadi va energiya tejamonkor chora-tadbirlarga sarmoya kiritish imkoniyatlarini ko'rib chiqadi. Investitsion energetika tekshiruvi davomida quyidagi faktorlar tahlil etilishi lozim: qurilmalarning murakkablik darajasi; xodimlarning qurilmalardan samarali foydalanish imkoniyatlari; elektromexanik qurilmalarning holati; ta'mirlashga va almashtirishga ketadigan xarajatlar va h.k. Investitsion energetika tekshiruvi doirasida asosiy faktorlar tahlili bilan birga ularning xavf darajasi va qo'shimcha xarajatlari baholanishi lozim. Bu xavflar barcha energetika loyihalarning moliyaviy tarkibida e'tiborga olinishi kerak.

4- bosqich. Aniqlangan korxonalarda energiya samaradorligi loyihasi amalga oshirish

Namunaviy energiya samarador chora-tadbirlar:

- Reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalarni o'rnatish;
- Eskirgan transformatorlarni zamonaviy turdagisiga almashtirish;
- O'zgaruvchan yuklama bilan ishlaydigan ob'ektlar(nasos stansiyalari va h.k.) elektr dvigatellari yuritmalarida chastotaviy rostdash qurilmalaridan foydalanish;

- Elektr energiyasi iste'molini monitoring qilish tizimlarini joriy qilish;
- Mavjud yoritish tizimini energiya samarador turiga almashtirish;
- Bino va inshootlarni ochiq ranglarga bo'yash, qo'shimcha elektr qurilmalardan foydalanishni kamaytirish va h.k.

5- bosqich. Energiya samaradorligi loyihasini bajarilish monitoring va nazorati

Loyihani muvaffaqiyatli yakunlanishining asosiy omili – bu uning uzluksiz tarzda nazorat va monitoring qilinishidir.

Monitoring va nazorat qilish amalga oshirilgan chora-tadbirlarning samarasini baholash imkonini yaratadi, ya'ni energiya iste'moli amalga oshirilgan chora-tarbirdan so'ng qanchalik kamayganligini baholab beradi.

Ushbu maqola sanoat korxonalarida energiya tejashning samarali usulini ko'rsatdi. Sanoat korxonalari elektr ta'minoti va elektr stansiyalarni raqamlashtirilgan tizimlarga o'tkazish va energiya tejamkor qurilmalardan ya'ni: reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish uchun kondensator batareyalari, quyosh panellari va shamol generatorlaridan foydalanish tavsiya etiladi. Kelajakda bunday modellarni avtomatlashtirilgan tizimlarda ishlatish tavsiya etiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Mirzaraximov.S.H Elektr energiyasi tejamkorligi. // «Academic Research in Educational Sciences».Vol.4.
- [2]. Tovboyev A.N., Norqulov A.O., Tog'ayev I.B. The equation of motion of subharmonic fluctuations in three-phase chains with three-phase ferromagnetic elements. International Journal of Advanced Studies in science, technology and technology. -India, copyright to the IJARSET volume 6. No. 10. October 2019, ppt. 11207-11210.
- [3]. Tovboyev A.N, Tog'ayev I.B, Nodirov G'.Y. Statistical analysis of power waste in 6-10 kV tension overhead electrical transmission lines // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. -India, volume 9. No. 11. November 2022, ppt. 2-7.
- [4]. Raxmonov I.U, Reymov K.M, Niyozov N.N, Najimova A.M, Maxmutxonov S.K. Elektr ta'minoti tizimida energiya tejamkorligi. Darslik. // "O'zbekiston xalqaro Islom akademiyasi" nashriyot-manba birlashmasi. Toshkent 2020 39-40 b
- [5]. Shodiyev.O.A, Yuldashev.E.U, Uralov.J.T, No'monov.A.B. Koveyr transportining energiya samaradorligini oshirish usullari va texnik yechimlarini ishlab chiqish. «Academic Research in Educational Sciences». Vol.4. February, 2023. 285-291 p .
- [6]. SKB Energy Company // Sanoat korxonalarining energiya samaradorligini oshirish metodologiyasi. https://skb.uz/sites/PEPP/index_uzb.html.

УДК 620.97(075.8)

ББК 31.15я7 И24

ҚАШҚАДАРЁ ВИЛОЯТИ ШАРОИТИДА ҚУЁШ-ГЕОТЕРМАЛ ИССИҚЛИК ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИНИНГ ЭНЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИ

Ш.Ю. Саматова, Ш.Г. Хамраев

*Қариши давлат техника университети
(Қабул қилинди 05.09.2025 й.)*

Аннотация: Ушбу мақолада атроф муҳитни турли хилдаги чиқитлар билан ифлосланаётгани сабабли дунёдаги энг глобал муоммоларни келтириб чиқармоқда. Атроф муҳитга иссиқлик ташиланмаларни камайитириши билан бирга бошқа турдаги электр ва иссиқлик энергиясини ҳосил қилувчи муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш давр талабидир. Муқобил энергия манбаларини жорий қилиш орқали шу куннинг энергия тақчиллигини бартараф этиш мумкинлиги ҳақида ёзилган бўлиб Қашқадарё мисолида геотермал манбадан фойдаланиш имкониятлари ёритилган.

Калит сўзлар: Қуёш энергияси; шамол энергияси; сув энергияси; геотермал энергия; биомасса энергияси, Бирлашган Миллатлар ташиклоти, ноанъанавий энергия, автоном истеъмолчи, коэффициент,

Аннотация: В данной статье рассматриваются наиболее глобальные проблемы в мире, связанные с загрязнением окружающей среды различными видами отходов. Актуальной задачей является сокращение выбросов парниковых газов и использование альтернативных источников

энергии, вырабатывающих другие виды электроэнергии и тепла. Показано, что существующий дефицит энергии может быть устранен путем внедрения альтернативных источников энергии, а также на примере Кашкадарьинской области показаны возможности использования геотермальных ресурсов.

Ключевые слова: солнечная энергия; энергия ветра; энергия воды; геотермальная энергия; энергия биомассы, Организация Объединенных Наций, нетрадиционная энергия, автономный потребитель, коэффициент,

Abstract: This article discusses the most global problems in the world due to the pollution of the environment with various types of waste. The need of the hour is to reduce greenhouse gas emissions and use alternative energy sources that produce other types of electricity and heat. It is written that the current energy shortage can be eliminated by introducing alternative energy sources, and the possibilities of using geothermal resources are highlighted on the example of Kashkadarya.

Keywords: Solar energy; wind energy; water energy; geothermal energy; biomass energy, United Nations, non-traditional energy, autonomous consumer, coefficient,

Кириш. Ўзбекистон шароитида қишлоқларда ва марказлашган энергия таъминоти тизимидан узокда жойлашган жойларда иссиқлик ва электр энергияси билан таъминлаш асосий муаммо ҳисобланади. Шунинг учун ҳам Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.М.Мирзиёев томонидан муқобил энергия манбаларидан Ўзбекистон шароитида қишлоқларда узлуксиз энергия таъминотини йўлга қўйиш бўйича вазифалар белгиланди [1].

Бирлашган Миллатлар ташкилотининг (БМТ) классификациясига кўра қуйидагилар ноанъанавий энергия турларига киради.

- 1) Қуёш энергияси;
- 2) Шамол энергияси;
- 3) Сув энергияси;
- 4) Геотермал энергия;
- 5) Биомасса энергияси.

Илмий тадқиқот ишининг назарий таҳлили.

Республикаимиз жанубий районларида қуёш энергиясидан фойдаланиш имкониятлари катта ва бу соҳада олимлар, мутахассислар ва конструкторлар томонидан бир мунча илмий ишлар, лойиҳалар ва ишланмалар ишлаб чиқилмоқда. Лекин, республикаимизда мавжуд бўлган ер ости иссиқ сув манбаларидан фойдаланишга етарлича аҳамият берилмаган. Фанда бундай сувлар – геотермал энергия манбалари дейилади. Қашқадарё вилоятининг Муборак ва Косон туманларида ер остидан 60÷70°C ҳароратли иссиқ сув (геотермал сув) чиқаётган энергия манбалари мавжуд. Бундай манбалар асосан чўл жойларда жойлашган бўлиб, аҳоли пунктларидан узокдалиги учун етарли аҳамият берилмайди. Лекин Фермер хўжалиги ва дала шийпонларининг иссиқлик таъминотида фойдаланиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Аҳоли бу сувдан ташиб келиш йўли билан маиший эҳтиёжлар учун ва ҳатто ичимлик суви сифатида истеъмол қилиш ҳолатларини кузатиш мумкин[2,3].

Илмий тадқиқот ишининг мақсади ва вазифаси. Қашқадарё вилояти табиий – иқлим шароитида мавжуд геотермал энергия манбалари асосида қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимини энергетик самарадорлигини аниқлаш ҳисобланади.

Илмий тадқиқот ишида қўйилган мақсадни амалга ошириш учун қуйидаги **вазифалар** шакллантирилган ва ечими амалга оширилган:

- геотермал иссиқлик таъминоти тизимларини таҳлил қилиш;
- Қашқадарё вилоятида мавжуд геотермал манбаларини аниқлаш ва геотермал иссиқлик таъминоти тизимининг самарадорлик коэффициентини ҳисоблаш;
- автоном истеъмолчи учун қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимининг принципиал схемасини ишлаб чиқиш;
- қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимини энергетик самарадорлигини ҳисоблаш.

Тадқиқот натижаларининг назарий ва амалий аҳамияти.

Илмий тадқиқот ишида геотермал энергия манбаларидан комплекс фойдаланиш

натижасида, геотермал иссиқ сув манбаи мавжуд ерларда кичик ҳажмли бир қаватли биноларни иситиш тизимида 60-80% гача бирламчи энергия тежалишига эришилади. Ишда олинган натижалардан фермер уйлари, дала шийпонлари ва қишлоқ уйлари иситиш тизимида фойдаланиш мумкин.

Илмий янгилиги. Илмий тадқиқот ишининг асосий илмий янгилиги қуйидагилардан иборат.

- биринчи марта Қашқадарё вилояти шароитида қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимининг принципаал схемаси ишлаб чиқилган ва асосланган;

- қуёш-геотермал иссиқлик таъминоти тизимининг энергетик самарадорлигини ҳисоблаш методикаси таклиф қилинган.

Илмий тадқиқот ишида биноларни иситиш тизимида ноанъанавий қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш самарадорлиги ва геотермал энергия ресурсларидан амалда фойдаланиш бўйича таклифлар берилди. Лекин, республикада мавжуд бўлган ер ости иссиқ сув манбаларидан фойдаланишга етарлича аҳамият берилмаган. Қашқадарё вилоятининг Муборак ва Косон туманларида ер остидан 60÷ 70 °С ҳароратли иссиқ сув (геотермал сув) чиқаётган энергия манбалари мавжуд. Бундай манбалар асосан чўл жойларда жойлашган бўлиб, аҳоли пунктларидан узоқдалиги учун иситиш ёки иссиқ сув таъминотида самарали фойдаланилмайди. Геотермал энергия ресурсларидан фермер хўжалиги ва дала шийпонларининг иссиқлик таъминотида фойдаланиш мақсадга мувофиқ ва амалда иссиқлик таъминоти тизимида қўлланилиши натижасида органик ёқилғиларни тежаш имконияти яратилади.

Тадқиқот объекти назарий ҳисоб иши

Геотермал иссиқ сувида мавжуд иссиқлик энергиясининг потенциалини аниқлайлик. 10 тонна сувни $t_1 = 18^\circ\text{C}$ дан $t_2 = 70^\circ\text{C}$ га қиздиришда қуйидаги миқдорда иссиқлик энергияси сарфланади:

$$Q = mC_p(t_2 - t_1) = 10000 \cdot 4,18(70 - 18) = 217,4 \cdot 10^4 \text{ кЖ} = 2174 \text{ Мж}.$$

Агар $1 \text{ кВт} \cdot \text{соат} = 3,6 \text{ Мж}$ эканлигини эътиборга олсак: $Q = 603,88 \text{ кВт} \cdot \text{соат}$ бўлади. Бир суткада эса: $Q = 603,88 \cdot 24 = 14493 \text{ кВт} \cdot \text{соат}$ ёки 52176 Мж суткада $\frac{52176}{29,31} = 1780 \text{ кг}$ шартли ёқилғи ёқилиши керак бўлади.

Юқорида бажарилган иссиқлик – техникавий ҳисоблар кўрсатадики, геотермал иссиқ сув энергиясида фойдаланиш ёқилғи – энергия ресурсларини тежаш имконини беради[2].

Илмий тадқиқотлар ва адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, Ернинг 3 км ли юқори сиртида 1020Ж электр энергияни ишлаб чиқаришга етадиган иссиқлик мавжуд. Бундай миқдордаги Ернинг иссиқлигини органик ёқилғиларга альтернатив сифатида қараш мумкин.

Халқаро Энергетика агентлиги (ХЭА) нинг классификацияси бўйича геотермал энергия манбалари 5 та турга бўлинади:

- 1) Геотермал курук буғ манбалари (конлари) (ГеоИЭС ларда фойдаланилади);

- 2) Геотермал нам буғ манбалари (иссиқ сув ва буғ аралашмаси);

Бундай манбалар кўп учрайди, лекин ишлатиш жараёнида коррозияни олдини олиш чораларини кўриш лозим.

- 3) Геотермал иссиқ сув манбалари;

- 4) Курук қаттиқ тоғжинслари, магма билан қиздирилган ҳолати (2 км дан чуқурда);

- 5) Эриган тоғ жинсларининг 1300°С гача қизиган магма ҳолатидаги энергия ресурслари.

Геотермал иссиқликни утилизация қилиш, ёки электр энергияга айлантириш орқали ишлатиш мумкин (ҳарорати 150°С дан юқори бўлса).

Геотермал иссиқ сув иссиқлигидан биноларни иситишда, теплицаларда, бассейнларда ва балиқ етиштиришда фойдаланиш яхши самара беради.

Геотермал энергиянинг асосий афзалликларидан бири йилнинг исталган суткасида ва соатларида атроф-муҳит параметрларига боғлиқ эмаслиги ҳисобланади.

Геотермал иссиқ сувлар “Турар жой бинолари ва иншоотларининг геотермал иссиқлик – совуқлик таъминоти” маълумотларига кўра қуйидагича классификация қилинади [3,4,6].

1. Ҳарорат бўйича:
2. Минерал таркиби бўйича:
3. Умумий қаттиқлиги бўйича:
4. Кислоталиги бўйича, pH
5. Газ таркиби бўйича:
6. Газ тўйиниши бўйича:

Юқоридаги таҳлиллар натижасида Қашқадарё вилояти шароитида ҳарорати $t = 60 \div 80^\circ\text{C}$ бўлган геотермал иссиқ сув энергиясидан иситиш тизимида фойдаланиш бўйича принципаал схемалар ишлаб чиқилди.

Илмий тадқиқот ишида ҳажми $V = 200\text{м}^3$ бўлган бинонинг геотермал иситиш тизимининг бир нечта вариантлари таклиф этилган.

Бажарилган ҳисоблар шуни кўрсатадики, бир йилда $B = 2000 - 3000\text{кг}$ шартли ёқилғи тежаш мумкин.

Агар геотермал сувнинг ҳарорати 50°C дан юқори бўлса, ундан иссиқ сув таъминоти тизимида қуйидаги оддий схемабўйича ифодалаш мумкин.

Бу схема бўйича геотермал сув кудукдан ўз босими билан бак – аккумуляторда тўпланади. Бакдан қувурлар ёрдамида ва насос орқали иссиқ сув таъминотига юборилади. Битта кудук $G = 1500\text{ м}^3/\text{сутка}$ дебит билан $60-65^\circ\text{C}$ ҳароратли сувни катта яшаш микрорайонига етказиб бера олади.

Агар кудукдан $G = 100\text{ м}^3/\text{сутка}$ сув ҳайдалса қуйидагича иссиқлик тежашга эришилади.

$$Q = G C_p \Delta t; \quad G = 100 \frac{\text{м}^3}{24 \cdot 3600} = 0,00115 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$$

$$Q = 0,00115 \cdot 4,18 \cdot 45 = 0,21 \text{кВт}$$

ёки

$$G = 4,16 \frac{T}{\text{соат}} \text{ бўлса}$$

$$Q = 4,16 \cdot 4,18 \cdot 45 = 783,75 \cdot 10^3 \frac{\text{кЖ}}{\text{соат}} = 783,75 \frac{\text{МЖ}}{\text{соат}} \text{ энергия тежалади, яъни бир соатда}$$

26,74 кг шартли ёқилғи, суткада эса 641,7 кг шартли ёқилғи тежалади. Норма бўйича бир одамга суткасига 100-120 литр иссиқ сув сарфланиши керак бўлади,

$$100 \frac{\text{м}^3}{\text{сутка}} = 100 \frac{T}{\text{сутка}} = 100000 \frac{\text{л}}{\text{сутка}}. \text{ Демак, } 1000 \text{ та одамни суткасига } 100 \text{ литрдан иссиқ}$$

сув билан таъминланди. Агар кудук дебити $G = 10 \frac{T}{\text{соат}}$ бўлса 100 та одамни таъминлаш

мумкин. Геотермал сувлар маълум даражада минераллашган ва газ билан тўйинганлиги сабабли коррозия ҳосил қилиши мумкин. Айниқса геотермал таркибида олтингугурт – водород, эриган CO_2 ва O_2 кучли коррозияни юзага келтиради[3].

Шу сабабли коррозияни камайитириш мақсадида турли ингибиторлар ва реагентлар сувга қўшилади. Масалан: Силикат натрий, фосфат натрий.

Қуйидаги схемада геотермал сувдан тўғридан – тўғри (бевосита) иситиш ва иссиқ сув таъминоти тизимида фойдаланиш усули келтирилган.

Бундай схемада мавжуд ҳарорат потенциалидан тўлиқ фойдаланиш ва сувни иқтисод қилиш мумкин[4].

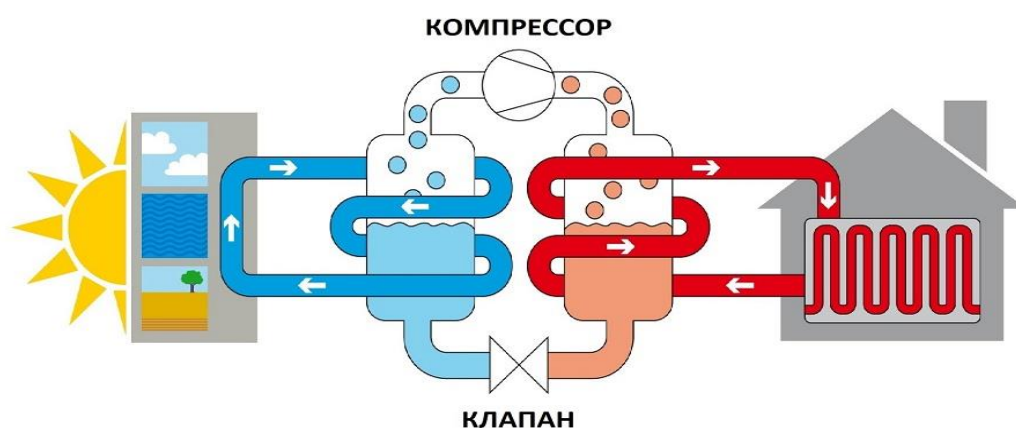
Лекин геотермал сувдан тўғридан – тўғри бевосита фойдаланишда сув – иссиқ сув

шаклида барча санитария талабларига жавоб бериши керак.

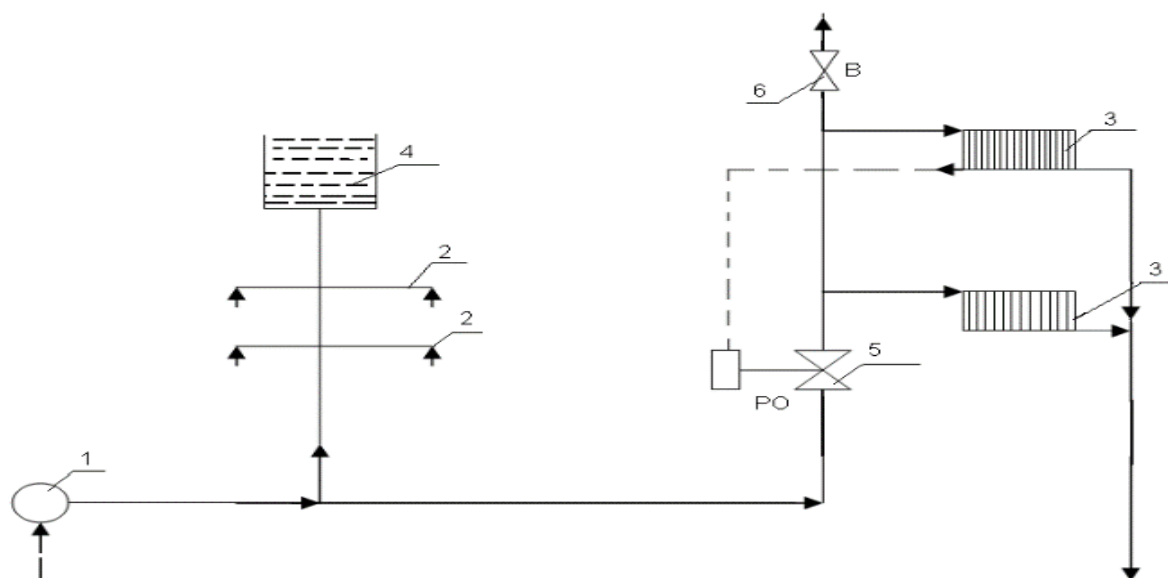
Қуйидаги расмларда бир қаватли бинонинг геотермал иситиш тизими схемалари келтирилган. Геотермал иссиқ сув энергиясидан фойдаланишнинг тизими қуйидаги афзалликларга эга:

- хусусий эҳтиёж учун қўшимча насослар талаб қилинмайди;
- сув иситиш қозонида ёқилғи ёқилмайди;
- экологик тоза ва атроф – муҳитга органик ёқилғилар ёнганда чиқариладиган зарарли газлар чиқарилмайди;
- иситиш тизимида циркуляция қилинадиган сув сарфи камаяди;
- энергетик самарадорлиги юқори.

Таклиф қилинган гелиогеотермал иситиш тизими қуйидаги асосий қурилмалардан ташкил топади (1.3-расм). 1–тиндиргич; 2–тузли сувни тозалаш фильтри; 3–геотермал кудук; 4–бетон плита; 5–сув насоси; 6–тиндиргич; 7–кран; 8–задвижка; 9–параболоцилиндрик концентратор; 10–иситиш батареяси.



1.1-расм. Геотермал иссиқ сув таъминотининг схемаси. 1 – скважина (кудук);
2 – бак – аккумулятор; 3 – иссиқ сув таъминотининг насоси;

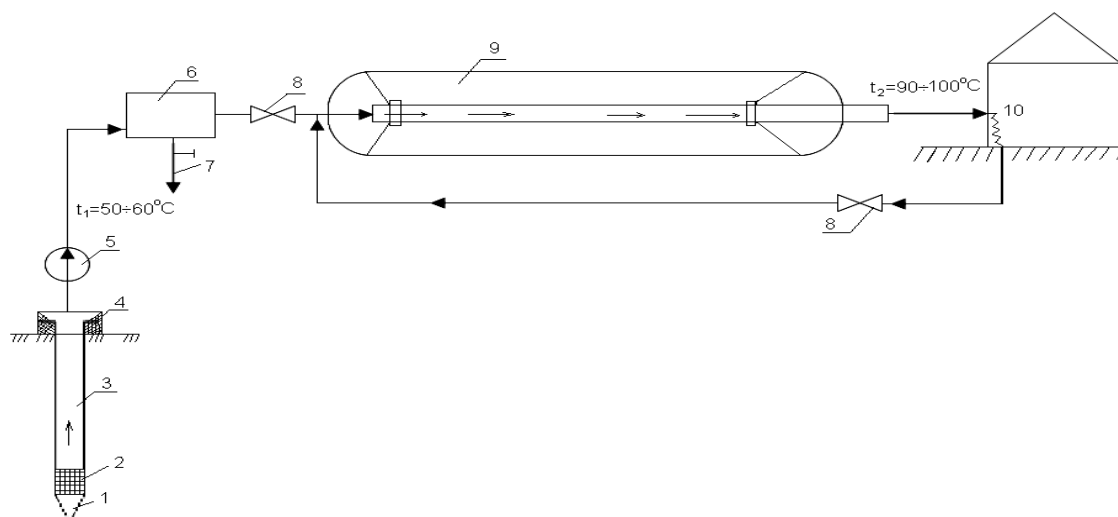


1.2-расм. Геотермал сувдан иситиш ва иссиқ сув таъминоти тизимида бевосита фойдаланиш схемаси.
1 – геотермал сув манбаи; 2 – сув тақсимлаш кранлари; 3 – иситиш асбоблари; 4 – бак – аккумулятор;
5 – РО – иситиш юкламасини ростлаш регулятори; 6 – ҳавони чиқариш вентили.

Бунда геотермал манбадан (1) иссиқ сув, иссиқ сувтақсимлаш кранлари 2 га ва бак – аккумуляторга 4 ҳамда 3 – иситиш асбобларига юборилади. Иссиқлик юклама РО – регулятор билан ростланади.

Таклиф қилинаётган усулнинг асосий камчилиги, сувнинг ҳарорати пасайганда, манбадан истеъмолчи узоклашганда ҳарорат режимини таъминлаш қийинлашади.

Геотермал иссиқ сув энергиясидан бевосита фойдаланиш усули энг оддий ва самарали ечимга эга бўлиб, бунда қўшимча иссиқлик алмашинув қурилмалари талаб қилинмайди.



1.3-расм. Гелиогеотермал иситиш тизими.

1–тиндиргич; 2–тузли сувни тозалаш фильтри; 3–геотермал қудуқ;

4–бетон плита; 5–сув насоси; 6–тиндиргич; 7–кран; 8–задвижка;

9–параболоцилиндрик концентратор; 10–иситиш батареяси.

Иситиш тизими қуйидаги тартибда ишлайди. Қиш ойларида яъни иситиш мавсумида геотермал қудуқдан сув (ҳарорати 50-70°C) тиндиргич 1, фильтр 2 орқали насос 5 билан 6 иккинчи тиндиргичга берилади. Сўнгра геотермал иссиқ сув қўшимча равишда (қуёшли кезларда) параболоцилиндрик концентратор 9 (ПЦК) да қиздирилади. ПЦК нинг умумий юзаси 10 м² бўлиб, қуёш радиацияси натижасида максимум қиш ойларида 4-5 кВт қўшимча иссиқлик олиш мумкин. Агар ($q_p = 400 - 500 \frac{Вт}{м^2}$) натижада 100°C ҳароратдан кам бўлмаган

иссиқ сув бинонинг иситиш тизимига 10 га берилади ва бинода оптимал ҳарорат режимини ўрнатишга имкон беради. Ёзги режимда система иссиқ сув таъминоти учун хизмат қилади[5].

Илмий тадқиқот объектини геотермал иссиқлик таъминоти тизимини энергетик самарадорлигини ҳисоблаш.

Биоларнинг иссиқлик таъминоти асосан иситиш тизими, иссиқ сув таъминоти ва вентиляция тизимларидан ташкил топади. Геотермал иссиқлик таъминотини жорий этиш учун аввал иссиқлик таъминоти тизимида иссиқлик энергиясини ҳисоблаш зарур бўлади[6]. Қуйида ҳисоб натижаларини келтираамиз.

Бинони иситиш ва вентиляция қилишда сарфланадиган иссиқликни ҳисоблаш қуйидаги кетма-кетликда бажарилди.

Бинони иситишда сарфланадиган иссиқлик миқдори қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$Q_{op} = a x_o V (t_{вн} - t_n); \quad (1)$$

Бунда, a – яшаш ва жамоат биолари учун тузатма коэффицент; x_o – иситиш учун бинонинг солиштира иссиқлик характеристикаси, $\frac{Ж}{м^3 \cdot соат \cdot ^\circ C}$ ёки $\left[\frac{ккал}{м^3 \cdot соат \cdot ^\circ C} \right]$; V –

бинонинг ташқи ҳажми; $t_{вн}$ – иситиладиган бинонинг ичкаридаги ҳавонинг ҳарорати, °C; t_n – бино жойлашган районнинг ташқи ҳаво ҳарорати, °C

$$a = (0,54 + 22)/(t_{вн} - t_n); \quad (2)$$

Илмий тадқиқот ишида бинони иситиш режимида қуйидагиларни қабул қиламиз:

$t_n = -8^\circ \text{C}$; Иситиш мавсуми – 132 сутка;

$t_{вн} = +18^\circ \text{C}$; бинонинг ҳажми - $V = 200 \text{ м}^3$.

$$a = \frac{0,54 + 22}{18 - (-8)} = \frac{0,76}{26} = 0,029$$

Яшаш бинолари учун солиш иссиқлик характеристикаси $V \leq 3000 \text{ м}^3$ учун

$$x_o = 1,76 \cdot 10^3 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{соат} \cdot ^\circ \text{C};$$

ёки $x_o = 0,41 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{соат} \cdot ^\circ \text{C}}$ га тенг.

$$Q_{op} = 0,029 \cdot 0,41 \cdot 200(18 + 8) = 61,82 \text{ ккал/соат};$$

Агар тузатма коэффициент $a = 1,45$ бўлса

$$Q_{op} = 1,45 \cdot 0,41 \cdot 200(18 + 8) = 3091 \frac{\text{ккал}}{\text{соат}}.$$

Иситиш учун бир йилда, яъни иситиш мавсумида сарфланадиган иссиқликни аниқлаймиз:

$$Q_{op}^{йил} = 3091 \frac{\text{ккал}}{\text{соат}} \cdot 132 \text{ сутка} \cdot 24 \text{ соат} = 9792288 \text{ ккал} \text{ ёки } Q_{op}^й = 9,79 \text{ Гкал}.$$

Иситиш учун сарфланадиган йиллик ёқилғи сарфи:

$$B_{йил} = \frac{\alpha Q_{op.ис} \cdot 10^6}{Q_n^p \cdot \eta_k}; \quad (3)$$

$B_{йил}$ – ёқилғининг йиллик сарфи, кг; α – ёқилғининг заҳира коэффициенти $\alpha = 1,1 \div 1,2$ қабул қилинади. $Q_{op.ис}$ – иситишда йиллик иссиқлик сарфи, Гкал. Q_n^p – ёқилғининг ёниш иссиқлиги, $\frac{\text{ккал}}{\text{соат}} \eta_k = 0,7 \div 0,8$ қозон қурилмасининг фойдалиш иш коэффициенти.

Ёқилғининг йиллик сарфини аниқлаймиз:

$$B_{йил} = \frac{1,2 \cdot 9,79 \cdot 10^6}{7000 \cdot 0,7} = 2448,9 \text{ кг}$$

ёки $B_{йил} = 2,448$ тонна шартли ёқилғи зарур бўлади. Бунда: $Q_{np} = 7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ – шартли ёқилғини ёқиш иссиқлиги.

Энди ҳақиқий ёқилғига нисбатан ҳисобни бажарамиз. Шартли ёқилғидан ҳақиқий ёқилғига ўтиш формуласи:

$$B_{ш.ё} = \frac{B \cdot Q_n^p}{Q_{ш.ё}^p} \text{ дан } B = \frac{B_{ш.ё} \cdot Q_{ш.ё}^p}{Q_n^p} = \frac{2448,9 \cdot 7000}{8260} = 2075,4 \text{ кг}$$

ёки йил ичида 132 суткалик иситиш мавсумида $V = 200 \text{ м}^3$ ҳажмли яшаш биносини иситиш учун $B = 2075,4 \text{ кг}$ ёки $B = 2,075$ тонна Муборак табиий газ сарфланади. Демак ҳисоблардан кўриниб турибдики, геотермал иситиш тизими, бир иситиш мавсумида $B = 2,0 \div 2,5$ тоннагача шартли ёқилғини тежаш имконини беради. Ҳозирги вақтда 1 м^3 газнинг нархи 36,6 сўм эканини эътиборга олсак: $60 \div 80$ минг сўмлик газни тежаш мумкин[7]. (2.1-жадвал).

Ҳисоб натижалари

т/р	Катталиклар	Белгила- ниши	Ўлчов бирлиги	Аниқлаш формуласи	Миқдори
1	Бинонинг ичкаридаги ҳарорати	$t_{вн}$	°C	Қабул қилинди	+18
2	Ташқи ҳавонинг ҳарорати	t_n	°C	Қабул қилинди	– 8
3	Иситадиган бинонинг ҳажми	V	м³	$V = a.b.h$	200
4	Бинони истиш учун сарфланадиган иссиқлик	Q	$\frac{\text{ккал}}{(\text{соат})}$	$Q_{op} = \alpha X V (t_{вн} - t_n)$	3091
5	Иситиш мавсуми давомийлиги	$t_{от}$	$\frac{\text{сумма}}{(\text{соат})}$	Район учун СНП қабул қилинади	132 (3168)
6	Бинони истиш учун йиллик иссиқлик сарфи	Q_{op}^y	Гкал	$Q_{op}^y = Q_{op} \cdot 3168$	9,79 ккал
7	Иситиш учун сарфланади- ган ёқилғининг йиллик сарфи (қозон иситиш мавсумида ишлаганда)	$B_{йил}$	кг(Т)	$B_{й} = \frac{\alpha \cdot Q_{op}^y \cdot 10^6}{Q_n^p \cdot \eta_q}$	2075,4 (2,075)
8	Геотермал истиш тизимида тежалган ёқилғи миқдори а) шартли ёқилғи б) ҳақиқий ёқилғи (Муборак газ)	$B_{ш}^y$ $B_{йил}$	кг кг	$B_{ш.ё} = \frac{9 \cdot Q_{np}^p}{Q_{ш.ё}^n}$	2448,9 2075,4

Хулоса.

Ҳажми $V = 200 \text{ м}^3$ бўлган бинони геотермал иситиш тизимининг бир нечта вариантлари таклиф этилган. Бажарилган ҳисоблар шуни кўрсатадики, бир йилда B 2000–3000 кг шартли ёқилғини тежаш мумкин. Геотермал сувлар маълум даражада минералларган ва газ билан тўйинганлиги сабабли коррозия ҳосил қилиши мумкин. Айниқса, геотермал сув таркибида олтингугурт-водород, эриган CO_2 ва O_2 кучли коррозияни юзага келтиради. Шу сабабли коррозияни камайтириш мақсадида ингибиторлар ва реагентлар сувга қўшилади. Геотермал иссиқ сув энергиясидан бевосита фойдаланиш усули энг оддий ва самарали ечимга эга бўлиб, бунда қўшимча иссиқлик алмашинув қурилмалари талаб қилинмайди.

Геотермал иссиқ сув манбаи мавжуд ерларда кичик ҳажмли бир қаватли бинолар (фермер уйлари, дала шийпонлари, пансионат, дам олиш уйлари) иситиш тизимида ушбу муқобил энергиядан фойдаланилса, 60 – 80% гача бирламчи энергия тежалишига эришилади. Натижада бир йилда атроф – муҳитга чиқариладиган зарарли газларнинг миқдори 1,5 – 2,0 бараварга камаяди.

Адабиётлар

- [1]. “Муқобил энергия манбаларини ўрнатиш бу – давлат сиёсати” — президент Ш.М.Мирзиёев нутқи [Ўзбекистон](#) 28.08.2024йил.
- [2]. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана и мира. – Тошкент «Фан ва технология», 2009 -464 с.
- [3]. Аллаев К.Р. Энергетика мира «Узбекистана» аналитический обзор. «Молия», - Т.: 2007 – 388 с.
- [4]. Захидов Р.А. Энергетика стран центральной Азии и роль возобновляемых источников энергии. // Гелиотехника, 2021. - № 3 с -91-101
- [5]. Авезов Р.Р. и др. Системы солнечного тепло и хладоснабжения. – М.: Стройиздат, 1990 – 328 с.
- [6]. Проценко В.П. Проблемы использования теплонасосных установок в системах централизованного теплоснабжения. // Энергетическое строительство, 1994, № 2
- [7]. Гликсон А.Л. Гелиосистемы и тепловые насосы в системах автономного тепло и холодноснабжения 2023г.// www.abok.ru.

o'tadigan energiya miqdori maksimal bo'lib hajmi havo qizdirgich quyosh kollektor quritgichining havo harorati va namligi quritish rejimi uchun mo'tadil bo'ladi.

Hajmiy havo qizdirgich quyosh kollektordagi issiqlik-namlik rejim tiniq yuza orqali o'tadigan quyosh energiyasi miqdoriga bog'liqdir. Va shunday qurilmaning tiniq yuzasi orqali o'tuvchi yig'indi energiya miqdori (4.1.1-rasmda) keltirilgan.

$$Q_{yon} = \sum_i (S_{Tyon} i + D_{So'm} i) F_{yu} \quad (1)$$

teng bo'ladi. Tiniq yuza orqali o'tuvchi to'g'ri radiatsiya:

$$S_{yTun} = S_{\perp} B_s + B_{si} B_{s2} B_{s3} B_{s4} = 0,8 \div 0,96 \quad (2)$$

Sochilgan o'tuvchi radiatsiya:

$$D_{o't} = D B_a, B_d = B_{d1} B_{d2} B_{d3} B_{d4} = 0,7 \div 0,9 \quad (3)$$

tiniq yuza orqali o'tadigan energiya S quyidagi qiymatga tengligi o'lchab aniqlandi.

Qarshi shahri $\varphi=39^0$, $kJ (m^3 soat)$ (1-jadval) 2023 yil

1-jadval

t^0_{grad}	Kun, oylar						
	18/V	20/VI	15/VII	20/VIII	15/IX	15/X	15/XI
0	2750	3150	3180	2980	2800	2700	2400
15	2650	2950	3020	2850	2650	2650	2350
30	2540	2820	2880	2740	2500	2500	2280
45	2500	2750	2800	2410	2430	2430	2200

Shuningdek suvli bakning joylashishiga undagi issiqlik fizikaviy parametrlarini o'zgarishiga ta'sir etuvchi issiq havoning konvektiv harakatini tadqiq etishni talab etadi. Mavjud quyosh energiyasidan foydalaniladigan quritgichlarda turli xil issiqlik akkumulyatorlardan foydalanish tizimlariga nisbatan muvofiqligi taqqoslanib o'rganilgan izlanishlarni natijalari keltirilgan[1]. Quyosh energiyasidan qishloq xo'jalik mahsulotlarini quritishda foydalanib mikroiklim rejimini yaratishda issiqlik akkumulyatorlarni samarali ishlashini na'minlash muhim rol' o'ynaydi. Havo bilan suvli bak issiqlik akkumulyator orasida issiqlik almashinivuni intensivligini takomillashtirish uchun suvli bak issiqlik akkumulyatorni tomonlarini quyosh tomonga qaratilganligi tanlash muhimdir. Suvli bak issiqlik akkumulyatorni o'lchamlarini optimallashtirish maqsadida tizimli eksperimental va nazariy va tadqiqotlar olib borildi. Suvli bak issiqlik akkumulyatorni issiqlik akkumulyatsiyalash jarayonidagi radiatsion va issiqlik rejimlari eksperimental tadqiqotlar asosida hisoblanadi va akkumulyator konstruksiyasi ishlab chiqildi (1-rasm).

1-mevalarni radiatsion – konvektiv usulda quritishga mo'ljallangan quyosh hajmiy havo qizdirish kollektori; 2-quyosh hajmiy havo-qizdirish kollektoriga tashqi havo oqimi kirish darchasi; 3-Polietilen plyonka; 4-Havo qizdirish kollektorini qoraga bo'yalgan tagligi; 5-Quyosh nur energiyasi ta'sirida qizigan havo oqimini hajmiy kollektoridan mahsulot quritish kamerasiga haydovchi ventilyator; 6-kollektor moduli; 7-issiqlik havo oqimi to'liqlarini taqsimlanishi; 8-havo uzatish quvurlari; 9-havo oqimi temperaturasi va sarfini avtomatik nazorat qiluvchi datchik; 10-qoraga bo'yalgan taglik; 11-issiqlik saqlovchi qatlam; 12-mevalar yoyilgan stelaj-patnos; 13-Rekyperativ jarayonni boshqarish qurilmasi; 14-quyosh paneli; 15-quyosh hajmiy havo qizdirgich kollektorida joylashtirilgan suvli bak issiqlik akkumulyator; 15-mevalarni konvektiv usulda quritish kamerasi; 16-mevalarni konvektiv usulda quritish kamerasi; 17-Quyosh quritgichida soyagi (urug'siz) uzumlarni quritish jarayonida chiqadigan havoni tarkibidagi namlikni yutish xossasiga ega bo'lgan absorber.

Natijalar va muhokamalar

Issiqlik akkumulyatorining samaradorligini analitik va eksperimental tadqiqot natijalariga muvofiq aniqlanibshu asosda issiqlikni akkumulyatsiyalash jarayoni tadqiq qilindi. Issiqlik akkumulyatorining samarador ish rejimini xarakterlovchi optimal o'lchamini tanlashva uning

yuqori samaradorlik jarayonini ifodalovchi tenglamalardan foydalanishni talab etadi[3,4,5]. Atrof-muhit bilan gelioquritgich ichidagi hajmiy havoning o'zaro ta'sirlashishi natijasida issiqlik tashuvchi issiqlik akkumulyatorlar qalinligini oshirish asosida erishish mumkin. Suvli bak issiqlik akkumulyator qalinligini tanlashda gelioquritgich ichidagi hajmning havo temperatura rejimini mo'tadilligini ta'minlanishi sutka davomiyligi asos qilib olindi.

Quritish kamerasiga o'tuvchi quyosh radiatsiyasi quritiladigan mahsulotga va yo'qoladigan issiqlik miqdorini o'rnini to'ldirishga sarflanadi.

$$Q_{o't} = Q_{bug'} + Q_{ik} \quad (4)$$

bu yerda quritiladigan mahsulotga beriladigan issiqlik miqdori:

$$Q_{km} = Q_{bug'} + Q_e + Q_{ken} \quad (5)$$

bu yerda

$Q_{bug'}$ - mahsulot tarkibidagi suvni bug'lantirishga;

Q_e – erish konveksiyada havoni tarkibidagi namlikka aylanishga;

Q_{ken} – bug' miqdorini kengaytirishga sarflanadi;

Shuningdek, gelioquritgich ichidagi issiqlikni yo'qolishini kompensatsiyalash uchun sarflanadigan energiya miqdori;

$$Q_{is} = Q_{iy} + Q_{ak} + Q_n \quad (6)$$

teng bo'lib, $Q_{bug'}$, Q_e , Q_{ken} , Q_n lar quritish kamerasida quritiladigan mahsulotni joylashtirilganligiga bog'liq bo'ladi. Bu yerda Q_{ak} - quyosh energiyasi suvli akkumulyatorda to'plangan issiqlik miqdoriga va qurilma tuprog'ida to'planishi, ya'ni akkumulyatsiyalanishiga bog'liq kattalik.

$$Q_{ok} = A_{yu} Q_{o't} Z_k - \alpha_k (t_i - t_k) F_{10} \quad (7)$$

tenglik orqali aniqlanadi. Qurilma orqali issiqlik yo'qolishi

$$Q_{iy} = Q_k + Q_v + Q_{ir} + Q_{er} + Q_{to'p} \quad (8)$$

formuladan aniqlanadi.

Qurilmaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti K_0

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x} + \sum \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_1}} \quad (9)$$

orqali aniqlanadi. Havo oqimi orqali issiqlik yo'qolish miqdori

$$Q_k = \frac{G_{ma} (I_i - I_T)}{\tau} \quad (10)$$

ifodalanadi.

Ichki va tashqi ental'piyalari

$$\begin{aligned} I_E &= C_p t_i + (r_\delta t + C_n t_x) X_{ich} \\ I_T &= C_p t_T + (r_\delta t - C_n t_x) X_T \end{aligned} \quad (11)$$

formulalar yordamida aniqlanadi. Quritish kamerasida havo harakatini sarfi:

$$G_{Tx} = \frac{\Delta C_{Ti}}{(X_{ip} - X_T)} \quad (12)$$

bundan ichkaridagi va tashqaridagihavoning nam saqlash miqdori:

$$X_{ich} = 0,622 \cdot \frac{P_n(t_x)}{P - P(t_x)} \quad (13)$$

$$X_T = 0,622 \cdot \frac{P_n(t_x)}{P - P(t_1)} \quad (14)$$

qurilmaning tirqishlari orqali infil'tratsiya tufayli issiqlik yo'qolishi

$$Q_f = K_u (\rho_T - \rho_{ich}) Q_R \quad (15)$$

bu yerda $K_u=1$.

Nurlash asosida issiqlik yo'qolishi []

$$\left[\left(\frac{T_T}{100} \right)^4 \{0,27 - 5,25 \cdot 10^{-5} P_m(t_T)(1 - Cn_0)\psi_1 - 1\} + \left(\frac{T_{op}}{100} \right) \right] \psi_2 F_0 \quad (16)$$

Quyosh meva sabzavot quritish kamerasida issiqlik balans tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$C_x p_x V_x \frac{dt_x}{d\tau} = \sum_i \alpha_m (t_m - t_x) F_m + \sum_i \alpha_m (t_m - t_x) F_m - \sum Q_{mi} \quad (17)$$

shuningdek qurilmaning tuprog'ida va suv issiqlik akkumulyatorida issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli issiqlik to'lqinlarini singishi:

$$\frac{dt_i}{d\tau} = \alpha_i \frac{d^2 t_2(x_i \tau)}{dx^2} \quad (18)$$

$y=0$ chegara shartlariga asosan

$$-\lambda_n \frac{dt_i}{dy} = \frac{A_k Z_k Q_k}{\sum_i F_m - \alpha_m (t_m - t_x)} \quad (19)$$

agar $y=\delta \rightarrow t_m(x, \tau) = const$ bo'lsa

$$-\lambda_n \frac{dt_i}{dy} = 0 \quad (20)$$

teng bo'lib, $x=0$ bo'lganda esa

$$-\lambda_n \frac{dt_i}{dy} = A_m Q - \alpha_m (t_m - t_x) \quad (21)$$

formula bilan ifodalanadi.

$$C_{oi} G_{oi} \frac{dt_{oi}}{d\tau} = A_{oi} Q F_{oi} + \alpha_{xi} (t_x - t_{oi}) F_m - \alpha_{Ti} (t_{oi} - t_T) F_{oi} \quad (22)$$

konveksiya tufayli

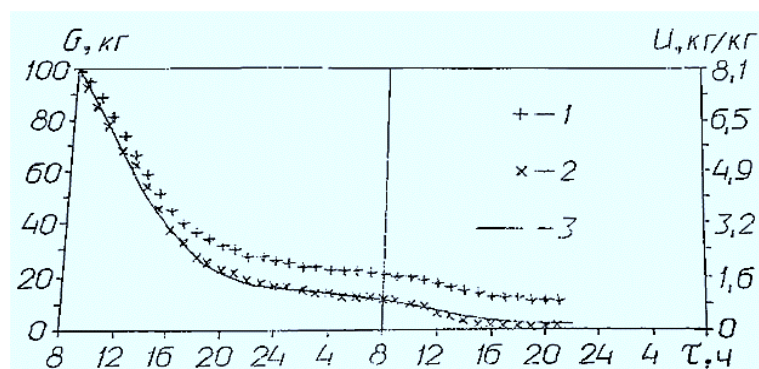
$$C_{oi} G_{oi} \frac{dt_{oi}}{d\tau} = \alpha_{mi} (t_m - t_x) F_{mi} - Q_{ural} \quad (23)$$

va quritish kamerasida massa balansi

$$V_y \frac{dt_x}{d\tau} = P_x V_x - p_T P_T - \beta p_x (x_m - x_x) F_m \quad (24)$$

Hamda quritiladigan mahsulot massa balansi

$$\frac{dG_i}{d\tau} = \beta p_x (x_m - x_x) F_m \quad (25)$$



2-rasm. Suv issiqlik akkumulyatorli hajmiy havo qizdirgich quyosh kollektorida baqlajonni radiatsion-konvektov usulda quritish kinetikasi grafikda yoritildi.

G-baqlajonni massani o'zgarishi va U-namsaqlash darajasi, 1-G. 2-4tajriba, 3-(13, 14 –formulalar)da nazariy hisoblab algoritimga joylashtirildi va MATLAB /SJMLYK dasturi asosida hisoblandi (19-22 iyul 2024 yil).

bu yerda β - quritiladigan qovun qirqimini massa berish koeffitsiyenti, m/s , X_m , X_x – qovun qirqimi joylashgan stelajlarning ostki va tashqi havo oqimining namsaqlash miqdori, G/kg ; F_m – stepajlarga joylashtirilgan qovun qirqimlarini yuzasi, m^2 ; P_x – qovun

qatlamlari orqali o'tadigan issiq havo oqimining bosim o'zgarishi N/m^2 .

Xulosa. Demak (24), (25) formulalar va natijalar MATLAB/ SMULJK dasturidan foydalanib modellashtirish tizimi hajmiy havo qizdirgich quyosh kollektor –akkumulyatorli quyosh quritgichida baqlajon qirqimlarini quritish kinetikasi nazariy hisoblashlar va tajriba tadqiqotlarining natijalari 2-rasmdagi grafikda yoritildi. Baqlajon qirqimlarining uzunligi $l=1\text{ sm}$, qirqim kengligi $0,3\text{ sm}$ bo'lib, har 1 m^2 stapajga 8 kg dan joylashtirildi va jami $6,0\text{ m}^2$ stepajlarga 48 kg baqlajon qirqimlari yoyildi.

Hajmi havo qizdirgich kollektor-issiqlik akkumulyatorli quyosh quritgichining radiatsion-konvektiv usulda qovun qirqimlarini tabiiy havo sirkulyatsiyasi jarayonida issiq havo oqimi tezligi o'rtacha $g_{o'rt}=0,56\text{ m/s}$ bo'lib, quritish jarayoni 2 sutka davom etadi. Mahsulotning nam saqlash miqdori $G=26\div28\%$ ga etadi.

Adabiyotlar

- [1]. В.Д. Ким, Б.Э. Хайриддинов, Б.Ч. Холлиев. Естественная конвективная сушка плодов в солнечных сушильных установках: практика и теория. Т. «Фан» 1999. 284 бет.
- [2]. С.М. Хужакулов, Ш.Х. Эргашев, И.Н. Неъматов, Б.Э. Хайриддинов. Модел теплового баланса Гелиотеплицы-сушилка с водяным аккумулятором тепла // ILM SARCHASHMALARI Urgench 2024, № 1 10-13 с.
- [3]. В.А. Григорьев Разработка аккумуляторов тепла с зернистым теплоносителем и методы их расчета на зернистым математического моделирование И.В. Григорьев. М.: 2003 147 с.
- [4]. Yu.G.Kolomiyets, Efficiency of Solar Energy Utilization for Water Heating on the Russian Federation Territory / Yu. G. Kolomiyets, O.S. Popel, S.E. Fnd International Scientific diurnal for Alternative Energy and Ecology 2009 №6. P. 16-23.
- [5]. 5.А.И. Олышанский Экспериментальные в процессе конвективной сушки тонких влажных материалов/ А.И. Олышанский, С.В. Жерносок, А.М. Гусаров // Энергетика Изв. высш. учеб. заведений и энергий объединений СНГ 2018 Т. 61. №6. С. 564-578.
- [6]. Б.Дж. Бабаев. Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазопереходным аккумулированием тепла/ Б.Дж. Бабаев Махачкала. 2016. 345 с.
- [7]. Б.Э. Хайриддинов, И.Л. Неъматов. Модель динамического режима системы солнечного отопления с аккумулятором тепла. Материалы Международной научной конференции «Тенденции развития физики конденсированных сред» Фергана, 25 май 2021. Часть 2 с. 307-312.
- [8]. Н.К. Zayniddinov, SH.K. Niyozov , SH. Ashirova, P.SH. Daminov, E. Ikramxonov “Qayta tiklanuvchan va muqobil energiyadan foydalanish istiqbollari. “The modern problems of zenewable energy sources and sustainable environment” materials of international conference. Tashkent, S Eptember 25-27 th. 2019.
- [10]. В.Д. Ким, Б.Э. Хайриддинов Солнечная сушки овощей процессы тепло и влагопереноса, радиационным и температурно-влажностные режимы Т.: «Фан» 2000 141 с.
- [11]. Эльсебай А.А., Шалабы С.М. Солнечная сушка сельскохозяйственных продуктов.// Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики. Обзор, 2012 с 37-43.
- [12]. Mojol O.O. Solar drying of a crop in the conditions of low humidity. International Journal of Energy research. 1987. 11(3). p. 333-342
- [13]. Ampratvum D.B., Dorvlo A.S. Evaluation of the solar cabine dryer as an air heating system. Applied Energy 1987. 11(3). p. 63-71.

STATSIONAR BO'LMAGAN YORUG'LIK SHAROITIDA FOTOELEMENTLARNING GREEN FUNKSIYASI ASOSIDAGI DINAMIK MODELLASHTIRISHI

Q.Sh. Mamarasulov

Farg'ona davlat texnika universiteti

Email: mamarasulovqudratillo7@gmail.com , tel +998917709704

(Qabul qilindi 15.09.2025 y.)

Annotatsiya. Maqolada statsionar bo'lmagan yorug'lik sharoitida (yorug'lik spektri va intensivligi impulsiv xarakterga ega bo'lgan) quyosh elementi ichidagi zaryad taqsimoti vaqt bo'yicha o'zgarib turishi ko'rsatilgan. Bunday dinamik holatni aniqlash uchun zarur bo'lgan taqsimot tenglamalari, Green funksiyasi usuli orqali yechilgan. Ishda Green funksiyalari yordamida quyosh elementi ichidagi ko'p funksiyali differensial va integral tenglamalar yechimi haqida nazariy asoslar bayon qilinadi. Ushbu maqolada,

nostatsionar sharoitda fotoelementning hajmida ro'y beradigan fizik jarayonlari va parametrlarini nazariy modellashirish, hamda olingan natijalarni tahlil qilishga e'tibor qaratildi. Fotoelementlardagi zaryad tashuvchilarning statsionar bo'lmagan yorug'lik sharoitidagi fazoviy-vaqt bo'yicha tarqalishini simulink muhitida modellashirish amalga oshirilgan. Modellashirishda fotogeneratsiya, diffuziya va rekombinatsiya jarayonlarini tavsiflovchi Green funksiyasi, generatsiya tenglamasi va tok-kuchlanish (I-V) modeli asosida fizik jarayonlar ifodalandi. Simulyatsiya natijalari asosida $J(t)$, $U(t)$, $I(t)$ va dU/dt signallari tahlil qilingan. Impulsli yoritish sharoitida turli yutilish koeffitsientlari ($\alpha_0 = 50, 120, 250, 380, 440 \text{ sm}^{-1}$) uchun spektrni yig'ish koeffitsienti $Q(t)$ ning vaqtga bog'liqligi tahlil qilingan. Simulyatsiya natijalari $Q(t)$ ning o'sish va pasayish fazalarini hamda α_0 ortishida yig'ilish jarayonidagi farqlarni aniq ko'rsatib berilgan. Bu natijalar fototok modellashirishdagi dispersiya va rekombinatsiya jarayonlarining ahamiyatini yanada chuqur tushunishga yordam beradi. Ish yakunida Simulink modeli va grafiklar asosida olingan natijalar umumlashtirilib, tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: Nostatsionar, yorug'lik, fotoelement, Green funksiyasi, diffuziya, modellashirish, zaryad tashuvchi, generatsiya, rekombinatsiya

Abstract. The article shows that the charge distribution inside a solar cell changes with time under non-stationary lighting conditions (with an impulsive light spectrum and intensity). The distribution equations necessary to determine such a dynamic state are solved using the Green's function method. The paper presents the theoretical foundations for solving multi-functional differential and integral equations inside a solar cell using Green's functions. This article focuses on the theoretical modeling of physical processes and parameters occurring in the volume of a photovoltaic cell under non-stationary conditions, as well as the analysis of the results obtained. The spatio-temporal distribution of charge carriers in photovoltaic cells under non-stationary lighting conditions was modeled in the Simulink environment. The modeling represented physical processes based on the Green's function, the generation equation, and the current-voltage (I-V) model, which describe the processes of photogeneration, diffusion, and recombination. Based on the simulation results, the $J(t)$, $U(t)$, $I(t)$ and dU/dt signals were analyzed. The time dependence of the spectral collection coefficient $Q(t)$ for different absorption coefficients ($\alpha_0 = 50, 120, 250, 380, 440 \text{ cm}^{-1}$) under pulsed illumination was analyzed. The simulation results clearly show the growth and decline phases of $Q(t)$ and the differences in the collection process with increasing α_0 . These results help to further understand the importance of dispersion and recombination processes in photocurrent modeling. At the end of the work, the results obtained based on the Simulink model and graphs were summarized and analyzed.

Keywords: Nonstationary, light, photocell, Green's function, diffusion, modeling, charge carrier, generation, recombination

Аннотация. В статье показано, что распределение заряда внутри солнечного элемента изменяется со временем при нестационарных условиях освещения (импульсном спектре и интенсивности света). Уравнения распределения, необходимые для определения такого динамического состояния, решаются с помощью метода функций Грина. В работе представлены теоретические основы решения многофункциональных дифференциальных и интегральных уравнений внутри солнечного элемента с использованием функций Грина. Данная статья посвящена теоретическому моделированию физических процессов и параметров, происходящих в объеме фотоэлектрического элемента в нестационарных условиях, а также анализу полученных результатов. Пространственно-временное распределение носителей заряда в фотоэлектрических элементах в нестационарных условиях освещения моделировалось в среде Simulink. Моделирование представляло собой физические процессы, основанные на функции Грина, уравнении генерации и вольт-амперной (ВА) модели, которые описывают процессы фотогенерации, диффузии и рекомбинации. На основании результатов моделирования был проанализирован сигнал $J(t)$, $U(t)$, $I(t)$ и dU/dt . Проведен анализ временной зависимости спектрального коэффициента сбора $Q(t)$ для различных коэффициентов поглощения ($\alpha_0 = 50, 120, 250, 380, 440 \text{ см}^{-1}$) при импульсном освещении. Результаты моделирования наглядно демонстрируют фазы роста и спада $Q(t)$, а также различия в процессе сбора с ростом α_0 . Эти результаты способствуют дальнейшему пониманию важности процессов дисперсии и рекомбинации при моделировании фототока. В конце работы результаты, полученные на основе модели Simulink и графиков, были обобщены и проанализированы.

Ключевые слова: Нестационарный, свет, фотоэлемент, функция Грина, диффузия, моделирование, носитель заряда, генерация, рекомбинация.

Kirish

Quyosh elementlari yarimo'tkazgich p-n o'tishishi bo'ylab yorug'lik nuri ta'sirida, elektron-kovak juftlarini hosil qiladi [1]. Ishlash tamoyili fotovoltaiik effektga asoslanadi, unda nurning p-n

o'tishishi ichida yutilish natijasida elektron va kovak larni hosil qiladi. Yorug'lik spektri va intensivligi vaqt bilan o'zgarishi (masalan, quyosh burchagi, bulutli ob-havo) sharoitida quyosh elementidagi tok va kuchlanish vaqt bo'yicha o'tkinchi javob hosil qiladi. An'anaviy modellash ko'pincha doimiy yorug'lik sharoitini hisobga oladi. Ammo, haqiqiy sharoitlarda nostatsionar yorug'lik modellashtirilishi talab etiladi. Shuning uchun hozirgi tadqiqotlarda quyosh elementining vaqtga bog'liq dinamikasi modeli va fotoyacheyka ichidagi zaryadlar taqsimotini aniqlash muhimdir[2]. Fotovoltaik elementlarning asosiy xusu siyatlari va ishlash prinsipi haqidagi nazariy tavsiflar keng tarqalgan. Ular fotovoltaik effektni nurning yutilishi, hosil qilingan zaryadlarning ajralishi va harakatlanishi jarayonlariga bo'ladi[3]. Quyosh fotoelementlarida samaradorlikni oshirish uchun sezuvchi qatlamning o'lchamlari va material tarkibi (masalan, qalinlik, qatlamlararo interfeyslar) bilan bog'liq masalalar, shuningdek, aks ettirishni kamaytiruvchi antireflektili qoplama dizayni (masalan, optimal qoplama qalinligi va material tanlovi) masalalari batafsil tahlil qilinadi. Green funksiyasi usuli PDE(qisman hosilali differensial tenglama)larni yechishda an'anaviy usul bo'lib, fotoyacheyka taqsimotini aniqlashda qo'llaniladi[4]. Blaj va hamkasblari [5] n va p tipli fotoelementda nostatsionar holat tenglamasi Green funksiyasi yordami bilan yechib, ichki kvant aniqligini vaqt funksiyasida o'rganganlar. Ular vaqt bo'yicha o'tkinchi holatda ichki kvant samaradorlik va difuzion optik ko'paytiruvchilarning o'zgarishini aniqlagan. Texnologiyadagi ilg'or modellar orasida IonMonger kabi matlabga asoslangan simulyatorlar mavjud. Masalan, Courtier va boshq. [6] IonMonger kodida vaqtga bog'liq yorug'lik va kuchlanish protokollarini belgilash imkoniyati yaratilgan. IonMonger 2.0 esa spektr bo'yicha yorug'lik va dinamik shartlarni kiritishga mo'ljallangan bo'lib, rangli yorug'lik tahlilini va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan yorug'likni modellashtirishni qo'llab-quvvatlaydi[7]. Umuman olganda, adabiyotlarda Green funksiyasi, elektromagnit va zaryad taqsimoti tenglamalari yechimida qo'llanilishi ta'kidlangan. Shu bilan birga, kuzatuv misol sifatida Gazeley va McGrath [8] fotodiod bo'yicha ichki kvant samaradorlikni hisoblashda Green funksiyasi yondashuvidan foydalangan.

Shu tariqa, fotoelementlarning sanoatdagi ahamiyati va ilmiy tadqiqotlardagi dolzarbligini inobatga olgan holda, ularning ish rejimini chuqurroq tushunish talab etiladi[9]. Xususan, real sharoitlarda quyosh nurlanishi doimiy emas – bulutlar soyasi, chaqmoqli holatlar, mavsumiy va sutkalik tebranishlar, impulsli yoritish va b.sh. tufayli yorug'lik kuchi va spektri vaqt bo'yicha o'zgarib turadi [10]. Statsionar bo'lmagan yoritish sharoitida fotoelementlarning xatti-harakatini o'rganish muhim ilmiy va amaliy masala hisoblanadi. Ushbu maqolada shunday sharoitda fotoelementning fizik jarayonlari va parametrlarini nazariy modellashtirish hamda olingan natijalarni tahlil qilish maqsadi oldinga qo'yilgan. Model yaratishda differensial tenglamani yechish uchun Green funksiyasi apparatidan foydalanildi, natijalardan fotoelementning vaqt bo'yicha volt-ampere xarakteristikalarini hisoblash va dinamik samaradorligini baholash uchun foydalandi. Quyida fotoelementning fotogeneratsiya, diffuziya va rekombinatsiya jarayonlari asosida tuzilgan model tafsilotlari, yechim usullari hamda olingan vaqt bo'yicha o'zgaruvchan tok, kuchlanish va boshqa natijalarning tahlili keltiriladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Fotogeneratsiya jarayoni. Fotoelement asosini tashkil etuvchi yarimo'tkazgich (masalan, kremniy) quyosh nuri ta'sirida undagi atomlar valent zonasidan o'tish zonasiga elektronlarni ko'chiradi. Natijada erkin elektron va kovak (elektron o'rni) juftlari hosil bo'ladi[11].

Fotogeneratsiya jarayoni quyidagi tenglama bilan ifodalash mumkin:

$$g(x, t) = \alpha \cdot E \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

Bu yerda $\alpha=10^4 \text{ sm}^{-1}$ – so'rilish koeffitsiyenti, E – yorug'lik intensivligi, x – chuqurlik koordinatasi.

Ushbu fotogeneratsiya jarayoni nurlanishning spektri va yarimo'tkazgichning yutilish xususiyatlariga bog'liq. Har bir to'lqin uzunligi uchun yarimo'tkazgichda yutilish ko'rsatkichi mavjud bo'lib, yorug'lik intensivligi moddaga kirgan sari $I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$ qonuniyat bilan eksponensial kamayadi. Demak, yorug'lik, asosan, sirdan ma'lum bir singish chuqurligi ($1/\alpha$ ga teskari) oralig'ida yutiladi va aynan shu hududda elektron-kovak juftlari generatsiyasi sodir bo'ladi.

Fotogeneratsiya tezligi $g(x,t)$ (birlik hajmdagi yangi hosil bo'lgan zaryad tashuvchilar soni) nur intensivligi va α ga bog'liq bo'lib, yoritish vaqtinchalik o'zgarsa (t bo'yicha), $g(x,t)$ ham vaqt funksiyasidir. Masalan, bir martalik yorug'lik impulsi ta'sirida $g(x,t)$ qisqa vaqt oralig'ida maksimumga erishib, so'ngra nolga qaytadi; davriy tebranuvchi nurlanish ostida esa, $g(x,t)$ muayyan chastotada o'zgarib turadi, va h.k[12]. Fotoelement modelimizda $g(x,t)$ funksiyasi berilgan tashqi ta'sir (yorug'lik manbai rejimi) sifatida kiradi.

Diffuziya va rekombinatsiya. Hosil bo'lgan erkin elektron va kovaklar yarimo'tkazgich ichida harakatlanib, diffuziya jarayonini hosil qiladi. Yuqori konsentratsiyali hududdan past konsentratsiyaga tomon zarrachalarning tarqalishi diffuziya tenglamasi orqali ifodalanadi[13]. Yarimo'tkazgich uchun diffuziya tenglamasining umumiy ko'rinishi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\frac{\partial \Delta n(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \Delta n(x,t)}{\partial x^2} - \frac{\Delta n(x,t)}{\tau} + g(x,t) \quad (2)$$

Bu yerda $\Delta n(x,t)$ – muvozanatdan chetlangan ortiqcha yuk tashuvchilar (fotoinduksiyalangan elektron yoki kovaklar) konsentratsiyasi, D – diffuziya koeffitsienti, τ esa yarimo'tkazgichdagi elektronlarning yoki elektron-kovak juftining o'rtacha yashash muddati. Tenglamaning o'ng qismidagi $D \frac{\partial^2 \Delta n(x,t)}{\partial x^2}$ had diffuziya oqimini, $g(x,t)$ – fotogeneratsiyani, $\frac{\Delta n(x,t)}{\tau}$ esa rekombinatsiya jarayonini matematik tavsiflaydi. Rekombinatsiya – erkin elektronning kovak bilan rekombinatsiyalanib, yana bog'langan holatga o'tishi – natijasida avval hosil bo'lgan erkin zaryadlar yo'qoladi va issiqlik yoki ikkilamchi nurlanish ko'rinishida energiya ajraladi. τ asosan, yarimo'tkazgichning tozaligi, nuqsonlar soni va materialning turiga bog'liq; masalan, kremniy fotoelementlarda τ odatda mikrosekundlar oralig'ida bo'ladi. Shunday qilib, diffuziya va rekombinatsiya birgalikda, fotoo'tkazgichdagi erkin zaryad tashuvchilarning makon va zamondagi taqsimotini aniqlaydi.

Green funksiyasi usuli. Yuqoridagi diffuziya-rekombinatsiya tenglamasini analitik yechish uchun Green funksiyasidan foydalanildi.

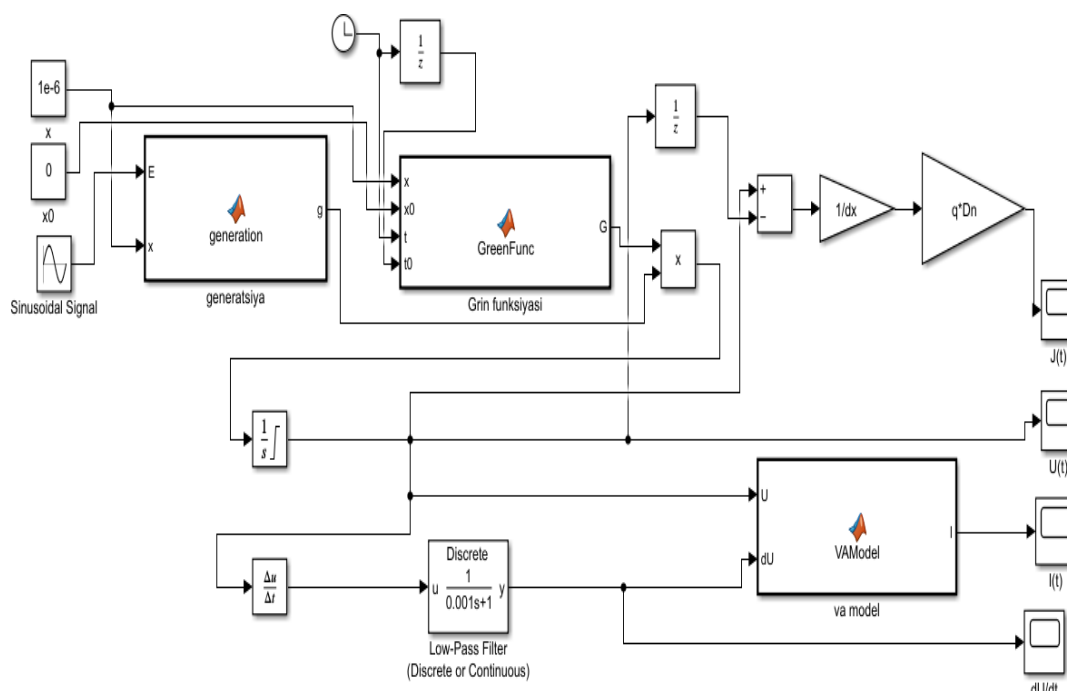
Green funksiyasi orqali diffuziya taqsimoti:

$$G(x, x_0, t, t_0) = \frac{1}{2\sqrt{\pi D(t-t_0)}} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{4D(t-t_0)}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x-x_0}{\sqrt{4D(t-t_0)}}\right) \quad (3)$$

Bu yerda $D=2.5 \times 10^{-3} \text{ sm}^2/\text{s}$ – diffuziya koeffitsiyenti. x_0 va t_0 — boshlang'ich vaqt va koordinata.

Green funksiyasi – bu sistemaning delta-ko'rinishli manbaga (ya'ni, vaqt bo'yicha juda qisqa va makon bo'yicha juda kichik sohada ta'sir etuvchi yorug'lik impulsiga) javoban beradigan yechimi bo'lib, fizik ma'noda fotoelementning impuls xarakteristikasini ifodalaydi[14]. Boshqacha aytganda, Green funksiyasi $G(x,t; x_0, t_0)$ – bu $t_0=0$ va $x_0=0$ dagi bitta bog'langan juft (elektron va kovak) yaratilganda, $t>t_0$ va $x>0$ da ortiqcha zaryadlar taqsimoti qanday bo'lishini ko'rsatadi. Green funksiyasini topish uchun boshlang'ich manba $g(x,t)=\delta(x)\delta(t)$ ko'rinishida qo'yiladi va diffuziya tenglamasi yechiladi. Ma'lumki, chiziqli tizimlarda Green funksiyasi yordamida istalgan manba funksiyaga javob topish mumkin: bunda haqiqiy $g(x,t)$ ni t bo'yicha Green funksiyasi bilan katta yig'indi (integral) orqali konvolyutsiya qilish ya'ni matematik ma'noda ikkita funksiyani birlashtirish kifoya. Bizning holatda ham shunday yo'l bilan fotogeneratsiyaning ixtiyoriy vaqtinchalik qonuniyati uchun, ortiqcha tashuvchilar $\Delta n(x,t)$ ifodasi analitik tarzda olinadi. Keyinchalik, ushbu ortiqcha tashuvchilar taqsimoti asosida, fotoelementning elektr chiqish parametrlari – masalan, qisqa tutashuv toki $I_{qt}(t)$ yoki ochiq zanjir kuchlanishi $U_{och}(t)$ ni aniqlash mumkin. Green funksiyasi usulining afzalligi shundaki, u bizga chegara shartlarini (masalan, $x=0$ dagi p–n o'tish chegarasida $U(t)$ va $I(t)$ o'rtasidagi bog'lanish) hisobga olgan holda aniq yechim topish va fizik jarayonlarni kechishini, kechiktirilgan ta'sir nuqtai nazardan, tahlil qilish imkonini beradi[15]. Modellashirishda $x=0$ yuzasi – yoritilgan yarimo'tkazgich qatlamining p–n o'tish chegarasi – deb olindi va unda yaratilgan erkin zaryadlar o'tish zonasiga tushib, tashqi zanjirga chiqish beradi (fototok hosil qiladi). $x \rightarrow \infty$ da esa, yarimo'tkazgich ichkarisida cheksiz chuqurlik chegarasi qabul qilinib, diffuziya natijasida zaryadlarning cheksiz uzoqqa tarqalib ketishi

mumkinligi faraz qilindi (amaliy jihatdan x yarimo'tkazgich qalinligiga teng bo'ladi).



1-rasm. Statsionar bo'lmagan yorug'lik sharoitida fotoelementlarning green funksiyasi asosidagi dinamik modeli.

Spektral fototok. Impulsli yoritilgan fototok deganda qisqa muddatli yorug'lik impulsi ta'sirida hosil bo'ladigan va undan keyingi o'tkinchi jarayonlar (diffuziya va rekombinatsiya) bilan o'zgaradigan fototok tushiniladi. Impuls davomida yarimo'tkazgichning so'rilish koeffitsienti $\alpha_0(\lambda)$ va fotoyorug'likning spektral ta'siri λ bo'yicha o'zgaradi. Impuls tugagandan so'ng, tashuvchilar asta-sekin diffuziya va rekombinatsiya tufayli kamayadi.

$$I_f(t) = \frac{q\alpha_0\sqrt{D\tau}E_0}{a^2D\tau - 1} \left\{ \underbrace{\alpha_0\sqrt{D\tau} \left[1 - \operatorname{erf}(\alpha_0\sqrt{D(t-t_0)}) \right] \exp\left(a^2D(t-t_0) - \frac{t-t_0}{\tau}\right)}_1 + \right. \\ \left. + \underbrace{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{t-t_0}{\tau}}\right)}_2 - \underbrace{\alpha_0\sqrt{D\tau} \left[1 - \operatorname{erf}(\alpha_0\sqrt{Dt}) \right] \exp\left(a^2Dt - \frac{t}{\tau}\right)}_3 - \underbrace{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{t}{\tau}}\right)}_4 \right\} \quad (4)$$

Bu yerda $q=1.6 \times 10^{-19}$ Kl – elektronning elementar zaryadi, $\alpha_0=440 \text{ sm}^{-1}$ (va boshqa qiymatlar) – yorug'likning yutilish (so'rilish) koeffitsienti, $D=25 \text{ sm}^2/\text{s}$ – diffuziya koeffitsienti, $\tau=1 \times 10^{-6} \text{ s}$ – yashash vaqti (rekombinatsiya muddati), $E_0=1 \times 10^{20} \text{ sm}^{-2}\text{s}^{-1}$ – yorug'lik impulsining energiyasi, $a=1$ – dispersiya parametri, $t_0=3 \times 10^{-6} \text{ s}$ – yorug'lik impulsining o'chgan vaqti, $\operatorname{erf}(x)=2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-y^2} dy$ – Gaussning xatolik funksiyasi.

Bu ifoda — fototokning vaqt bo'yicha integral ta'sirini ifodalovchi yarim analitik formula, asosan noto'g'ri yoritilgan yoki pulsli yoritilgan sharoitlarda hosil bo'ladigan fototokning vaqt bo'yicha javobini hisoblash uchun qo'llaniladi. Bu formula p-n o'tishli yarim o'tkazgichning fotojarayoni (fotoelement) ni to'liq tavsiflab beradi: $t < t_0$ da yorug'lik berilayotgan vaqt oralig'idagi to'planayotgan tashuvchilar harakati. $t > t_0$ da yorug'lik o'chgandan keyingi diffuzion tarqalish va rekombinatsiya jarayonlari. Shuning uchun ifoda o'sish va pasayish jarayonlarini to'liq qamrab oladi. 1-2 qo'shiluvchilar – yorug'lik berilgan paytdagi tashuvchilarni yig'ilish (o'sish) jarayoni bilan bog'liq. 3-4 qo'shiluvchilar – yorug'lik o'chgandan keyin tashuvchilar diffuziyasi va rekombinatsiyasi (pasayish). Ya'ni:

(1) – Yig‘ilish (o‘shish) jarayonining asosiy ekspansional qo‘shiluvchisi: Bu yerda yorug‘lik impulsining boshlanishidan boshlab hosil bo‘ladigan tashuvchi konsentratsiyasi va uning dispersiya bilan diffuzion yoyilishi ifodalanadi.

(2) – Yig‘ilish jarayonining xatolik funksiyasi bilan ifodalangan qo‘shiluvchi: Bu qo‘shiluvchi ham yorug‘lik davom etayotgan paytda yaratilgan tashuvchilarning integral hissasini ifodalaydi.

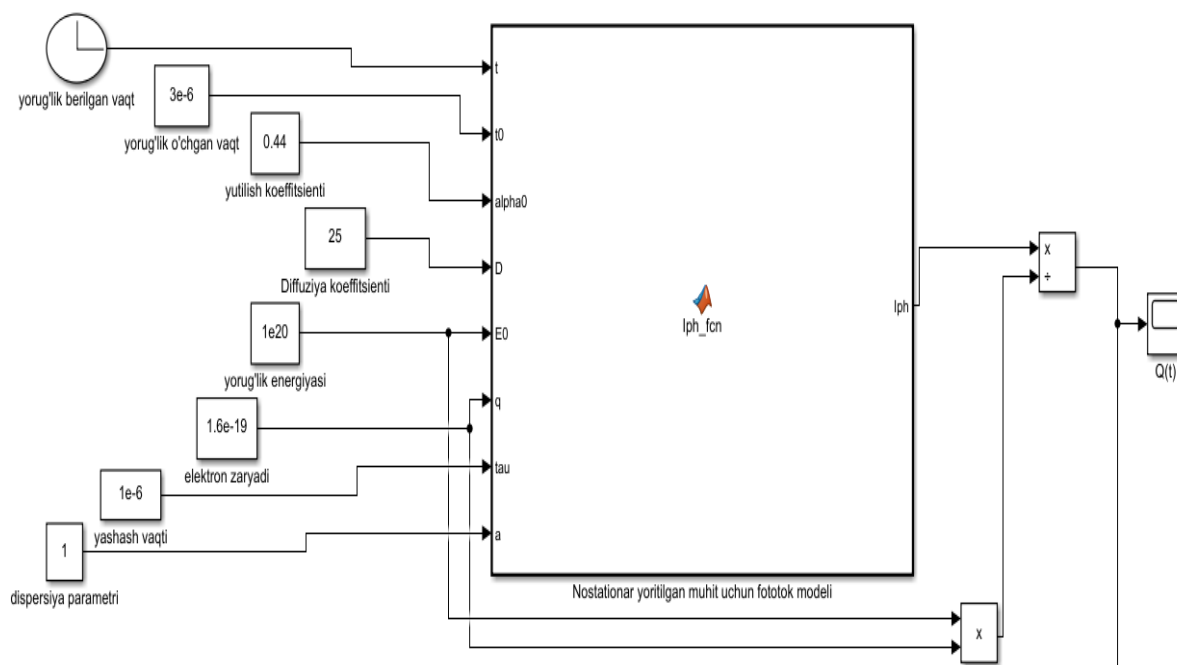
(3) – Pasayish (rekombinatsiya va diffuziya) jarayonining asosiy ekspansional qo‘shiluvchisi: Yorug‘lik o‘chgandan keyingi tashuvchilarning diffuzion kamayishi va rekombinatsiyasi uchun mas’uldir.

(4) – Pasayishning xatolik funksiyasi bilan ifodalangan qo‘shiluvchi: Bu qo‘shiluvchi ham rekombinatsiya va diffuziya jarayonlarini qo‘llab-quvvatlab beradi.

Fototokning vaqt bo‘yicha o‘zgarishidan tashqari, ushbu model yordamida yig‘ilish ko‘effitsienti $Q(t)$ ham aniqlanadi:

$$Q(t) = \frac{I_f(t)}{qE_0} \quad (5)$$

Bu ko‘effitsient fototokning yorug‘lik oqimining intensivligiga normalangan shaklini ko‘rsatadi. Bu esa, turli sharoitlarda tashuvchilar konsentratsiyasi va yarimo‘tkazgichning fizikaviy parametrlari qanday ta’sir qilishini aniqlash imkonini beradi.



2-Rasm. Impulsi yoritilgan spektral fototok modeli.

Nazariy hisoblash metodikasi. Yuqoridagi model doirasida fotoelementning dinamik rejimini sifat jihatdan tadqiq etish maqsadida bir qator soddalashtiruvchi farazlar qabul qilindi. Avvalo, yarimo‘tkazgich zonasida elektr maydon diffuziya jarayoniga ta’sir etmaydi, deb olindi (ya’ni, p–n o‘tishning ta’siri faqat $x=0$ chegarada $U(t)$ ko‘rinishida hisobga olindi). Shuningdek, yarimo‘tkazgichning parametrlari (diffuziya ko‘effitsienti D , rekombinatsiya vaqti τ va h.k.) tashqi sharoitga va zaryad konsentratsiyasiga bog‘liq emas, ular muayyan doimiy kattaliklar sifatida qabul qilindi. Bu chiziqli model yechimini soddalashtiradi, zero superpozitsiya prinsipidan foydalangan holda, chiziqli bo‘lmagan effektlar (masalan, yuqori injeksiya rejimida τ ning o‘zgarishi, harorat oshishi va b.) hisobga olinmaydi [17]. Fotoelement zanjiriga tashqi yuklama qarshilik R ulanib, unda $U(t)=I(t)R$ bog‘lanishi o‘rinli deb belgilandi. Bu holatda, fotoelementning to‘liq volt-amper xarakteristikasi (I va U orasidagi bog‘lanish), vaqt bo‘yicha umumiy differensial-tenglama sistemasini hosil qiladi va uni tahliliy yechish murakkablashadi [18]. Shuning uchun, R mavjud hol uchun sistemaning yechimi raqamli usul yordamida topildi. Ya’ni, olingan integro-differensial tenglamalar majmui (masalan, $U(t)$ uchun) kompyuterda sonli integratsiya qilindi. Hisoblashda vaqt

bo'yicha diskretlashtirish qadamini tanlash muhim ahamiyatga ega. Modeldagi eng kichik vaqt o'lchamiga (masalan, rekombinatsiya vaqti τ yoki yorug'lik impulsining davomiyligi) nisbatan ancha kichik vaqt qadamchasi Δt olindi. Bu Δt qiymati, inertsiya kichik bo'lgan tez o'tkinchi jarayonlarni ham, aniq ushlash va yechimning sonli barqarorligini ta'minlash imkonini berdi. Shuningdek, yechim algoritmi sifatida yuqori tartibli moslashuvchan usullar qo'llanilib, zarur joylarda vaqt qadamini avtomatik kamaytirish/orttirish orqali hisob samaradorligi oshirildi[19]. Ushbu modellashirishda fotoelementning ideal holati ko'zda tutilganini ta'kidlash joiz: real qurilmalarda uchraydigan qo'shimcha yo'qotishlar – masalan, ketma-ket qarshilik, sirt rekombinatsiyasi, p–n o'tishning omik toki kabi omillar – hisobga olingan emas. Biroq, model real fotoelementning diffuziya va yuklama sig'imi tufayli paydo bo'ladigan o'tkinchi jarayonlarini sifat jihatdan to'g'ri aks ettiradi va ularning vaqt shkalasini aniqlashga xizmat qiladi[20].

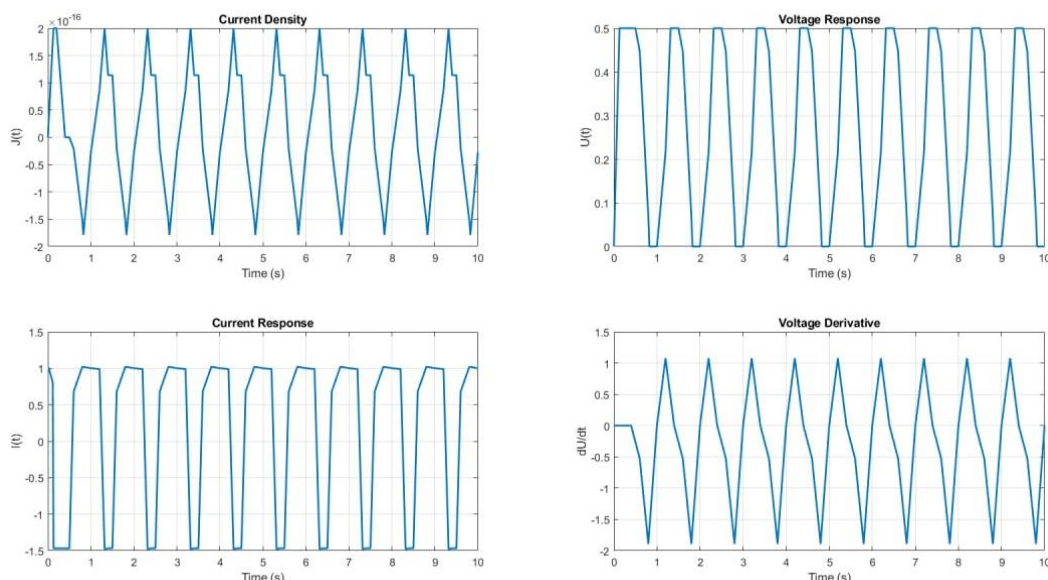
Fototashuvchilardan olingan tok quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right) - C \frac{dU}{dt} \quad (6)$$

Bu yerda: $I_{ph}=1A$ – fototok, $I_0=10^{-8}A$ – qorong'ulik toki, $q=1.6 \times 10^{-19}C$ – elektron zaryadi, $k=1.38 \times 10^{-23}J/K$ – Boltzmann doimiysi, $T=300K$ – harorat, $C=0.01F$ – sig'im.

Natijalar va tahlil

1-Model asosida fotoelementning statsionar bo'lmagan yoritish ostida vaqtga bog'liq bir qator xarakteristikalarini hisoblash va tahlil qilish amalga oshirildi.



3-rasm. Statsionar bo'lmagan yorug'lik sharoitida fotoelementlarning Green funksiyasi asosidagi dinamik modeli grafiklari.

Quyida ular uchun alohida fizik talqin beriladi:

$J(t)$ – Fototok zichligi grafigi. Fotoelement qisqa tutashuv rejimida ($R=0$) o'lchangan tok $J(t)$ vaqt funksiyasi sifatida ko'rib chiqildi. Yorug'lik yoqilganda, fotogeneratsiya boshlanishi bilan, tok tezda nol qiymatdan oshadi va ma'lum vaqtdan so'ng muvozanat rejimiga yaqinlashadi. Bu boshlang'ich ko'tarilish asosan, yarimo'tkazgich ichida avvalgi qorong'ulik holatidan yangi dinamik muvozanat holatiga o'tish jarayonidir. Dastlab yaratilgan ko'plab erkin zaryadlar p–n o'tishga yetib kelib, tashqi zanjir orqali oqib o'tadi (tok hosil qiladi), keyinchalik diffuziya-chegaralangan rejim o'rnatilib, tok biroz pasayadi yoki barqarorlashadi. Yorug'lik o'chirilgan paytda esa, fototokda keskin o'zgarish kuzatiladi: generatsiya to'xtashi bilan $J(t)$ qiymati birdaniga pasayishni boshlaydi. Biroq, rekombinatsiya tufayli barcha erkin zaryadlar bir zumda yo'qolib ketmaydi; – fotoelement ichida to'plangan ortiqcha elektron-kovaklar hali ham qisqa muddat davomida o'z hissasini qo'shishda davom etadi. Natijada, $J(t)$ egri chizig'i silliq ravishda, eksponential qiyofada pasayib, nolga intiladi (cheksiz uzoq vaqtda). Ushbu pasayish tezligi asosan rekombinatsiya vaqti va diffuziya jarayonlarining birgalikdagi ta'siri bilan belgilanadi. Masalan,

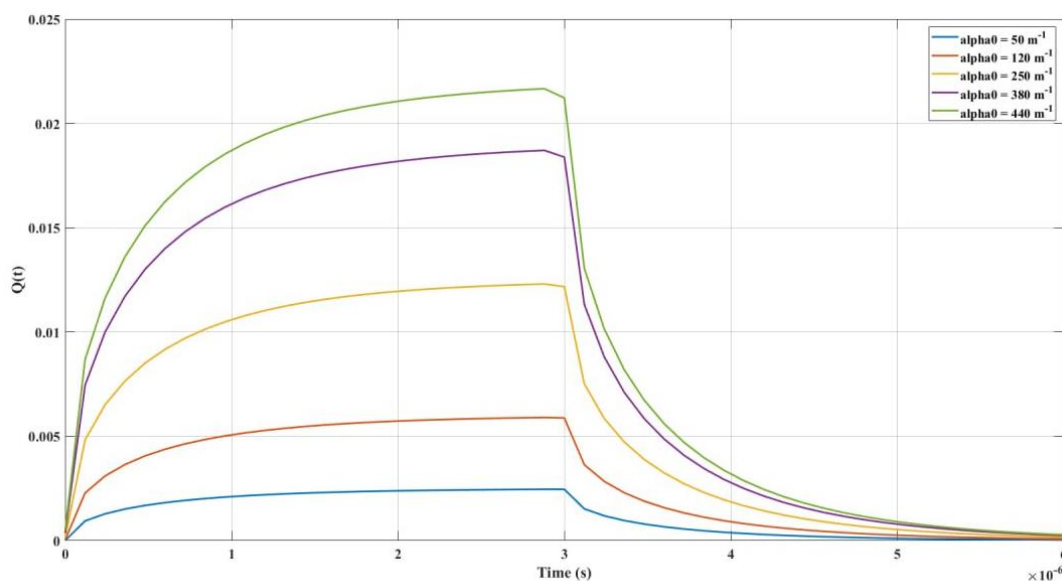
yarimo'tkazgichdagi elektronlarning o'rtacha yashash vaqti τ qancha katta bo'lsa, $J(t)$ ning quyruq qismi shuncha sekin so'nadi – ya'ni fotoelement yorug'lik o'chirilgandan keyin ham, biroz muddat tok berishda davom etadi. Bizning hisoblashlarda bu hodisa aniq kuzatildi: $t=t_0$ lahzada yorug'lik impulsini to'xtatganda, $J(t)$ darhol nolga tushmasdan, τ tartibli vaqt oralig'ida qolgan ortiqcha zaryadlar oqimi sifatida davom etdi. Fizik nuqtai nazardan, bu – *diffuziya sig'imi effektidir*, ya'ni $p-n$ o'tish atrofida ortiqcha zaryadlar sig'imda to'planib, yorug'lik o'chganda uni bo'shatish orqali tok hosil qilishda davom etadi.

$U(t)$ – *Kuchlanish grafigi*. Fotoelement chiqishidagi kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishi, ayniqsa tashqi yuklama R mavjud bo'lganda, muhim dinamik ko'rsatkichdir. Hisoblashlarda $R \neq 0$ holatlar uchun, $U(t)=I(t)R$ qonuniyatidan foydalangan holda, real yuklangan fotoelementning $U(t)$ grafigi olindi. Yorug'lik yoqilganda, fotoelementda hosil bo'lgan tok avval $p-n$ o'tishni zaryadlaydi – ya'ni, o'tish chegarasida kondensator sifatida ortiqcha zaryadlar to'planadi va kuchlanish o'sib boradi. Ma'lum vaqt o'tgach, $U(t)$ ma'lum bir muvozanat qiymatiga erishadi (agar yoritish davomiy bo'lsa). Bu holat fotoelementning Statsionar volt-ampere xarakteristikasidagi ish nuqtasiga mos keladi. Bu fizik jihatdan quyidagicha izohlanadi: yorug'lik to'xtashi bilan fotogeneratsiya to'xtaydi, ammo $p-n$ o'tish qatlamida avval to'plangan ortiqcha elektronlar oqimi to'satdan kamayib ketgani bois, o'tishdagi tok balansi buziladi – asosiy tashuvchilar (ko'pchilik zaryadlar, ya'ni p xududdagi kovaklar va n xududdagi elektronlar) o'tish chegarasini qaytadan zaryadlashga harakat qiladi. Bu esa, o'tishda qisqa muddatli inertsion hodisani, keltirib chiqaradi. Keyinchalik, sistemadagi barcha ortiqcha zaryadlar rekombinatsiya va diffuziya tufayli tarqalib ketishi bilan bu kuchlanish ham pasaya boshlaydi. Model hisoblashlarida $U(t)$ ning pasayishi $J(t)$ ga nisbatan ancha sekin kechishi aniqlandi. Bunga sabab, yuqorida ta'kidlanganidek, $p-n$ o'tishning diffuzion sig'imi ortiqcha zaryadlar hisobiga uzoqroq vaqt davomida kuchlanishni ushlab turishidir. $I(t)$ – *Tok grafigi*. Tashqi R qarshilik orqali oqayotgan tok $I(t)$ ning vaqtdagi o'zgarishi yuqoridagi $J(t)$ va $U(t)$ jarayonlari bilan chambarchas bog'liq. Bunda $I(t) = J(t)S$ (fotoelementning faol yuzasi S orqali) va bir vaqtning o'zida $I(t)=U(t)/R$ tengliklari bajariladi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, yorug'lik yoqilganda tok boshlang'ich davrda ΔI ga keskin oshib, so'ngra sekinroq o'sishda davom etadi (agar $U(t)$ oshishda davom etsa, $I(t)$ ham oshadi). O'rnatilgan holatga yaqin vaqtda $I(t)$ deyarli doimiy qiymatda qoladi. Chunki fotoelementdan ajralayotgan quvvat yuklama va fotoelektr EMK balansiga erishadi. Yorug'lik o'chirilganda esa, $I(t)$ darhol pasayadi, chunki fotogeneratsiya manbai yo'qoldi.

dU/dt – *Kuchlanish o'zgarish tezligi*. Kuchlanishning vaqt bo'yicha hosilasi dU/dt fotoelementning o'tkinchi jarayonlarda nechog'li tez javob berishini ko'rsatuvchi muhim parametrdir. Hisoblangan $U(t)$ ma'lumotlarini differensiallash orqali $dU/dt(t)$ grafigi olindi. Yorug'likni yoqish va o'chirish onlarida dU/dt qiymati eng yuqori o'zgarishlarni ko'rsatadi: masalan, yorug'lik boshida dU/dt musbat maksimal cho'qqiga ega bo'lib, kuchlanishning qanchalik tez o'sayotganini bildiradi. Yorug'lik o'chirilgan lahzada esa, dU/dt keskin manfiy qiymatga tushadi (negativ cho'qqi). Bu kuchlanishning katta tezlikda kamayishini anglatadi. Bizning modelda dU/dt ning bu cho'qqilari cheksiz emas – ular yuklama va o'tish sig'imi tomonidan cheklangan qiymatlarda kuzatildi. Ayniqsa, yorug'lik o'chirgandagi dU/dt minimumi biroz vaqt o'tib nolgacha ko'tarilib, so'ngra sekinlik bilan uzun quyruq hosil qildi (bu $U(t)$ ning overshoot va undan keyingi sekin pasayishiga mos keladi). dU/dt grafigini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, fotoelementning o'tkinchi javobi ikki asosiy vaqt masshtabga ega: tezkor komponent (yorug'likning keskin o'zgarishlariga darhol javob, asosan kondensator zaryadlanishi/razryadlanishi bilan bog'liq) va sekin komponent (rekombinatsiya bilan bog'liq uzunroq quyruq). Real fotoelementlarda ham aynan shunday ikki komponentli javob mavjud bo'lib, ularni eksperimental usullar bilan o'lchash orqali aniqlash mumkin. Masalan, kremniy quyosh elementlarida tranzient fotokuchlanish o'lchovlari erkin tashuvchilarning yashash vaqtlari tartibida (bir necha mikrosekunddan millisekundgacha) davom etuvchi sekin komponentni ko'rsatadi [7].

2-Model asosida impulsli yoritilish sharoitida zaryad tashuvchilar spektral yig'ilish

koeffitsientini, yutilish koeffitsientiga bog'liq bir qator xarakteristikalarini hisoblash va tahlil qilish amalga oshirildi.



4-rasm. Impulsi yoritish vaqtida spektrni yig'ish koeffitsienti $Q(t)$ ning vaqtga bog'liqligi ($\alpha_0 = 25, 120, 250, 380, 440 \text{ sm}^{-1}$ qiymatlar uchun).

Rasmda vaqt bo'yicha o'zgaruvchi $Q(t)$ koeffitsientining α_0 qiymatlariga bog'liqligi aniqlandi. Ularning fizik talqini quyidagicha:

- 0–3 mks oralig'ida (o'sish jarayoni). Yig'ish koeffitsienti $Q(t)$ tezda oshib boradi. Bu bosqichda yorug'lik impulsi berilgan va tashuvchilar hosil bo'lish jarayoni ustun turadi. Har xil yutilish koeffitsienti (α_0) uchun o'sish tezligi va maksimum qiymatlari farq qiladi. Masalan: Eng katta $\alpha_0=440 \text{ sm}^{-1}$ (sariq chiziq) – $Q(t)$ yuqori qiymatga yetadi. Eng kichik $\alpha_0=50 \text{ sm}^{-1}$ (siyoh chiziq) – $Q(t)$ nisbatan past darajada qoladi.
- 3 mks dan so'ng (pasayish jarayoni). $Q(t)$ keskin kamayadi. Bu yoritish o'chganidan keyingi tashuvchilarning diffuziya va rekombinatsiya jarayonlarini bildiradi.

Xulosa

Yuqoridagi natijalarni haqiqiy tizimlar bilan taqqoslash shuni ko'rsatadiki, model asosan, real fotoelementlarning dinamik o'zgarishini to'g'ri aks ettiradi. Masalan, ochiq zanjir rejimida yorug'likni to'satdan uzganda kuchlanishning qisqa muddatli oshishi va so'ngra sekin so'nishi amalda kuzatilgan fakt bo'lib, u bizning hisoblashlarda ham aniq namoyon bo'ldi. Xuddi shunday, fototokning yorug'lik o'chgandan keyin ham bir muddat oqishda davom etishi (diffuzion tok “quyruq”i) yarimo'tkazgichlarning asosiy bo'lmagan tashuvchilar yashash vaqti bilan belgilanadi va kremniy asosli fotoelementlarda bu vaqt 10–100 mikrosekund atrofida bo'lishi ma'lum[6]. Model parametrlarini shu oraliqda olsak, $I(t)$ grafigining “quyruq” qismi real o'lchovlarga juda yaqin kelishi ko'rindi. Albatta, real qurilmalarda mavjud bo'ladigan qo'shimcha omillar (masalan, yarimo'tkazgich ichidagi nuqsonlar tufayli tuzoqlar hosil bo'lib, zaryadlarning uzoqroq saqlanishi yoki, sirt rekombinatsiyasi hisobiga qo'shimcha yo'qotishlar) o'tkinchi jarayonlarga ta'sir ko'rsatadi. Biroq, ularning roli mazkur model doirasida hisobga olinmagani bois, bizning natijalar ideal holatga yaqin qiymatlarni beradi. Shunday bo'lsa-da, olingan natijalar sifat jihatdan muhim xulosaga olib keladi: fotoelementning ish jarayoni dinamikasida p–n o'tishning sig'imlik xususiyati va diffuziya-rekombinatsiya jarayonlari hal qiluvchi ahamiyatga ega. Yuqoridagi grafiklar tahlilidan shunday xulosa chiqarish mumkinki, fotoelementlar o'z tabiatiga ko'ra kichik akkumulyator kabi harakat qiladi – yorug'lik mavjud paytda yarimo'tkazgich ichida ortiqcha zaryadlar to'planadi va fotoelement elektr energiya manbai vazifasini o'taydi. Yorug'lik to'xtatilgach esa, bu to'plangan zaryadlar, sekinlik bilan o'z kuchini yo'qotadi va fotoelementning elektr chiqish parametrlari asta-so'nuvchi xarakteristikalar bilan nolga qaytadi. Demak, fotoelementlarni o'zgaruvchan yoritish

sharoitida samarali qo‘llash uchun, ularning tranzient javobini hisobga olish zarur: masalan, bulutli ob-havo sharoitida yoki pulsatsiyalanuvchi nurlanishda fotoelement qisqa muddatlarda ortiqcha kuchlanish/(toklar) berishi yoki, kechikib javob qaytarishi mumkin. Keltirilgan model va natijalar ana shunday rejimlarda fotoelementlarning ishlashini oldindan baholash, dinamik samaradorligini hisoblash, hamda ularni barqaror ishlashini ta‘minlash uchun foydali ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Al-Ezzi, A. S., & Ansari, M. N. M. (2022). Photovoltaic solar cells: A review. *Applied System Innovation*, 5(4), 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
- [2]. Egger, D. A., Bera, A., Cahen, D., Hodes, G., Kirchartz, T., Kronik, L., Lovrincic, R., Rappe, A. M., Reichman, D. R., & Yaffe, O. (2018). What remains unexplained about the properties of halide perovskites? *Advanced Materials*, 30(1), 1800691. <https://doi.org/10.1002/adma.201800691>
- [3]. Cavassilas, N., de Mera, H. P., Michelini, F., & Bescond, M. (2014). Modeling of nanoscale solar cells: The Green’s function formalism. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(1), 011203. <https://doi.org/10.1063/1.4828366>
- [4]. Courtier, N. E., Richardson, G., & Foster, J. M. (2018). A fast and robust numerical scheme for solving models of charge carrier transport and ion vacancy motion in perovskite solar cells. *Applied Mathematical Modelling*, 63, 329–348. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.05.017>
- [5]. Blaj, G., Kenney, C. J., Segal, J., & Haller, G. (2017). Analytical solutions of transient drift-diffusion in P–N junction pixel sensors. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 64(3), 413–422. <https://doi.org/10.1109/TNS.2017.2698279>
- [6]. Courtier, N. E., Cave, J. M., Walker, A. B., Richardson, G., & Foster, J. M. (2019). IonMonger: A free and fast planar perovskite solar cell simulator with coupled ion vacancy and charge carrier dynamics. *Journal of Computational Electronics*, 18(4), 1435–1449. <https://doi.org/10.1007/s10825-019-01396-2>
- [7]. Clarke, W., Bennett, L. J., Grudeva, Y., Foster, J. M., Richardson, G., & Courtier, N. E. (2023). *IonMonger 2.0: Software for free, fast and versatile simulation of current, voltage and impedance response of planar perovskite solar cells*. *Journal of Computational Electronics*, 22, 364–382. <https://doi.org/10.1007/s10825-022-01988-5>
- [8]. Gazeley, W., & McGrath, D. (2011). Quantum efficiency simulation using transport equations. In *Proceedings of the International Image Sensor Workshop* (p. R06).
- [9]. Courtier, N. E., Foster, J. M., O’Kane, S. E. J., Walker, A. B., & Richardson, G. (2019). Surface polarisation in planar perovskite solar cells: Derivation of a model for device simulation. *European Journal of Applied Mathematics*, 30(3), 427–457. <https://doi.org/10.1017/S0956792518000224>
- [10]. Fell, A., Schön, J., Schubert, M. C., & Glunz, S. W. (2017). The concept of “skins” for silicon solar cell modeling. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 173, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.002>
- [11]. Courtier, N. E., Foster, J. M., O’Kane, S. E. J., Walker, A. B., & Richardson, G. (2019). How transport layer properties affect perovskite solar cell performance: Insights from a coupled model. *Energy & Environmental Science*, 12(1), 396–409. <https://doi.org/10.1039/C8EE02599H>
- [12]. Foster, J. M., Snaith, H. J., Leijtens, T., & Richardson, G. (2014). A model for the operation of perovskite-based hybrid solar cells: Formulation, analysis, and comparison to experiment. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 74(6), 1935–1966. <https://doi.org/10.1137/130938701>
- [13]. Green, M. A. (1995). *Solar Cells: Advanced Principles and Practice* (1st ed.). Prentice Hall.
- [14]. Idigoras, J., Contreras-Bernal, L., Cave, J. M., Courtier, N. E., Barranco, A., Borrás, A., Sánchez-Valencia, J. R., Anta, J. A., & Walker, A. B. (2018). The role of surface recombination on perovskite solar cell performance: Effect of morphology and crystalline phase of TiO₂ contact. *Advanced Materials Interfaces*, 5(21), 1801076. <https://doi.org/10.1002/admi.201801076>
- [15]. Jacobs, D. A., Shen, H., Pfefer, F., Peng, J., White, T. P., Beck, F. J., & Catchpole, K. R. (2018). The two faces of capacitance: New interpretations for impedance measurements of perovskite solar cells. *Journal of Applied Physics*, 124, 225702. <https://doi.org/10.1063/1.5041386>
- [16]. AM Kasimakhunova, SI Zokirov. Development of a simulation model for an automated hybrid photothermogenerator. Artificial intelligence, blockchain, computing and security volume 2. Индия. Pp.616-622
- [17]. Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p–n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
- [18]. Shampine, L. F., & Reichelt, M. W. (1997). The MATLAB ODE suite. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 18(1), 1–22. <https://doi.org/10.1137/S1064827594276424>
- [19]. Snaith, H. J. (2018). Present status and future prospects of perovskite photovoltaics. *Nature Energy*, 3, 741–744. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0194-0>
- [20]. Pourasl, H. H., Barenji, R. V., & Khojastehnezhad, V. M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. In *Energy Reports* (Vol. 10, pp. 3474–3493). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.022>

**РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ КОМПЕНСАЦИЯЛОВЧИ ҚУРИЛМАЛАРНИ СОВУТИШ
ТИЗИМИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ ОРҚАЛИ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИНИ
ОШИРИШ МАСАЛАЛАРИ**О.З. Тоиров¹, Ш.Ш. Азимов¹, З. Тоиров²¹Тошкент давлат техника университети²Бухоро давлат техника университетиE-mail: olimjontoirov@gmail.com

(Қабул қилинди 06.10.2025 й.)

Ушбу мақолада реактив қувватни компенсацияловчи қурилма (РҚКҚ) ларни темир йўл электр таъминотидаги энергия самарадорлигига таъсири ўрганилган. Ҳозирги кундаги ривожланган давлатларнинг темир йўл тизимидаги реактив қувватни қоплаш жараёнлари таҳлил қилинган. Шунингдек, РҚКҚ ларни конструктив, функционал ва бошқарув тизимлари бўйича тахлилий маълумотлар келтирилган. Ўзбекистон темир йўллари АЖ даги РҚКҚ ларни совутиш тизимидаги носозликларни бартараф этиш юзасидан таклифлар ишлаб чиқилган. Темир йўл электр таъминоти тизимидаги РҚКҚ ларни совутиш тизими параметрлари Ўзбекистон шароитига мослашувчанлиги ҳамда совутиш тизимларини ишончлилик кўрсаткичлари ўрганилган. Мақолада, реактив қувватни компенсацияловчи қурилманинг иссиқлик тарқалишини бошқариш, совутиш тизимининг самарадорлигини ошириш усуллари баён этилган.

Таянч сўзлар: Темир йўл электр таъминоти, реактив қувват компенсацияси, энергия самарадорлиги, ишончлилик, иссиқлик тарқалиши, совутиш тизими, тиристор, автоматик бошқарув.

В данной статье исследовано влияние устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) на энергоэффективность в системе электроснабжения железных дорог. Проанализированы процессы компенсации реактивной мощности в железнодорожных системах развитых стран. Также приведены аналитические данные по конструктивным, функциональным и управляющим системам УКРМ. Разработаны предложения по устранению неисправностей в системе охлаждения УКРМ, применяемых в АО «Узбекистон темир йўллари». Изучены параметры системы охлаждения УКРМ в условиях Узбекистана, а также показатели надежности этих систем. В статье изложены методы управления тепловыделением устройств компенсации реактивной мощности и повышения эффективности систем охлаждения.

Ключевые слова: Железнодорожное электроснабжение, компенсация реактивной мощности, энергоэффективность, надёжность, тепловыделение, система охлаждения, тиристор, автоматическое управление.

This article examines the impact of reactive power compensation devices (RPCDs) on energy efficiency in railway power supply systems. It analyzes the processes of reactive power compensation in the railway systems of currently developed countries. Furthermore, analytical data are provided regarding the structural, functional, and control aspects of RPCDs. Proposals have been developed to eliminate malfunctions in the cooling systems of RPCDs used by Uzbekistan Railways JSC. The adaptability of cooling system parameters of RPCDs to the conditions in Uzbekistan and their reliability indicators have been studied. The article outlines methods for managing heat dissipation in reactive power compensation devices and improving the efficiency of their cooling systems.

Keywords: Railway power supply, reactive power compensation, energy efficiency, reliability, heat dissipation, cooling system, thyristor, automatic control.

Ҳозирги вақтда электр энергия тежаш масалалари энг долзарб муаммо бўлиб, иқтисодиёт ва халқ ҳўжалигининг барча соҳаларида диққат марказида турибди. Иқтисодиётнинг барқарор ривожланиши мамлакатимизда интенсив ишлаб чиқаришни кўпайтириш, энергия тежовчи янги технологияларни ишлаб чиқиш ва жорий этиш, мавжуд энергетика ресурсларини тежашни тақозо этади. Темир йўл транспортининг барқарор ва самарали ишлаши учун узлуксиз ҳамда сифатли электр энергия таъминоти муҳим аҳамият касб этади. Бугунги кунда темир йўл электр таъминоти тизимларида реактив қувватни бошқариш ва компенсация қилиш технологияларининг роли тобора ортиб бормоқда. Темир

йўл электр таъминоти тизимида реактив қувватни компенсация қилишнинг долзарблиги шундаки, темир йўл транспорти юқори қувват талаб қиладиган тизим бўлиб, электр энергиясини самарали ишлатмаслик натижасида катта миқдордаги энергия йўқотишлари юзага келади.

Сўнгги йилларда темир йўл соҳасида энергия тежамкор электр таъминоти тизимларига бўлган талабнинг ортиб бориши реактив қувватни компенсациялаш технологияларини такомиллаштириш муҳимлигини таъкидламоқда. Мавжуд совитиш тизимлари кўпинча юқори эксплуатацион талабларга жавоб бера олмайди, бу эса сезиларли энергия йўқотишлари ва тизим ишончилигининг пасайишига олиб келади. Бундан ташқари, реактив қувватнинг юқори қиймати электр тармоқларининг юкланишини оширади, бу эса уларнинг ишлаш муддатини қисқартиради ва техник хизмат кўрсатиш харажатларини оширади. Шунинг учун реактив қувватни компенсация қилиш тизимлари темир йўл транспортининг энергия самарадорлигини ошириш, харажатларни камайтириш ва атроф-муҳитга салбий таъсирини минималлаштиришда муҳим рол ўйнайди.

Тортувчи нимстанцияларда ўрнатилган РҚКҚ лар энергия самарадорлигини оширишда муҳим рол ўйнайди. РҚКҚ ларни такомиллаштириб, темир йўл электр таъминоти тизими самарадорлигини ошириш, энергия йўқотишларини камайтириш ва тизим барқарорлигини таъминлаш мумкин. Темир йўл электр таъминоти тизими юқори қувватли юкламалар билан ишлайди. Бу эса катта миқдорда реактив қувват ҳосил бўлишига олиб келади. Реактив қувватни компенсацияловчи қурилмалар иш фаолияти давомида катта миқдорда иссиқлик энергиясини чиқаради. РҚКҚ ларнинг энергия самарадорлиги фақат компенсация кўрсаткичларига эмас, балки уларнинг совутиш тизими ва иссиқлик назоратига ҳам бевосита боғлиқдир. Замоновий совутиш тизимини жорий этиш орқали энергияни тежаш ва ишончли электр таъминотини таъминлашда катта ютуқларга эришиши мумкин. Шу билан бирга, уларнинг конструктив ва иссиқлик режимлари, хусусан совутиш тизимининг самарадорлиги, қурилманинг умумий энергетик самарадорлигига бевосита таъсир қилади. Агар бу иссиқлик самарали равишда узатилмаса, қурилма компонентлари қизиб кетади ва электр энергия исрофлари ортиб кетади. Шу сабабли совутиш тизими қурилманинг иссиқлик барқарорлигини таъминлаши керак. Тортувчи нимстанцияларга ўрнатилган реактив қувватни компенсацияловчи қурилмаларни такомиллаштириш орқали энергия самарадорлигини оширишда совутиш тизими алоҳида муҳим омил ҳисобланади [1].

Реактив қувватни компенсацияловчи қурилмалар темир йўл электр таъминоти тизимининг самарали, барқарор ва ишончли ишлаши учун муҳим техник воситалардан биридир. РҚКҚларнинг темир йўл электр таъминотидаги энергия самарадорлигига таъсири қуйидаги факторларда аниқланади:

1. Реактив қувватни камайтиради.
2. Актив қувват йўқотишларини камайтиради.
3. Кучланиш барқарорлиги яхшиланади.
4. Энергия истеъмоли камаяди ва эксплуатация харажатлари пасаяди.
5. Қувват коэффициенти қиймати ортади.

Ривожланган давлатларда, айниқса Германия, Япония, Франция, Хитой ва Жанубий Корея каби мамлакатларда темир йўл электр таъминоти тизимларида реактив қувватни аниқ ва динамик тарзда компенсациялаш учун замоновий интеллектуал РҚКҚ тизимлари жорий этилган. Улар кўпинча Статик синхрон компенсатор (STATCOM), Статик ВАР (Voltage-Ampere Reactive) компенсатор ва актив қувват фильтри (АҚФ) каби юқори аниқликда ишловчи, тезкор ва адаптив қурилмаларга асосланган. Ривожланган давлатлар тажрибаси шундан далолат берадики, РҚКҚ ларини танлашда ва жойлаштиришда уларнинг совутиш тизими стратегик омил сифатида ҳисобга олинади. “Ўзбекистон темир йўллари” АЖ тизимида эса ҳозирча бу омил илмий асосда кенг ўрганилмаган бу эса энергия самарадорлигининг йўқотилишига олиб келмоқда. Шу нуқтаи назардан дунё илмий нашрларида қуйидаги мақолалар билан танишиб чиқилган [2].

Компенсация қурилмасининг ишлаш принципи, афзалликлари, камчиликлари ва

қўлланилиш соҳалари батафсил баён этилган. STATCOM технологиясини чуқур таҳлил қилган ҳолда, уни келажакда қўллаш имкониятлари муҳокама қилинади [3].

STATCOM қурилмасини “fuzzy logic” орқали бошқаришнинг юқори самарали амалий моделини таклиф этади. У нафақат реактив қувватни компенсациялайди, балки кучланишни барқарорлаштиради, тизим йўқотишларини камайтиради ва электр энергияси сифатини оширади. “Fuzzy controller” STATCOM нинг мослашувчанлигини оширади ва мураккаб энергия тизимларида қўлланилади. [4].

Муаллифлар томонидан таклиф этилган филтрлаш стратегияси тиристор билан бошқариладиган реакторларда гармоник тоқларни пасайтириш учун самарали, энергия тежамкор ва реактив қувват ишлаб чиқармасдан ишлайдиган инновацион ёндашув сифатида тавсия этилади [5].

Ушбу мақолада электр энергетика тизимида кучланиш барқарорлигини ошириш мақсадида STATCOM ва FACTS (Flexible AC Transmission Systems) қурилмаларидан фойдаланиш орқали статик кучланиш барқарорлиги захирасини ошириш тадқиқ этилган [6].

Мақола иссиқлик техник тизимларини “Comsol Multiphysics” орқали таҳлил қилиш бўйича намунавий ҳисобланади [6].

Мақолада темир йўл электр таъминотида реактив қувватнинг пайдо бўлиши, унинг электр тармоқларига салбий таъсири ва симметрияни тиклаш ҳамда реактив қувватни тўлиқ компенсация қилиш усуллари кўриб чиқилади. Аввалдаги тадқиқотларда кам ёритилган режим параметрлари ва ускуналарнинг аниқ моделлари асосида таҳлил олиб борилади [7].

Темир йўл электр таъминоти тармоғида кучланиш носимметриклигини ва ток гармоникаларини сезиларли даражада пасайтириш мумкин. Компенсация минималлаштирилади, бу эса ускуналарнинг ишлаш самарадорлиги ва иқтисодий фойдалилигини оширади. Стратегия амалда, симуляцияда ва лабораторияда ўзини оқлаган [8].

Реактив қувватнинг етишмаслиги электр тизимдаги ишончсизликнинг асосий сабабларидан биридир. Мақолада компенсация миқдори аниқланган ва қайси шинада қай даражада талаб борлиги эҳтимолий тақсимоот орқали баён этилган. АС модел DC моделига қараганда аниқроқ, чунки кучланиш, реактив қувват ва тармоқ тўлиқ ўрганилган. Методика реал режалаштириш ва инвестицион қарорлар учун қўлланилиши мумкин [9].

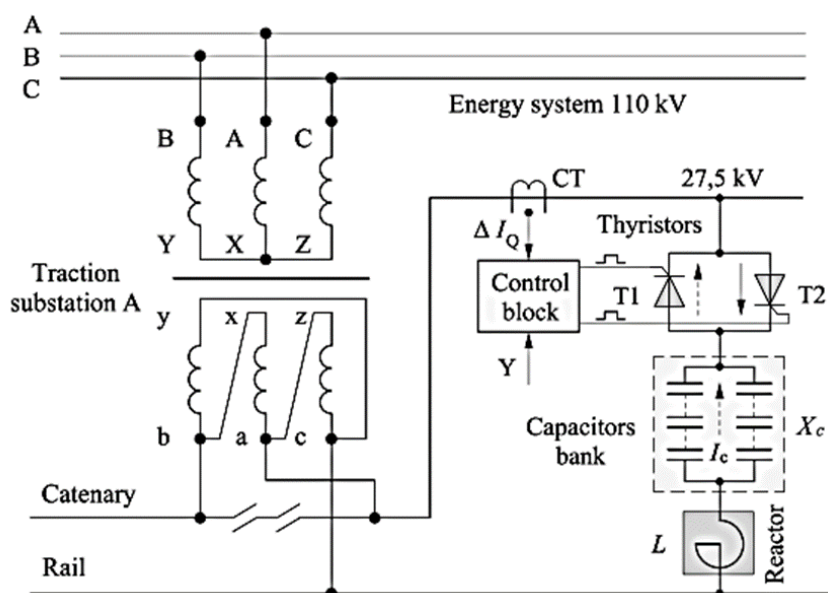
Реактив қувватни компенсация қилиш технологияларининг замонавий ҳолати ва уларнинг электр таъминоти тизимларидаги аҳамияти тўлиқ ёритилган. Муаллиф VAR (Voltage-Ampere Reactive) компенсациясининг принциплари, амалиётдаги қўлланилиши, тузилиши ва бошқарув алгоритмларини таҳлил қилган. Хусусан, тиристорли ва ўзини ўзи ўчирадиган (IGBT, IGCT) элементлар асосидаги статик VAR компенсаторларнинг ривожланишига эътибор қаратилган [10].

VAR компенсаторлари электр тармоқларида кучланиш барқарорлигини, энергия сифатини ва ишончлилини оширади. Муаллиф замонавий тиристорли ва Pulse Width Modulation (PWM) асосидаги статик компенсаторларнинг келажакдаги ривож ва асосий тенденциялари ҳақида маълумот беради. Ушбу технологиялар тезкор бошқариш, қисқарган йўқотишлар ва узатиш линияларига капитал харажатларни камайтириш имконини беради. Энергия тизимларида реал вақтда маълумотлар асосида оптимал бошқарув концепцияси VAR компенсация имкониятларини кенгайтиради [11].

Мақолада электр энергетика тизимларидаги реактив қувватни компенсацияловчи қурилмаларнинг асосий турлари ва уларнинг ишлаш принциплари таҳлил қилинган. Ҳар бир тур учун тузилиш, вазифа, қўлланилиш соҳаси ва техник-иқтисодий самарадорлик масалалари ёритилган. Бу мақола электр энергетикада реактив қувватни самарали бошқариш учун мавжуд технологияларнинг тўлиқ ва тизимли таҳлилини беради. Ҳар бир қурилманинг вазифаси, ишлаш принципи ва техник афзалликлари ёритилган [12].

Компенсация қилиш ускунаси параметри реактив қувватнинг динамик қийматини бошқариш учун муаллиф тиристорлардан ясалган ва кетма-кет ҳамда қаршили йўналишда уланган тиристорли клапанлардан иборат электрон қурилмани улашни таклиф қилади.

Тиристорга мос келувчи очиш сигналларини юбориш орқали тўғри йўналишда истеъмол қилинадиган реактив қувват ва тескари йўналишда компенсация қилинадиган реактив қувват қийматини бошқариш мумкин. Реактор уланиши ва тиристорли реактив қувват компенсацияси (сиғимли ва индуктив) қурилмаларининг соддалаштирилган автоматик бошқарув схемалари ишлаб чиқилган. Улар 1-расмда келтирилган. Конденсатор блоги ва реактор кетма-кет уланган. Реактив бошқарув асосида бошқарув тизими лойиҳалаштирилган. Реактив қувват компенсацияси режимини ўрганиш учун янги бошқарув тизими ва кетма-кет ҳамда параллел йўналишда уланган тиристорлардан иборат электрон қурилма бошқарув тизимини жорий қилиш таклиф қилинган [13]. Бошқарув тизими икки ҳалқали бўлиб, актив ва реактив ток оқим компонентларини алоҳида бошқаришга имкон беради (1-расм). Асосий электр схеманинг бошқарув блоклари сигналлари ёрдамида кўрсатилган.



1-расм. Реактив қувватни компенсация қилишнинг соддалаштирилган ва автоматик бошқарув схемаси. CT – ток трансформатори; ΔI_Q – реактив токнинг оғиши; L – реакторнинг индуктивлиги; X_C – конденсаторлар блокнинг сиғим қаршилиги; Y – бошқарув сигнали; T_1, T_2 – тиристорлар; I_c – реактив қувватни компенсация қилиш токи; A, B, C – фазалар.

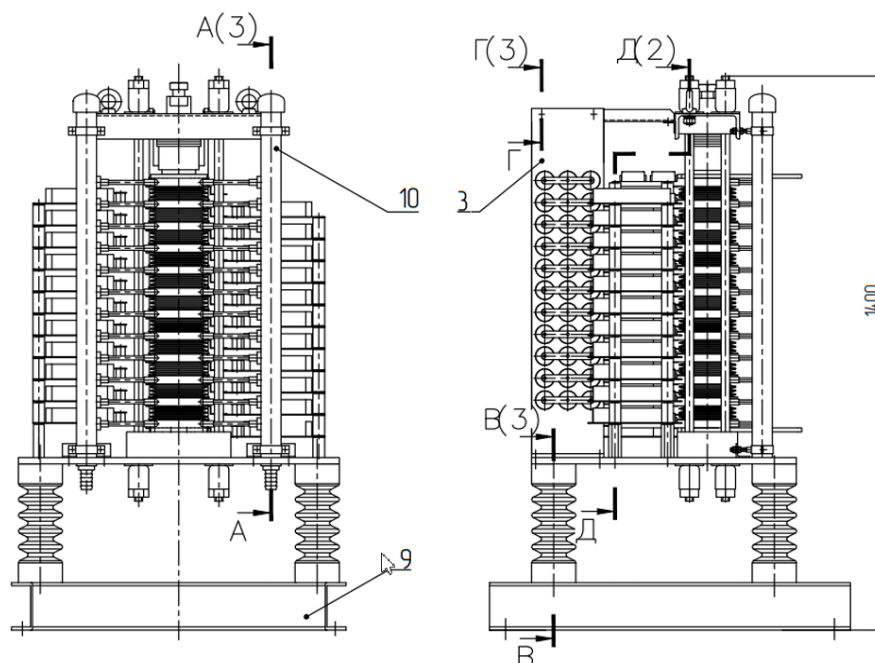
Ушбу мақолада реактив қувватни компенсация қилишда технологияларининг замонавий ҳолати ва уларнинг электр таъминоти тизимларидаги аҳамияти тўлиқ ёритилган. Муаллиф VAR компенсациясининг принциплари, амалиётдаги қўлланилиши, тузилиши ва бошқарув алгоритмларини таҳлил қилган. Хусусан, тиристорли (Thyristor Switched Capacitor (TSC), Thyristor Controlled Reactor (TCR)) ва ўзини ўзи ўчирадиган (Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT) элементлар

асосидаги статик VAR компенсаторларнинг ривожланишига эътибор қаратилган. VAR компенсаторлари электр тармоқларида кучланиш барқарорлигини, энергия сифатини ва ишончлилиқни оширади. Муаллиф замонавий тиристорли ва PWM (Pulse Width Modulation) асосидаги статик компенсаторларнинг келажакдаги ривож ва асосий тенденциялари ҳақида маълумот беради. Ушбу технологиялар тезкор бошқариш, қисқарган йўқотишлар ва узатиш линияларига капитал харажатларни камайтириш имконини беради. Энергия тизимларида реал вақтда маълумотлар асосида оптимал бошқарув концепцияси VAR компенсация имкониятларини кенгайтиради [13].

Ушбу мақолада реактив қувватни сақлаб қолиш (Reactive Power Conservation) тамойилига асосланган янги компенсация усуллари таклиф этилади. Муаллифлар реактив қувватни аниқлаш ва уни самарали компенсация қилиш бўйича иккита янги таърифни илгари сурадилар:

1. Энергияга боғлиқ таъриф (energy-based definition) – тармоқда сақланадиган ўртача энергия миқдорини аниқлайди.
2. Дифференциал таъриф (differential-based definition) – динамик таҳлил ва компенсация назорати учун мўлжалланган. Бу икки ёндашув гармоникалар мавжуд бўлган носинусоидал ҳолатларда ҳам қўлланилиши мумкин бўлган янги компенсация стратегияларини ишлаб

чиқишга имкон беради. Ушбу мақолада реактив қувватни нафақат классик таъриф орқали, балки энергия ва динамик таҳлил нуқтаи назаридан ҳам аниқлаш имкони кўрсатилган. Муаллифлар таклиф қилган иккита компенсация усули тадқиқот ва амалий муҳандислик соҳаларида янги ёндашувлар учун асос бўлиб хизмат қилади. Реактив қувватни аниқ ва динамик компенсация қилиш орқали ток қисқариши, гармоник камайиши ва $\cos\varphi$ ошиши таъминланади [15].



2-расм. Тиристорли вентил модули.

Темир йўл тармоқларининг тортувчи электр таъминоти тизимида юзага келадиган реактив қувватни камайитиш мақсадида ишлатиладиган бўйлама компенсация қурилмалари (Longitudinal compensation devices “LCD”) параметрларини аниқлаш методикасини таҳлил қилади. Муаллифлар 25 кВ ва 2×25 кВ тизимларида LCD ўрнатиш мақсадга мувофиқлиги, индуктив қаршилик, ток ва қувват ҳисоб-китобларини батафсил ёритади. Реактив қувватнинг ортиқча миқдори энергия йўқотишларини орттиради, кучланишни номинал қийматдан оғишига сабаб бўлади ва электр энергия сифатини бузади.

“Ўзбекистон Темир йўллари” АЖ тасарруфидаги тортувчи нимстанцияларга ўрнатилган реактив қувватни компенсацияловчи қурилманинг “ВТСВН-2000/10 УХЛ4.2” моделидаги оптик бошқариладиган, суюқлик билан совитилувчи тиристорли вентил учун мўлжалланган техник тавсиф ва эксплуатация қўлланмасига асосан, у 2016 йилда Москва шаҳридаги “ЭНЕРКОМ-СЕРВИС” илмий-ишлаб чиқариш маркази томонидан тайёрланган [16]. Қуйида ушбу қурилманинг асосий хусусиятлари ва тизимлари батафсил таҳлил қилинади:

1. Қурилма номи ва вазифаси — ВТСВН-2000/10.

ВТСВН — оптик бошқариладиган, мустақил таъминотли вентилли тиристор. 2000/10 — 2000 А номинал ток, 10 кВ номинал кучланиш. Қурилма реактив қувватни компенсациялашда ишлатилади, айниқса, STATCOM ва SVC (тиристорли реакторли гуруҳлар) тизимларида қўлланилади. Қурилма тармоқлардаги кучланиш барқарорлигини сақлаш, кучланиш тебранишларини ва носимметриясини камайитиш мақсадида қўлланилади. Вентилнинг фазаси бир ёки бир нечта тиристорли модуллардан иборат бўлиб, улар конструктив жиҳатдан тўлиқ яқунланган қурилма ҳисобланади (2-расм).

2. Совутиш тизими. Қурилмада этиленгликол асосидаги суюқликли совутиш тизими мавжуд. Бунда насосли айланиш тизими, ҳаво орқали чиқиш радиатори, ҳарорат ва босим назорати тизими мавжуд. Барча тиристор вентиллар учун умумий совутиш линияси мавжуд.

Совитиш суюқликнинг 55% қисми этиленгликол ва 45 % қисми деионланган сувдан ташкил топган.

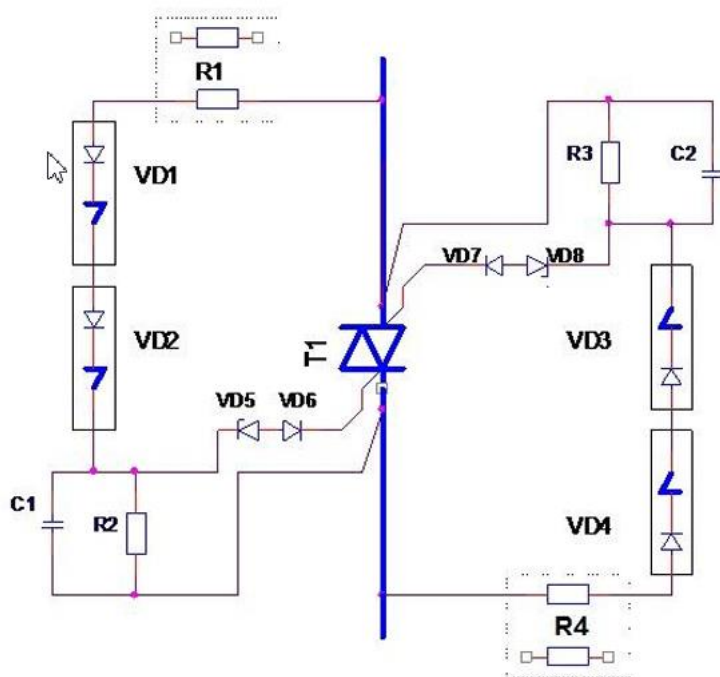
3. Тиристорли модулнинг тузилиши ва компонентлар. Модулда 11 донa тиристор ва 12 донa радиаторли совитгич мавжуд. Вентилдаги тиристорлар ҳар иккала йўналишда ҳам кучланиш ошишидан индивидуал ҳимояга эга. Ҳимоя даражаси эса юқори кучланишли динисторлар — БОДлар (босимга асосланган очиш диодлари) синфи орқали белгиланади. Ҳар бир тиристор учун индивидуал оптик бошқарув мавжуд. Бошқарув оптик толали кабел орқали амалга оширилади, энергия эса токли ҳалқа орқали таъминланади. Бошқарув импульсларни ҳосил қилиш, ҳолатни мониторинг қилиш ва БОД ишга тушириш учун ишлатилади. Бошқарув шкафи тиристор ҳолатини, ҳароратни, носозликларни доимий назорат қилади, носозлик аниқланганда автоматик узиш, сигнализация ва реле ҳимоя тизимини ишга туширади.

1-жадвал.

Совитиш тизимининг асосий техник кўрсаткичлари

Параметр	Қиймати
Номинал ток	2000 А
Максимал ток	2200 А
Номинал кучланиш	10 кВ
Максимал чиқиш ҳарорати	+52°C
Совитиш суюқлиги оқими	50 л/мин
Совитиш қуввати	20 кВт
Қурилма массаси	220 кг
Ўлчами	900x780x1400 мм

5. Ҳар бир тиристор БОД орқали ҳимояланган (3-расм). Кучланиш ошган ҳолатда тиристор автоматик ишга тушади. Бошқарув сигналларидаги узилишлар оптик таҳлил орқали аниқланади. Ҳар бир носозлик бўйича диагностика алгоритми мавжуд.



3-расм. Таркибида БОД қурилмаси мавжуд бўлган тиристорли вентилларда ҳимоя схемаси.

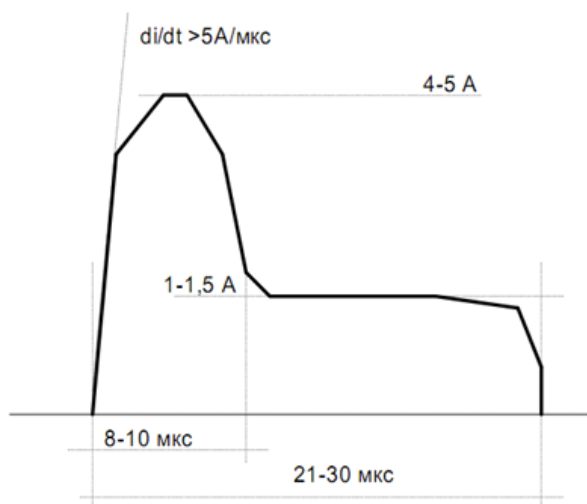
6. Техник хизмат кўрсатиш (Эксплуатация йўриқномаси). Ҳарорат, ток оқими, бошқарув сигналлари ва компонентлар мунтазам текширувдан ўтади. Назорат ва тест схемалари ёрдамида носозликлар аниқланади ва ёзиб борилади.

7. Тиристор синаш методикаси. Ҳар бир тиристор мегомметр, генератор ва осциллограф ёрдамида тестдан ўтказилади. БОД ҳимоя ҳолатлари, оптик импульслар ва занжир қаршилиги ўлчанади. Синов схемалари билан бирга қадамма-қадам амалий қўлланмалар мавжуд.

8. Тиристорларни ишончли ишлашини таъминлаш учун уларга берилувчи бошқарув импульслари муайян ток ва вақт параметрларига

риоя қилган ҳолда шакллантирилиши лозим. Қуйидаги расмда тиристорни бошқариш токининг типик шакли келтирилган бўлиб, у бошқарув импульси вақт бўйича қандай ўзгаришини аниқ кўрсатиб беради.

Импульс бошланишида ток жуда тез ўсади, бу ўсиш тезлиги $di/dt > 5 \text{ A/мкс}$ бўлиши талаб қилинади. Бу босқич тиристорни ишончли равишда очиш учун жуда муҳим ҳисобланади. Импульс юқори нуқтага етиб борганда, бошқарув токи 4–5 А атрофида бўлади. Максимал ток қисқа муддатга бўлса ҳам, тиристорни очишни таъминлайди. Импульснинг кейинги қисмида ток 1–1,5 А гача камаяди ва 21–30 мкс давомида ушлаб турилади. Бу ток тиристорни очиқ ҳолатда ушлаб туриш учун етарли ҳисобланади. Импульснинг тўлиқ давомийлиги тахминан 30–40 мкс ташкил қилади. 4-расмда 8–10 мкс вақт оралиғида – тез ўсиш қисми, 21–30 мкс вақт оралиғида – жорий ҳолатни сақлаш қисмини кўрсатмоқда.



4-расм. Тиристорни очиш учун бошқарув электродига берилувчи ток импульсининг вақт бўйича шакли схемаси.

Тиристорга берилган бошқарув импульси етарли даражадаги токда ва тўғри шаклда бўлмаса тиристор очилмаслиги ёки кечикиб очилиши мумкин, очилган ҳолатда ноқонуний ёпилиш ёки титраш юз бериши мумкин. Шу сабабли тиристорни бошқариш импульсига ток қиймати, di/dt кўрсаткичи ва импульснинг давомийлиги каби параметрлар жуда катта аҳамиятга эга. Бу талабларга риоя қилиш тиристорнинг барқарор ишлашини ва электр схемаларининг ишончли бошқарилишини таъминлайди.

Қуввати 3600 кВАр бўлган реактив қувватни компенсацияловчи қурилманинг ишончли ишлаши орқали юқори энергия самарадорлигига эришиш мумкин. Ҳозирда

ушбу қурилманинг суюқлик асосидаги совитиш тизимида носозлик мавжуд. Бу эса электр таъминоти тизимида ортиқча электр энергия исрофларига, поездлар ҳаракатининг графикдан кечикишига ва тоғли ҳудудларда авариявий узилишларга олиб келмоқда. Темир йўл транспорти тоғли ҳудудларда жойлашганлиги ва темир йўл тоннеллари электр таъминотининг ҳам айнан тортиувчи нимстанцияга боғланганлиги инобатга олинса, мавжуд муаммо фавқулудда ҳолатларга олиб келиши мумкин. Суюқлик билан совитиш тизимининг камчиликлари сифатида қуйидагиларни келтириш мумкин. Ҳар доим бир меъёрда ишлаб, совитиш керак бўлмаган вақтда ортиқча энергия сарфланади. Насослар қаттиқ заррачалар билан тикилиши кузатилади. Совитиш автоматик бошқарилмайди ва тиристорли вентилнинг ортиқча қизиши тез-тез содир бўлмоқда. Юклама токи ўзгариб турган вақтда суюқлик оқими автоматик мослашмайди, бу эса энергия сарфини оширади ва тиристор вентилнинг хизмат муддатини 20–30% гача қисқартиради. Тизимни мажбурий ҳаволи совитиш тизимига алмаштириш орқали, совитиш шарт бўлмаган пайтларда энергия сарфини камайтириш, максимал совитиш талаб этилганда етарли совитишни таъминлаш мумкин. Бу совитиш тизимининг ишончилигини 50% гача оширади. Суюқлик асосидаги совитиш тизимида доимий насос, қувур ва суюқлик сатҳини назорат қилиш керак бўлади. Ҳаволи тизим эса вентиллятор ва радиаторлар орқали содда механизм асосида ишлайди ва ишончли ҳисобланади.

Реактив қувватни компенсацияловчи "ВТСВН-2000/10 УХЛ4.2" тиристорли вентилдаги суюқлик асосидаги совитиш тизимини мажбурий ҳаволи совитиш тизимига ўзгартириш учун модернизация юқори аниқликдаги техник таҳлил, иссиқлик ва аэродинамик ҳисоб-китобларни талаб қилади. Суюқлик (этиленгликол) орқали совитишни энергия тежайдиган, автоматик бошқариладиган мажбурий ҳаволи совитиш тизимига ўзгартириш қуйидаги техник параметрлар асосида амалга оширилади. Насослар, қувурлар, сатҳ датчиклари, ифлосланиш, тикилиш каби муаммолар бартараф этилади. Ҳаволи совитиш тизимига ўзгартиришда совитиш юкламага қараб автоматик бошқарилади. Ҳарорат асосида адаптив ишлаш – энергия тежалди. Суюқлик асосидаги совитиш тизимини мажбурий

ҳаволи совитиш тизимиға ўзгартириш қуйидаги техник шартлар асосида амалга оширилади. Иссиқлик чиқариш миқдори, тиристорнинг умумий иссиқлик қуввати, максимал юклама токи ва ҳар бир тиристордан ўртача иссиқлик миқдори чиқиши аниқланади.

Ҳаволи совитишда қуйидаги формула ишлатилади:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

ВТСВН-2000/10 тиристорли қурилмани мос ҳаволи совитиш тизимини лойиҳалаш учун:

1. Керакли совитиш қуввати:

Q — керакли совитиш қуввати (W),

m — ҳаво оқими (кг/с),

c_p – ҳавонинг иссиқлик сиғими (~1005 Ж/кг·К)

ΔT – ҳаво орқали рухсат этилган ҳарорат ўзгариши (масалан, 15–20°C)

$$Q = 2500 \text{ W} \quad \Delta T = 15^\circ \text{C} \quad (2)$$

$$m = 2500 / (1005 \cdot 15) = 0,165 \text{ kg/s} \quad (3)$$

$$P \approx 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad v = \frac{0,165}{1,2} = 0,137 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 492 \frac{\text{m}^3}{\text{soat}} \quad (4)$$

Демак, энг камида 500 m^3/soat (ёки 290 CFM) ҳаво оқимини таъминловчи вентиляторлар талаб қилинади.

2. Радиатор ва иссиқлик узатиш юзасини танлаш. Ҳаволи совитишда радиаторлар (heat sink) ишлатилади. Керак бўлган иссиқлик ўтказиш юзаси (A) қуйидагича аниқланади.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (5)$$

h — конвекция коэффиценти (10 – 40 Вт/м²·К, мажбурий ҳаво оқимида)

$$Q = 2500 \text{ Вт}, \Delta T = 15^\circ \text{C}$$

$$A = \frac{Q}{h \cdot \Delta T} = \frac{2500}{30 \cdot 15} = 5,5 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Ушбу юза радиаторларнинг қанотли профили орқали таъминланади.

3. Бошқарув тизимида PWM (Pulse Width Modulation) ва сенсорлардан фойдаланилади. Ҳарорат датчиклари (DS18B20, PT100) орқали реал вақтли назорат қилинади. PWM орқали вентилятор айланиш тезлигини бошқарилади. Arduino ёки PLC орқали радиаторлар, сигнализация ва ишлаш алгоритми яратилади.

4. Материал ва моделлаш. Радиатор материали алюминий ёки мисдан бўлиши керак. ANSYS, SolidWorks ёки COMSOL орқали термал таҳлил қилинади. FEM (finite element method) асосида иссиқлик тарқалиши текширилади.

5. Бошқарув тизимида Arduino ёки PLC дан фойдаланилади. PWM орқали вентилятор тезлигини ҳароратга мос равишда автоматик бошқарилади. Датчиклар: DS18B20, PT100 — ҳароратни реал вақтда назорат қилинади.

Темир йўл электр таъминоти тизимидаги тортиувчи нимстанцияга ўрнатилган реактив қувватни компенсация қилувчи қурилманинг бошқарилувчи қисми сифатида ишлатиладиган тиристор вентилни мажбурий ҳаво совитиш учун мўлжалланган радиатор ва вентиляторларни тўғри техник шартлар асосида танлаш орқали ўтказилаётган катта миқдордаги электр энергиясида ҳосил бўладиган иссиқликни самарали тарзда совутиб, тиристор ишончилигини таъминлаш ва унинг ишлаш муддатини узайтириш мумкин.

Радиатор ва вентиляторлар бу жараёнда муҳим роль ўйнайди, чунки улар иссиқликни тез ва самарали равишда атроф-муҳитга тарқатиш имконини беради.

Хулоса

1. Ушбу мақолада ҳозирги кундаги ривожланган давлатларнинг темир йўл тизимидаги реактив қувватни қоплаш жараёнларини шунингдек, РҚКҚ ларни конструктив, функционал ва бошқарув тизимлари таҳлил қилинди. Ўзбекистон темир йўллари АЖ даги РҚКҚ лардаги носозликларни бартараф этиш юзасидан таклифлар ишлаб чиқилди. Темир йўл электр таъминоти тизимидаги РҚКҚ ларни совутиш тизими параметрлари Ўзбекистон шароитига мослашувчанлиги ҳамда совутиш тизимларини ишончлилик кўрсаткичлари ўрганилди. Мақолада, реактив қувватни компенсацияловчи қурилманинг иссиқлик тарқалишини бошқариш, совутиш тизимининг самарадорлигини ошириш усуллари баён этилди.

2. Суюқлик билан совитиш тизимининг камчиликлари асосида ҳаволи совитишга ўтиш зарурати юзага келди. Насос ишдан чиқиши ва захиранинг мавжуд эмаслиги, ҳароратга мос автоматик бошқарувнинг йўқлиги, суюқликда қаттиқ заррачалар, тикилиш ва ифлосланиш ҳолатлари кузатилиши, суюқлик ҳарорати паст бўлса ҳам тизим ишлашда давом этиши натижасида энергия исроф бўлиши, яъни совитиш тизими қурилманинг иш режимида қараб ростланмаслиги суюқлик билан совитиш тизимининг камчиликлари ҳисобланади.

3. Иссиқлик чиқариш бўйича ҳисоб-китоблар бажарилди. 2500 Вт иссиқлик қувватини сўндириш учун рухсат этилган ҳарорат фарқи 15°C деб олиниб, конвекция тенгламалари асосида қуйидагилар ҳисобланди. Зарур ҳаво оқими: 497.5 м³/соат ёки 293 CFM, зарур совитиш юзаси: 5.56 м². Fischer Elektronik SK 579 модели радиатор танланди. Ушбу радиатор 1 метрда тахминан 1.1 м² юзага эга. Зарур умумий узунлик эса 5.05 метрни ташкил этади. Бунда максимал соддалаштирилган конфигурация – 5 та 1 метрилик SK 579 радиаторидан иборат. Ҳар бир радиатор жуфтига 1 дон 300 CFM PWM бошқарувли вентилятор керак бўлади.

4. Вентиляция бошқаруви учун автоматлаштирилган ечим тавсия этилди. Ҳарорат сенсорлари (DS18B20 ёки PT100) реал вақтли мониторинг учун PWM (pulse-width modulation) орқали вентилятор айланиш тезлигини бошқаради. Arduino/STM32/PLC асосидаги модул бошқарув – юклама токага мос ишлайди. Совитиш реал юкламага мослаштирилади — энергия 20–30% га тежалади. Насослар ва суюқлик сатҳини доимий кузатиш зарурати йўқолади. Ўртача совитиш тизими ишончлилиги 50% га ошади. Совитиш тизими тиристорларнинг хизмат муддатини 20–30% га узайтиради. Мазкур илмий-техник таҳлилга асосланган ҳолда, ВТСВН-2000/10 УХЛ4.2 тиристорли вентилдаги мавжуд суюқлик совитиш тизимини мажбурий ҳаволи совитиш тизимига алмаштириш техник, энергия самарадорлиги ва эксплуатация жиҳатидан тўлиқ асосланган. Ушбу ўзгариш мавжуд муаммоларни бартараф этади ва бутун реактив қувват компенсацияси тизимининг барқарор ишлашига хизмат қилади.

5. Ушбу тадқиқот темир йўл электр таъминоти тизимидаги тортувчи нимстанцияларда фойдаланилаётган РҚКҚ (реактив қувватни компенсацияловчи қурилма) нинг энергия самарадорлиги ва ишончли ишлашини таъминлашда совутиш тизимининг ҳал қилувчи аҳамиятга эга эканини аниқ кўрсатиб берди. Мавжуд суюқликли совутиш тизимларининг техник камчиликлари, жумладан насос тизимларидаги юқори энергия сарфи, автоматик бошқарувнинг етишмаслиги ва юқори хизмат кўрсатиш талаблари қурилма ишончлилигини пасайтираётгани қайд этилди.

6. Тадқиқот натижалари шундан далолат берадики, РҚКҚ тизимида мажбурий ҳаволи совутишни жорий этиш орқали совутиш самарадорлигини 50% гача ошириш, тиристор вентилнинг қизиб кетишини олдини олиш ва унинг хизмат муддатини узайтириш мумкин. Ҳисоб-китоб ва моделлаш ишлари орқали мажбурий ҳаволи совутиш тизими учун керакли техник параметрлар аниқланди: камида 500 м³/соат ҳаво оқими, тахминан 5.5 м² иссиқлик узатиш юзасига эга радиаторлар, PWM орқали бошқариладиган вентиляторлар ва ҳарорат сенсорлари асосида ишловчи интеллектуал бошқарув тизими тавсия этилди. ВТСВН-2000/10 тиристорли қурилмаси мисолида амалдаги суюқликли совутиш тизимини энергия тежовчи, автоматлаштирилган ва хизмат кўрсатиш жиҳатдан қулай бўлган мажбурий ҳаволи совутиш тизимига модернизация қилишнинг самарали йўллари кўрсатилди. Илмий мақола натижалари темир йўл электр таъминотидаги энергия йўқотишларини камайтириш, таъминот тизими ишончлилигини ошириш, хизмат харажатларини қисқартириш ҳамда экологик барқарорликни

таъминлашга ҳисса қўшади. Келгусида ушбу ечимлар асосида интеллектуал бошқарувга эга, мослашувчан ва энергия самарадор РКҚҚ тизимларини жорий этиш имкониятлари кенгайиши кутилмоқда.

Адабиётлар

- [1]. Geun-Joon Lee, “Superconductivity Application in Power System,” “Applications of High-Tc Superconductivity,” Edited by, Adir Moysés Luiz, ISBN 978-953-307-308-8, Jun. 2011.
- [2]. M. Obais, and J. Pasupuleti, “Harmonics Reduction of Thyristor Controlled Reactor with Minimal No Load Operating Losses,” Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering Vol. 2, No. 7, Jul. 2011.
- [3]. N. Abramovich and Y. A. Sychev, “Shunt active correction system analysis in conditions of industrial enterprises networks,” International Journal of Applied Engineering Research, volume 11(4), 2016, pp. 2640-2645
- [4]. Continental Control Systems, Reactive Power, “Continental Control Systems,” Boulder CO, USA, 2012. [Online]. Available from: <http://www.ccontrols.com>
- [5]. Abbreviations.com. "synchronous condenser." STANDS4 LLC, 2015. Web. 18 Jan. 2015. Available from: <http://www.abbreviations.com>
- [6]. P. Marken, M. Henderson, D. LaForest, J. Skliutas, J. Roedel, and T. Campbell, “Selection of Synchronous Condenser Technology for the Granite Substation,” New Orleans, LA, USA, IEEE, Apr, 2010.
- [7]. O.Z.Toirov, Sh.Sh.Azimov “Temir yo‘l elektr ta‘minotining energiya samaradorligini baholash mezonlari” “O‘zbekistonda yangi iqtisodiy islohotlar sharoitida muhandislik sohalarini rivojlantirishning istiqbollari va muammolari” respublika ilmiy-texnikaviy konferensiya. Qo‘qon-2025
- [8]. O.Z.Toirov, Sh.Sh.Azimov “Improvement of the cooling system of reactive power compensating devices used in railway power supply” E3S Web of Conferences, 497, 2023
- [9]. S. Mahapatra, A. Goyal, N. Kapil, “Thyristor Controlled Reactor for Power Factor Improvement,” International Journal of Engineering Research and Applications,” ISSN: 2248-9622, Vol. 4, Issue 4 (Version 2) pp.55-59, April 2014.
- [10]. O.Z.Toirov, Sh.Sh.Azimov “Temir yo‘l elektr ta‘minotida reaktiv quvvatni kompensatsiyalovchi qurilmalarni takomillashtirish orqali elektr energiya samaradorligini oshirish usullari” professor T.S. Kamalov tavalludining 90 yilligiga bag‘ishlangan “Energetika va energiya tejash muammolari” respublika ilmiy-amaliy anjumani 13-14 may 2025-yil
- [11]. N.G. Hingorani, L. Gyugyi, “Understanding FACTS – Concepts and technology of Flexible AC Transmission Systems”, IEEE Press, 2000.
- [12]. Кириллов И. В., Апальков Р. Г., Рахманов И., Попиль С. В. Сравнительный анализ систем охлаждения силовых тиристоров табличного исполнения // The Scientific Heritage. 2021. №71-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-sistem-ohlazhdeniya-silovyyh-tiristorov-tabletochnogo-ispolneniya>
- [13]. S. Dhivya. “Reactive power compensation and bus voltage regulation using thyristor switched capacitor” Malaya Journal of Matematik, Vol. 5, No. 2, 4199-4205, 2020. <https://doi.org/10.26637/MJM0520/1093>
- [14]. O.Toirov, Sh.Azimov “Temir yo‘l elektr ta‘minotida qo‘llaniladigan reaktiv quvvatni kompensatsiya qiluvchi qurilmalarning sovetlash tizimini takomillashtirish”. Informatika va energetika muammolari. Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. Toshkent – 2024.
- [15]. Gavrilovic B, Bundalo Z (2018) “Reactive Power Compensation in Traction Power System of Serbian Railways”. Journal of Biostatistics and Biometric Applications Volume 3. Issue 2 July 18, 2018. Belgrade, Serbia.
- [16]. Jianming Sun , Yao Duan , Yumin Xiong , Buhan Zhang “Study of Reactive Power Compensation for High Speed Railway Design” 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems oi: 10.1016/j.egypro.2012.02.114.
- [17]. Lionginas Liudvinavicius. “The methods of reactive power compensation in the 25 kv, 50 hz contact network”. Transport problems 2018 volume 13 issue 1. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.6 Vilnius, Lithuania.
- [18]. A.F. Popov and M. Fratu “Reactive power compensation in the railway electrical traction system, using synchronous machines controlled by SCADA” International Conference CI Bv 2020 Civil Engineering and Building Services IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1138 (2021) 012038 doi:10.1088/1757-899X/1138/1/012038
- [19]. Vítor A. Morais , João L. Afonso, Adriano S. Carvalho 1 and António P. Martins New Reactive Power Compensation Strategies for Railway Infrastructure Capacity Increasing 25 August 2020 Energies 2020, 13, 4379; doi:10.3390/en13174379.
- [20]. Lionginas Liudvinavicius. Compensation of Reactive Power of AC Catenary System 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.364

**KIBERHUJUMLAR VA KIBERXAVFSIZLIKNING KENG QAMROVLI TAHLILI:
YANGI TENDENSIYALAR VA SO'NGGI RIVOJLANISHLAR**

A.V. Kabulov¹, N.T. O'rinov²

¹O'zbekiston milliy univrsiteti,

²Andijon davlat universiteti,

anvarkabulov@mail.ru, nodirbekurinov1@gmail.com tel: 88 838 88 44

(Qabul qilindi 06.10.2025 y.)

Annotatsiya: Hozirgi davrda iqtisodiy, ijtimoiy, madaniy va davlat faoliyatlarining aksariyati, shuningdek mamlakatlar o'rtasidagi hamkorliklar kiber-makon orqali amalga oshirilmoqda. So'nggi yillarda ko'plab kompaniyalar va davlat tashkilotlari kiberhujumlar va simsiz aloqa texnologiyalariga oid xavflarga duch kelmoqda. Jamiyatning elektron texnologiyalarga yuqori bog'liqligi sababli ma'lumotlarni himoya qilish dolzarb masalaga aylanmoqda. Kiberhujumlar asosan moliyaviy zarar yetkazish yoki siyosiy hamda harbiy maqsadlarni amalga oshirishga qaratiladi. Ularning asosiy turlariga kompyuter viruslari, ma'lumot o'g'irlanishi, DDS va boshqa hujum vektorlari kiradi. Turli tashkilotlar ushbu xavflarni kamaytirish uchun turli himoya yechimlaridan foydalanmoqda. Tadqiqotda kiberxavfsizlikning zamonaviy yondashuvlari, standart ramkalari, yangi turdagi hujumlar hamda mavjud metodlarning kuchli va zaif tomonlari tahlil qilingan. Shuningdek, kiberxavfsizlik sohasidagi so'nggi rivojlanishlar va tendensiyalar yoritilgan. Mazkur ish IT va kiberxavfsizlik sohasida izlanish olib boruvchi tadqiqotchilar uchun foydali manba hisoblanadi.

Kalit so'zlar: axborot texnologiyalari, kiberhujumlar, kiberxavfsizlik, yangi tendensiyalar, kalitlarni boshqarish

Аннотация: В современную эпоху большинство экономической, социальной, культурной и государственной деятельности, а также сотрудничество между странами осуществляется через киберпространство. В последние годы многие компании и государственные учреждения сталкиваются с кибератаками и угрозами, связанными с беспроводными технологиями связи. Высокая зависимость общества от электронных технологий делает защиту данных актуальной и приоритетной задачей. Кибератаки, как правило, направлены на нанесение финансового ущерба, а также на достижение политических и военных целей. К основным их видам относятся компьютерные вирусы, кража данных, DDoS-атаки и другие векторы угроз. Различные организации применяют разнообразные методы защиты для снижения данных рисков. В данном исследовании проанализированы современные подходы к кибербезопасности, стандартные рамочные модели, новые типы атак, а также сильные и слабые стороны существующих методов. Кроме того, освещены последние достижения и тенденции в области кибербезопасности. Настоящая работа представляет собой ценный источник информации для исследователей, занимающихся вопросами ИТ и кибербезопасности.

Ключевые слова: информационные технологии, кибератаки, кибербезопасность, новые тенденции, управление ключами

Abstract: In the modern era, most economic, social, cultural, and governmental activities, as well as cooperation between countries, are conducted through cyberspace. In recent years, many companies and government institutions have faced cyberattacks and threats related to wireless communication technologies. Due to society's high dependence on electronic technologies, data protection has become a crucial and pressing issue. Cyberattacks are generally aimed at causing financial damage or achieving political and military objectives. Their main types include computer viruses, data theft, DDoS attacks, and other threat vectors. Various organizations employ different security measures to mitigate these risks. This study analyzes modern approaches to cybersecurity, standard frameworks, emerging types of attacks, and the strengths and weaknesses of existing methods. Furthermore, it highlights the latest developments and trends in the field of cybersecurity. The present work serves as a valuable resource for researchers engaged in studies related to IT and cybersecurity.

Keywords: information technology, cyber attacks, cybersecurity, new trends, key management.

1. Kirish

So'nggi yigirma yildan ortiq vaqt mobaynida Internet global muloqotning ajralmas qismi sifatida shakllanib, insoniyat hayotining deyarli barcha jabhalariga chuqur singib bormoqda.

So'nggi yillarda ushbu sohada amalga oshirilgan texnologik innovatsiyalar va xizmatlarning arzonlashuvi Internetning mavjudligi, undan foydalanish ko'lamini hamda samaradorligini sezilarli darajada oshirdi. Natijada, bugungi kunda dunyo bo'yicha Internet foydalanuvchilari soni 3 milliarddan oshgan (Tan va boshq., 2021). Internet bugungi kunda global iqtisodiyotning asosiy harakatlantiruvchi kuchlaridan biri bo'lib, yiliga milliardlab dollar daromad keltiruvchi yirik tarmoq sifatida shakllandi (Judge va boshq., 2021).

Hozirgi davrda mamlakatlarning iqtisodiy, tijorat, madaniy, ijtimoiy va davlat faoliyatlari, shuningdek, ular o'rtasidagi o'zaro hamkorliklarning aksariyati, shu jumladan shaxslar, nodavlat tashkilotlari hamda davlat muassasalari darajasidagi aloqalar ham kiber-makon orqali amalga oshirilmoqda (Aghajani va Ghadimi, 2018). Muhim va sezgir infratuzilmalar hamda tizimlar kiber-makonning ajralmas qismi sifatida mavjud bo'lib, ular ushbu makon orqali boshqariladi, nazorat qilinadi hamda ulardan foydalaniladi. Shu bilan birga, muhim va maxfiy ma'lumotlarning katta qismi ham kiber-makonga ko'chirilgan yoki bevosita shu yerda yaratilgan (Akhavan-Hejazi va Mohsenian-Rad, 2018). Bugungi kunda ommaviy axborot vositalari faoliyatining katta qismi raqamli muhitga o'tgan, moliyaviy operatsiyalar asosan shu makonda amalga oshirilmoqda, va fuqarolarning kundalik faoliyati ham tobora ko'proq kiber-makon bilan chambarchas bog'lanib bormoqda (Priyadarshini va boshq., 2021).

Kiber-makon bizneslaridan olinadigan daromad mamlakatlarning yalpi ichki mahsuloti (YaIM)dagi ulushi sezilarli darajada ortib bormoqda va taraqqiyot darajasini o'lchash uchun belgilangan ko'rsatkichlar ichida kiber-makon ko'rsatkichlari muhim o'rin egallaydi. Mamlakatlarning moddiy va ma'naviy kapitalining sezilarli qismi kiber-makon uchun sarflanmoqda, fuqarolarning moddiy daromadlari hamda ma'naviy yutuqlari ham bevosita shu makon orqali shakllanmoqda yoki ularga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda (Amir va Givargis, 2020). Boshqa so'zlar bilan aytganda, fuqarolarning hayotining turli tomonlari kiberfazoga to'liq bog'langan bo'lib, ushbu fazodagi har qanday beqarorlik, xavfsizlik etishmasligi va muammolar ularning turmush tarzi va faoliyatiga bevosita ta'sir etadi (Li va boshq., 2020).

Biroq, kiber-makon davlatlar uchun yangi xavfsizlik muammolarini yuzaga keltirdi. Arzon kirish imkoniyati, anonimlik, tahdidning geografik manbasini aniqlash qiyinligi, keng ko'lamli ta'sir va shaffoflikning yo'qligi sababli bu makonda davlatlar, uyushgan guruhlar, terroristik tashkilotlar va hatto alohida shaxslar faoliyat yuritib, kiber-urush, kiberjinoyat, kibeterrorchilik va kibershuhratparastlik kabi tahdidlarni yuzaga keltirmoqda (Niraja va Srinivasa Rao, 2021). Bu holat kiber tahdidlarni an'anaviy milliy xavfsizlik tahdidlaridan farqlaydi. Chunki an'anaviy xavfsizlik tahdidlari ko'proq shaffof bo'lib, ularning sub'ektlari odatda davlatlar yoki ma'lum geografik hududlarda aniqlanishi mumkin bo'lgan millatlar hisoblanadi. Shu sababli, milliy xavfsizlikning an'anaviy talqini kiber-makon sharoitida jiddiy sinovdan o'tmoqda va samarasiz bo'lib qolmoqda (Sarker, 2021).

Oxirgi o'n yildan ortiq muddat davomida mutaxassislar kiberhujumlarning potentsial oqibatlarini muhokama etib kelmoqda (Shin va boshq., 2021). Bunday hujumlar jiddiy va keng miqyosli iqtisodiy yoki jismoniy zarar keltirishi mumkin. Masalan, moliyaviy tizimning hujjatlariga qaratilgan virus mamlakat birja bozorini tartibsizlikka solishi, noto'g'ri signallar yuborish orqali elektr stansiyalarining ishlashini to'xtatishi yoki hatto havo harakati boshqaruv tizimini buzib, aviahalokatlarga sabab bo'lishi mumkin (Snehi va Bhandari, 2021; Ahmed Jamal va boshq., 2021).

Shunday ekan, hukumatlar xalqaro hamjamiyat tomonidan qabul qilinadigan va umumiy tan olinadigan kiberhujum ta'rifini ishlab chiqmaguncha, mutaxassislar uchun ushbu masalaning murakkab va turfa qirralarini huquqiy jihatdan tahlil qilish juda mushkul bo'lib qoladi (Cao va boshq., 2021). Shu bois savol tug'iladi: kiberhujum nima, uning o'ziga xos xususiyatlari nimalardan iborat va umuman olganda, kiber-makonda amalga oshirilgan har qanday hujumni an'anaviy hujum sifatida baholash mumkinmi yoki yo'qmi (Gupta Bhol va boshq., 2021)?

Kiberhujumning keng qamrovli va aniq ta'rifi mavjud bo'lishi, shubhasiz, ushbu hujumlarning huquqiy muhitda baholanishiga va ularning oqibatlarini aniqlashga bevosita ta'sir ko'rsatadi (Furnell va boshq., 2020). Aks holda, aniq va umumiy qabul qilingan ta'rifning yo'qligi huquqiy jarayonni noaniq qiladi, turlicha talqinlar va qarorlarni yuzaga keltiradi hamda natijada

qarama-qarshi xulosalarga olib keladi (Alhayani va boshq., 2021). Shu sababli, kiberhujumga oid maqbul ta'rifga ega bo'lish zarurati va muhimligi shubhasizdir. Mazkur tadqiqotda avvalo kiberhujum mohiyati tushuntiriladi, so'ngra ularning tasnifi va bo'linishi ko'rib chiqiladi, mavjud ta'riflar xalqaro mutaxassislar va tashkilotlar nuqtayi nazaridan tahlil qilinadi. Nihoyat, maqolaning xulosalari keltiriladi.

2. Nazariy asoslar va adabiyotlar sharhi

Kiberhujumlar an'anaviy "axborot operatsiyalari" tushunchasidan kengroq ma'noga ega. Axborot operatsiyalari elektron urush, psixologik operatsiyalar, kompyuter tarmoqlaridagi faoliyatlar, harbiy aldov va xavfsizlik choralari muvofiqlashtirilgan ravishda qo'llashni, maxsus yordam va tegishli vositalar bilan birgalikda inson qarorlarini buzish, to'xtatish, vayron etish yoki o'zlashtirishni o'z ichiga oladi. Bu mexanizm milliy institutlarning qaror qabul qilish jarayonlaridan biri hisoblanadi (Hart va boshq., 2020).

AQSh Milliy strategiyasiga ko'ra, kiber-makon operatsiyalari hujum, mudofaa va "foydalanish imkonini ta'minlovchi" (enabling) tarmoq operatsiyalarini qamrab oladi (Ma va boshq., 2021). Uchinchi turdagi — ya'ni tarmoqdan foydalanish imkonini ta'minlovchi operatsiyalar — oddiy tarmoq hujumi yoki mudofaasidan farqli o'laroq, asosan ma'lumot yig'ish va tahlil qilishga qaratilgan bo'lib, ko'pincha hujumga tayyorgarlik ko'rish vazifasini bajaradi (Alghamdie, 2021). Bunday operatsiyalar propaganda tarqatish yoki axborot yig'ish maqsadlarida ham o'tkazilishi mumkin (Thomson, 2015). Shu bilan birga, ular muhim ma'lumotlarni o'g'irlash uchun ham ishlatilishi ehtimoldan xoli emas. Bunday holatlarda Trap Sniffers va Trap Doors vositalari kiberjosuslikda foydali hisoblanadi (Liu va boshq., 2021). Trap Doors — tashqi foydalanuvchiga kompyuter egasining bilimsiz istalgan paytda dasturiy ta'minotdan foydalanish imkonini beradi. Sniffers esa foydalanuvchilarning login va parollarini o'g'irlashda qo'llaniladi (Karbasi va Farhadi, 2021).

Kiberurushning oqibatlari quyidagi jihatlarni o'z ichiga olishi mumkin (Khan va boshq., 2020; Furnell va Shah, 2020; Mehrpooya va boshq., 2021):

- Davlat tuzumiga buzilish yoki milliy xavfsizlikka jahon tahdid solish;
- Bir vaqtda jismoniy urushni boshlash yoki unga tayyorgarlik ko'rish va zarur sharoitlarni yaratish;
- Mamlakatning xalqaro miqyosdagi obro'siga jiddiy zarar keltirish;
- Siyosiy va iqtisodiy munosabatlarni buzish;
- Katta miqyosda inson qurbonlari, sog'liq va xavfsizlikka xavf tug'dirish;
- Ichki tartibsizliklar va ijtimoiy beqarorlik;
- Davlat boshqaruv tizimida katta buzilishlar;
- Fuqarolarning ishonchiga, diniy, milliy va etnik qadriyatlarga zarba yetkazish;
- Milliy iqtisodiyotga og'ir zarar keltirish;
- Mamlakatning milliy kiberinfrazuzilmasiga keng ko'lamli zarar yoki uning izdan chiqishi.

Shuningdek, kiberurush uchun quyidagi besh ssenariyni ko'rib chiqish mumkin (Alibasic va boshq., 2016):

1. Hukumat homiyligidagi kiberjosuslik (kelajakdagi hujumlarni rejalashtirish uchun ma'lumot yig'ish).
2. Norozi kayfiyat yoki xalq qo'zg'oloniga tayyorgarlik sifatidagi kiberhujum.
3. Jihozlarni ishdan chiqarish va jismoniy agressiyani osonlashtirish maqsadidagi hujum.
4. Jismoniy agressiyaga qo'shimcha sifatida kiberhujum.
5. Yakuniy maqsad sifatida keng ko'lamli vayronagarchilik yoki izdan chiqarishni ko'zlovchi kiberhujum.

Kiberhujumlarning bir turi kriptografiya (shifrlash) hisoblanadi. Shifrlash — bu ma'lumotni maxsus kalit orqali qayta tiklash mumkin bo'lgan tarzda kodlash usulidir. U maxfiylikni kuchaytirish uchun qo'shimcha himoya darajasi sifatida qo'llanadi (Sun va boshq., 2018). Shifrlash va deshifrlash tizimi maxsus algoritmlarga asoslanadi va ularning kuchi zamonaviy texnologiyalar rivoji bilan uzluksiz mustahkamlanishi lozim (Zou va boshq., 2020). Shifrlash muhim va maxfiy ma'lumotlarni himoya qilish, jinoyatchilar tahdididan asrash yoki noqonuniy faoliyatlarni huquq-

tartibot organlaridan yashirishda kuchli vosita bo‘lib xizmat qiladi.

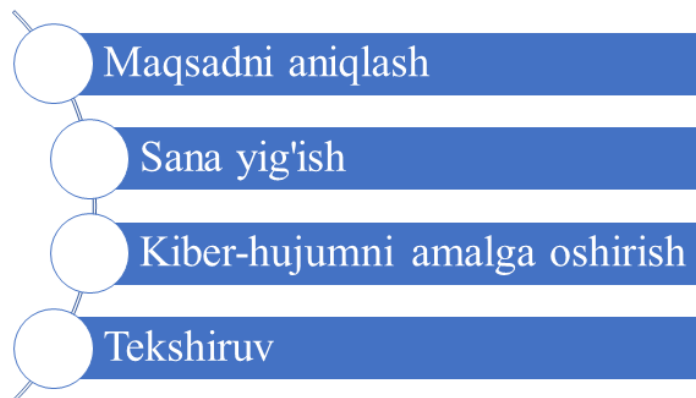
Umuman olganda, kiberjinoyat, kiberurush va kiberhujum o‘rtasida aniq konseptual farqlar mavjud. 2-jadvalda ularning o‘zaro farqlari yoritilgan.

2.1. Mutaxassislar nuqtayi nazaridan kiberhujum ta’rifi

Huquqiy va texnik sohalaridagi mutaxassislar tomonidan kiberhujumga bir nechta ta’riflar berilgan. Muhim ta’riflardan biri quyidagicha:

- Richard Clark: “Kiberhujumlar — bu davlatlar tomonidan boshqa davlatlarning kompyuterlariga yoki kompyuter tarmoqlariga kirib, ularga zarar keltirish yoki faoliyatini buzish uchun o‘tkaziladigan harakatlardir” (Motsch va boshq., 2020).

Ushbu ta’rif tahlil qilinganda, unda hujum sub’ekti, hujum maqsadi va niyati kabi uchta mezon belgilangan, biroq izdan chiqarish shakllari hisobga olinmagan (Cao va boshq., 2019). Shuningdek, ta’rifda faqat davlatlar sub’ekt sifatida ko‘rsatilgan. Aslida esa, agar biror davlat yurisdiksiyasi ostidagi kiber-makonda shaxslar yoki nodavlat tashkilotlar uchinchil davlatga qarshi hujum uyushtirsa, bu ta’rif ularni qamrab olmaydi. Natijada, bunday hujumlarga huquqiy baho berishda bo‘shliq paydo bo‘ladi. Shu sababli, keltirilgan ta’rif to‘liq emas va xususiy hamda nodavlat guruhlar tomonidan amalga oshirilgan hujumlarning katta qismini qamrab olmaydi (Zhang, 2017).



1-rasm. Kiberhujum anatomiyasi

1-jadval

Kibermakonning asosiy ta’riflari va tushunchalari (Ahmed Jamal va boshq., 2021; Alghamdie, 2021; Bullok va boshq., 2021; Ashraf va boshqalar, 2021)

Sarlavha	Ta’rif
Kiber makon	Bu axborot infratuzilmalari, aloqa tarmoqlari, kompyuter tizimlari, o‘rnatilgan mikroprotessorlar hamda muhim sanoat boshqaruv tizimlari negizida yaratilgan raqamli virtual muhit bo‘lib, unda axborotni ishlab chiqish, qayta ishlash, saqlash, uzatish, izlash va undan foydalanish jarayonlarida inson hamda texnologik tizimlar o‘rtasida uzluksiz o‘zaro ta’sir va bog‘liqlik mavjud bo‘ladi.
Kiber kapital	Bu axborot, ma’lumotlar, algoritmlar, tarmoqlar, dasturiy ta’minot, sun’iy intellekt tizimlari va foydalanuvchi faoliyati natijasida hosil bo‘ladigan intellektual hamda raqamli aktivlar majmui bo‘lib, u iqtisodiy raqobatbardoshlikni oshirish, innovatsiyalarni rivojlantirish va milliy xavfsizlikni ta’minlashda strategik resurs sifatida qaraladi.
Kiber zaiflik	Bu axborot tizimi, tarmoq, dasturiy ta’minot yoki apparat vositasidagi texnik, mantiqiy yoki tashkiliy kamchilik bo‘lib, u kiberhujumchilar tomonidan tizimga ruqsatsiz kirish, ma’lumotlarni o‘zgartirish, o‘g‘irlash yoki tizim faoliyatini izdan chiqarish maqsadida ekspluatatsiya qilinishi mumkin. Kiber zaifliklar tizim xavfsizligining zaif nuqtalarini tashkil etadi va ular odatda noto‘g‘ri konfiguratsiya, himoya mexanizmlarining yetarli darajada bo‘lmasligi yoki inson omiliga bog‘liq xatoliklar natijasida yuzaga keladi.

Kiber tahdidlar	Bu axborot tizimlari, tarmoqlar, dasturiy ta'minot yoki raqamli infratuzilmalarga qarshi zarar yetkazish, ruxsatsiz kirish, ma'lumotlarni o'g'irlash yoki ularning yaxlitligi va mavjudligini buzish maqsadida amalga oshirilishi mumkin bo'lgan potentsial yoki real xavfdir. Kiber tahdidlar texnik, tashkiliy yoki inson omiliga asoslangan bo'lishi mumkin bo'lib, ular davlatlar, tashkilotlar yoki shaxslarning axborot xavfsizligiga bevosita tahdid soladi.
Kiber tahdid darajasi	Bu ma'lum bir axborot tizimi, tarmoq yoki raqamli infratuzilmaga nisbatan aniqlangan kiber tahdidning ehtimolligi va uning mumkin bo'lgan zarar (ta'sir) darajasini birlashtirib ifodalovchi o'lchovdir. U tahdidning real yoki potentsial xususiyatlarini (manba, metod, maqsad), tizimning zaiflik darajasini va himoya choralari samaradorligini hisobga olgan holda tizimli tarzda baholanadi.
Kiber tahdidlar ehtimoli	Kiber tahdidlar ehtimoli texnik zaifliklar, inson omili, tarmoqdagi noto'g'ri sozlamalar va himoya sustligi orqali namoyon bo'lib, u juda yuqori, yuqori, past yoki juda past darajada bo'lishi mumkin.
Kibertahdidning intensivligi	Juda yuqori (falokat), yuqori (inqiroz), o'rtacha (katta xavfsizlik hodisasi), past (xavfsizlik hodisasi) va juda past (xavfsizlik hodisasi)
Kiberhujum	Kiber-aktivning xavfsizlik siyosatini buzishga qaratilgan har qanday ruxsatsiz kiberharakat kiberhujum deb ataladi. Axborot tizimiga qarshi kiber-quoldan qasddan kiber-hodisaga olib keladigan tarzda foydalanish ham kiberhujum hisoblanadi.
Kiber qurol	Kiber qurol - bu boshqa kibertizimlarning tuzilishi yoki ishlashiga zarar etkazish uchun mo'ljallangan va ishlab chiqarilgan tizim. Ushbu tizimlar orasida bot tarmoqlari, mantiqiy bombalar, kiber zaifliklardan foydalanish dasturlari, zararli dasturlar va xizmat hujumlari va tarqatilgan xizmatlarning oldini olish uchun trafikni yaratish tizimlari kiradi.
Kiber urush	Kiberurush - bu mamlakatlarning milliy kibermanfaatlariga qarshi amalga oshiriladigan va eng og'ir oqibatlariga olib keladigan eng yuqori darajadagi va eng murakkab kiberhujum (kiberoperatsiya) turidir.
Kiber urushning kelib chiqishi	Tajovuzkor davlatning kiber kuchlari yoki ushbu davlatlar ostida tashkil etilgan guruhlar, bu kuchlar tomonidan boshqariladigan yoki tashlab qo'yilgan kiber qurollar.
Kibermudofaa	Har qanday kiberhujumga to'sqinlik qilish, oldini olish, oldini olish, o'z vaqtida aniqlash, samarali va to'xtatuvchi javob berish uchun mamlakatning barcha qurolsiz kiber va kiber bo'lmagan vositalaridan foydalanish
Kiber biom	Kiberbioma turli sohalarda mamlakatni qo'llab-quvvatlovchi mahalliy va dinamik kiber muhitni shakllantirishni anglatadi.
Virus	Virus o'z-o'zidan ko'payadigan dastur bo'lib, u o'zini ko'paytirish orqali boshqa hujjatlar va boshqa dasturlarga tarqaladi va dasturlarning noto'g'ri ishlashiga olib kelishi mumkin. Kompyuter virusi biologik virus kabi harakat qiladi, u ko'payish orqali xost tanasining hujayralariga tarqaladi. Ba'zi mashhur viruslar: NIMDA, SLAMMER va SASSER.
Hacker	Tizimga ruxsatisiz kirgan yoki uni ko'rib chiqish, nusxalash, almashtirish, o'chirish yoki yo'q qilish uchun ma'lumotlarga kirish imkoniyatini oshirgan shaxs.

Kiber-jinoyatchilik, kiber-hujumlar va kiber-urush o'rtasidagi farq (Zhang, 2017; Dash va boshq., 2021)

Kiberharakat turi	Hususiylatlari
Kiber-jinoyat	Kiber harakatlar faqat nodavlat tajovuzkorlar tomonidan amalga oshiriladi.
Kiber-jinoyat	Kiber harakatlar kompyuter tizimi tomonidan amalga oshiriladi va faqat jinoyat qonunchiligini buzadi.
Kiberhujum va kiberurush	Kiberhujumning maqsadi kompyuter tarmog'ini yo'q qilish va ishlashini buzishdir.
Kiberhujum va kiberurush	Hujum siyosiy yoki xavfsizlik maqsadlariga ega bo'lishi kerak.
kiber urush	Kiber hujumning ta'siri qurolli hujum bilan bir xil yoki kiber harakat qurolli hujum sharoitida sodir bo'ladi.

(1) Michael Hayden: “Boshqa bir davlatning kompyuter tarmoqlarini ataylab izdan chiqarish yoki yo'q qilishga qaratilgan har qanday urinish” (Robinson va boshq., 2015). Albatta, ushbu ta'rif juda umumiy bo'lib, kiberjinoyat, kiberhujum va kiberurush o'rtasida farqni aniq belgilamaydi. Ularning aniqlanishi borasida noaniqlik mavjudligi sharhlovchilar va siyosat ishlab chiquvchilarning qarorlariga ta'sir qiladi. Urush qoidalarining keng doiradagi talqini kiber makonni erkin qoldiradi, bu esa urushning kengayishi va davlatlararo tajovuzkorlikning kuchayishiga xavf tug'dirishi mumkin (Edgar va Manz, 2017). Demakki, ushbu ta'rifning umumiyliги uning asosiy zaif tomonidir. Birinchi ta'rifda hujumchilar faqat davlat tomonidan amalga oshirilishi mumkin deb cheklangan bo'lsa, bu ta'rifda esa umumiylik shunchalik kengki, uni turlicha talqin qilish oson, natijada esa davlatlararo munosabatlarda chalkashliklarga olib kelishi, xavf tug'dirishi va xalqaro miqyosda tinchlikka tahdid solishi mumkin (Nicholson va boshq., 2012).

(2) Martin Libicki: “Raqamli hujumlar natijasida kompyuter tizimlari tashqi ko'rinishda odatiy ishlayotgandek ko'rinadi, biroq aslida noto'g'ri javoblar ishlab chiqaradi va tarqatadi” (Quigley va boshq., 2015). Ushbu yondashuv kiberhujumlarni ta'riflashda bir qator potentsial xavflarni istisno qiladi. Xususan, kiberinfratuzilmasi nishonga olingan davlat uchun milliy xavfsizlikka tahdid tug'diruvchi, ammo muhim hujum darajasiga yetmagan xavflar ushbu ta'rifdan chetda qoladi. Biroq bunday xavflar ham maqsadli davlatning kompyuter tizimlari va tarmoqlariga zarar yetkazishi mumkin. Shu bois, bunday hujumlarni e'tibordan chetda qoldiruvchi har qanday ta'rif yetarlicha to'liq va qamrovli emas (Damon va boshq., 2014; Shamel va boshq., 2016).

Tallinn qo'llanmasi guruhi: “Kiberhujum – bu insonlarga jarohat yoki o'lim yetkazishi, yoxud mulkni shikastlashi yoki yo'q qilishi mumkin bo'lgan hujumkor yoki mudofaa kiberoperatsiyadir.” Ushbu ta'rifdagi murakkab jihat – uning natijalarga asoslanganligidir. Ya'ni, ushbu ta'rif mualliflari nuqtai nazaridan, kiberhujum shundagina “hujum” sifatida e'tirof etiladiki, agar u insonlar yoki mol-mulkka moddiy va jismoniy zarar yetkazsa (Bullock va boshq., 2021). Demak, bu yondashuvda kiberhujumning huquqiy maqomi hujumning o'zi bilan emas, balki uning oqibatlar bilan belgilanadi. Shunday qilib, agar zo'ravonlik bilan bog'liq aniq va sezilarli oqibatlar kuzatilsa, xalqaro huquqning tegishli qoidalari — kuch ishlatishga ruxsat beruvchi huquq, urush olib borish huquqi hamda xalqaro mas'uliyat to'g'risidagi huquq me'yorlari qo'llaniladi (Chen va boshq., 2021).

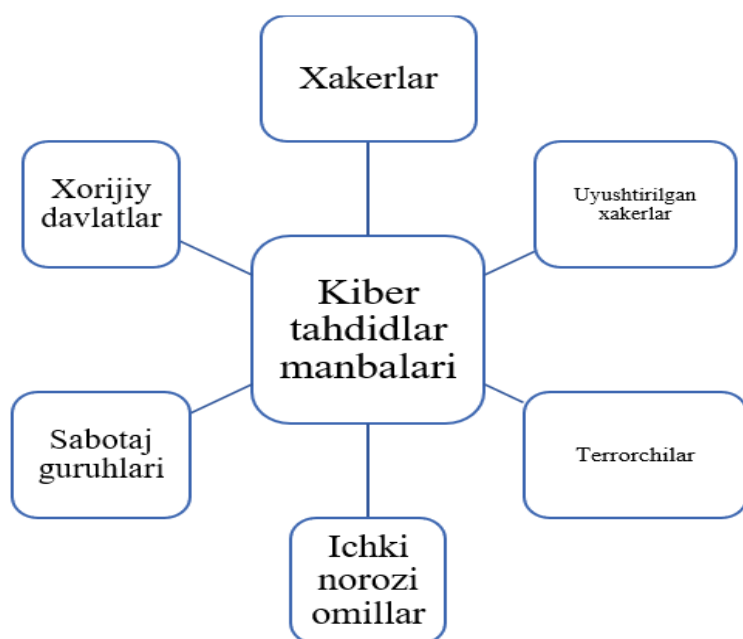
2.2. Kiber makondagi tahdidlar

Global kiber makon tabiatan murakkab va o'zaro kesishuvchi nazorat hududlarini vujudga keltiradi. Bu holatda turli milliy subyektlar o'ziga xos huquqiy tizimlar, madaniy qadriyatlar hamda strategik manfaatlarga ega bo'ladi (Iqbal va Anwar, 2020). Hozirgi davrda davlatlar global miqyosda kiber makon orqali aloqa, iqtisodiy va ijtimoiy jarayonlarni boshqarishda shunchalik chambarchas bog'lanib qolgan-ki, undan to'liq ajralish deyarli mumkin emas. Natijada, har bir

davlatning xavfsizlik siyosati, funksiyalari va strategik yo‘nalishlari tobora ko‘proq kiber makon omillarining ta‘siriga tushmoqda (Zhao va boshq., 2020).

Dunyo miqyosida dasturiy va apparat vositalarining ishlab chiqarilishi jarayonida mahsulot ta‘minot zanjiri bo‘yicha kafolatlarni to‘liq ta‘minlash mumkin emas. Kiber makonning masshtabligi uni sifat jihatidan ham o‘ziga xos qiladi. Masalan, bomba eng og‘ir sharoitlarda ham ma‘lum fizik radiusda zarar yetkazadi, biroq kiber tahdidlar juda keng ko‘lamda oqibatlarga olib kelishi mumkin. Demakki, bizda real dunyo operatsiyalarini boshqarish imkoniyatiga ega mexanizm mavjud.

Ko‘plab boshqa sohalarda bo‘lgani kabi, kiber makondagi operatsiyalar ham nisbatan oz sonli mutaxassislar tomonidan boshqariladi. Foydalanuvchilar foydalanayotgan dasturiy ta‘minot va apparatlarni o‘zgartirish yoki nazorat qilish imkoniyatiga ega emas. Sir emas-ki, ozgina odamlar butun kiberurushni samarali boshqarishi mumkin (Zhang va boshq., 2021). Shu bilan birga, zarur bo‘lgan bilim va malaka yuqori darajada markazlashgan bo‘lsa-da, kiber makonning tarqoq tabiati hech bir shaxs yoki guruhga uni to‘liq nazorat qilish imkonini bermaydi.



3-rasm. Kiber tahdidlar manbalari.

tizimlarning har biri turlicha resurs, imkoniyat va xavfsizlik tashvishlariga ega (Zhao va boshq., 2021). Kiber makonning o‘ziga xos tabiati shundaki, hozirgi kunda undagi faoliyatlarni aniq shaxslar, guruhlar yoki tashkilotlarga yuqori darajadagi ishonchlilik bilan bog‘lashning texnik imkoniyatlari hali to‘liq mavjud emas.

Kiber makonda uchraydigan asosiy tahdidlar quyidagilardan iborat: tashqi tahdidlar, ichki tahdidlar, tovar va xizmatlar ta‘minot zanjirida yuzaga keluvchi zaifliklar, shuningdek, mahalliy subyektlarning yetarli darajadagi operatsion salohiyatga ega emasligi (Al-Ghamdi, 2021). Bundan tashqari, xorijiy razvedka xizmatlari ham kiber vositalardan turli josuslik va razvedka faoliyatlarini amalga oshirish maqsadida faol foydalanadilar. Dunyo miqyosida mamlakatlarning axborot infratuzilmalarini — kompyuter tizimlari, Internet tarmoqlari va muhim sanoatlarda o‘rnatilgan boshqaruvchilarni — buzish yoki yo‘q qilish bilan bog‘liq ko‘plab holatlar qayd etilgan.

Kiberhujumlarning yana bir muhim manbai – moliyaviy foyda olishni ko‘zlagan guruhlar bo‘lib, ularning hujumlari tobora ortib bormoqda (Beechey va boshq., 2021). Shuningdek, ayrim xaker guruhlari o‘zini ifoda etish maqsadida tarmoqlarga kirib boradilar. Internetda zarur dastur va protokollarning ochiq mavjudligi sababli minimal bilim va ko‘nikmaga ega shaxslar ham boshqa sayt va tarmoqlarga hujum uyushtira olishlari mumkin. Siyosiy sabablarga ko‘ra faoliyat yurituvchi *xaktivistlar* esa mashhur veb-sahifalar yoki elektron pochta serverlariga hujum qiladi. Ular odatda serverlarni ortiqcha yuklash orqali xizmatdan chiqaradi yoki veb-sahifalarni buzib, o‘z siyosiy xabarlarini e‘lon qiladi (Solomon, 2017).

Kiber sohadagi o‘zgarishlar juda tez sodir bo‘ladi va ular hisoblash hamda aloqa texnologiyalarining uzluksiz rivojlanishiga asoslanadi. *Kiber uyg‘unlik* (cyber cohesion) bu jarayonni yanada tezlashtiradi. Har bir o‘zgarish yangi zaiflik davrini va unga qarshi javob choralari bosqichini yuzaga keltiradi. Demak, kiber makon statik emas, balki doimiy ravishda dinamik xarakterga ega (Varga va boshq., 2021).

Kiber resurslar turli xil tashkilotlar bo‘ylab keng tarqalgan bo‘lib, ular yopiq va hukumat tomonidan boshqariladigan tizimlardan tortib, jamiyatning xususiy sektoriga tegishli va u tomonidan boshqariladigan tizimlarga qamrab oladi. Bu

Shu bilan birga, tashkilot ichida faoliyat yurituvchi norozi xodimlar ham kiberjinoyatlarning asosiy manbalaridan biridir. Ular kiberhujum bo'yicha katta bilimga ega bo'lishi shart emas, chunki o'z tizimlari haqidagi ichki bilimi ularga cheklanmagan kirish imkonini beradi, natijada tizimni ishdan chiqarishi yoki maxfiy ma'lumotlarni o'g'irlashi mumkin. Yana bir xavf manbai – terrorchi guruhlar bo'lib, ular milliy xavfsizlikni izdan chiqarish, og'ir zarar yetkazish, mamlakat iqtisodiyotini zaiflashtirish hamda jamoatchilik ishonchi va ruhiyatini izdan chiqarish maqsadida muhim infratuzilmalarni yo'q qilish, ishdan chiqarish yoki zararli ekspluatatsiya qilishga intiladilar (Saxena va Gayathri, 2021).

Eng ko'p uchraydigan kiberhujum usullari quyidagilardan iborat: *xizmatni rad etish* (DoS), *mantiqiy bomba*, *hujum vositalaridan foydalanish*, *sniffer dasturlari*, *troya oti*, *virus*, *qurt* (worm), spam yuborish va *botnet*. Xizmatni rad etish (DoS) usulida tizimning qonuniy foydalanuvchilarga kirishi cheklanadi. Hujumchi ma'lum bir nuqtadan turib, nishon tizimlarni turli xabarlar bilan to'ldiradi va qonuniy ma'lumot oqimini bloklaydi. Bu esa tizimning Internetdan foydalanishi yoki boshqa tizimlar bilan muloqotini imkonsiz qiladi (Topping va boshq., 2021).

Keng ko'lamli DoS (DDoS) hujumlarida esa bitta manbadan emas, balki bir vaqtning o'zida ko'plab taqsimlangan tizimlardan hujum amalga oshiriladi. Bunday hujumlar odatda qurtlardan foydalanish va ularni ko'plab kompyuterlarda ko'paytirish orqali amalga oshiriladi.

Hujum vositalari (abuse tools) turli darajadagi foydalanuvchilarga ochiq bo'lib, tarmoqlardagi zaifliklarni aniqlash va undan foydalanish imkoniyatini taqdim etadi.

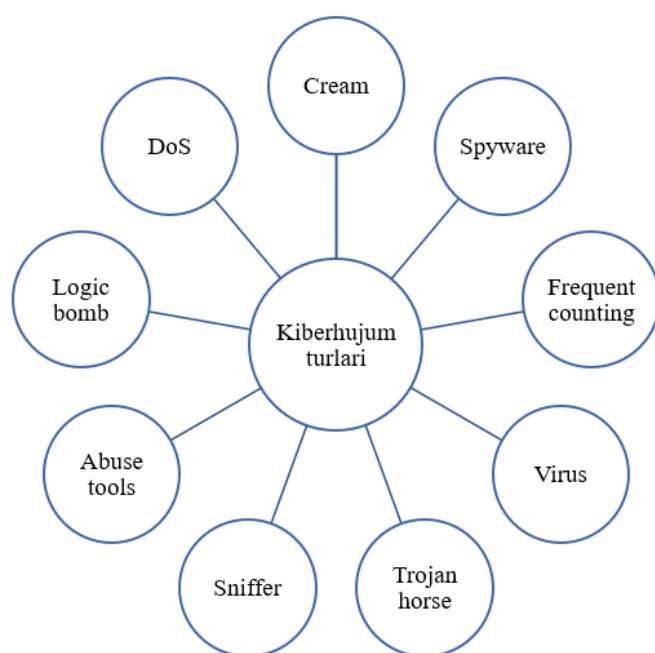
Mantiqiy bomba – dasturiy ta'minotga maxsus kod kiritilishi orqali, muayyan shart bajarilganda avtomatik ravishda zararli harakatlarni bajaradigan hujum turi (Li va boshq., 2021; Marefati va boshq., 2018).

Sniffer – ma'lumot paketlarini tinglash va tahlil qilish vositasi bo'lib, parol kabi maxsus ma'lumotlarni qidiradi (Patel va boshq., 2021).

Troya oti – foydali dastur ko'rinishidagi yashirin kod bo'lib, foydalanuvchi uni o'z ixtiyori bilan ishga tushiradi (Al Shaer va boshq., 2020).

Virus – tizim fayllarini (ko'pincha bajariladigan fayllarni) yuqtirib, ular orqali o'z nusxalarini tarqatadi. Viruslarning tarqalishi uchun inson aralashuvi zarur.

Qurt (worm) esa mustaqil dasturiy tizim bo'lib, u o'zini avtomatik ko'paytiradi va tarmoq orqali bir kompyuterdan boshqasiga tarqaladi (Aziz va Amtul, 2019).



4-rasm. Kiberhujumlarning asosiy turlari.

Botnet – masofadan boshqariladigan yuqtirilgan kompyuterlar tarmog'i bo'lib, zararli dasturlarni tarqatish, hujumlarni muvofiqlashtirish, spam va ma'lumot o'g'irlash uchun ishlatiladi. Botnetlar odatda yashirin tarzda o'rnatiladi va hujumchiga nishon tizimni masofadan boshqarish imkonini beradi. Ular ko'pincha "elektron askarlar" deb ham ataladi (Kharlamova va boshq., 2021).

Qiu va boshq. (2021) WAMS asosidagi FFR (Fractional Flow Reserve) boshqaruvida kiberxavfsizlikning ta'siri va tahdidlarini tahlil qilgan. Ular ikki masshtabdan kelayotgan spoofing ma'lumotlarini qayta ishlash uchun yangi o'lchamdagi CNN (convolutional neural network) modelini qo'llaganlar. Shuningdek, FFR tizimi uchun vaqt–chastota asosidagi kiberxavfsizlik himoya

tizimini ham o'rganganlar. Natijalar haqiqiy sinxrofazor (synchrophasor) ma'lumotlari yordamida yuqori aniqlik va ishonchlilikni ko'rsatgan.

Lee va boshq. (2021) bilimga asoslangan yashirin Makrove modellash tirish usuli orqali yagona kiberhujumga javob berish jarayonini ishlab chiqqan. Ular, shuningdek, yangilangan HMMs yordamida xavfsizlik holatini taxminlash usulini tekshirib ko'rganlar. Ishlab chiqilgan usulning amaliy samaradorligi maxsus holat sinovi orqali tasdiqlangan.

Zhang va Malacaria (2021) ko'p bosqichli kiberhujumlarga qarshi kurashish uchun optimal xavfsizlik portfelini tanlash imkonini beruvchi kiberxavfsizlik bo'yicha qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlash tizimini taklif qilgan. Ushbu tizim onlayn va profilaktik optimallashtirishni o'z ichiga olgan bo'lib, LM yordamida davom etayotgan hujumlarni aniqlashni qo'llab-quvvatlagan. Tadqiqotchilar onlayn qism Bayesian Stackelberg o'yiniga asoslanganini va samarali yechimlarni tanlashga yordam berishini aniqlashgan.

Kim va boshq. (2020) AES (Atom Elektr Stansiyalari, NPPs) uchun kiberhujum ehtimoli o'zgaruvchilarini tahlil qilgan. Bundan tashqari, ular AHP va FA usullari yordamida ushbu ehtimoliy o'zgaruvchilarning nisbiy ahamiyatini miqdoriy baholashni amalga oshirgan. Natijada, Koreya kiberxavfsizlik metodologiyasining afzalliklari ko'proq ustunlikka ega ekanligi aniqlangan.

Tosun (2021) kiberhujumlar firmalarning obro'siga keskin salbiy zarba berishini ko'rsatgan. Bundan tashqari, moliya bozorlarida ham korporativ xavfsizlik buzilishlariga salbiy reaksiya kuzatilgan – savdo hajmi sotuv bosimi tufayli ortgan, likvidlik esa oshgan. Uzoq muddatda esa, R&D faoliyatlari va dividendlar kamaygan, biroq nishonga olingan firmalar rahbarlar (CEO)ni kompensatsiya qilishni davom ettirgan.

3. Kiberxavfsizlik

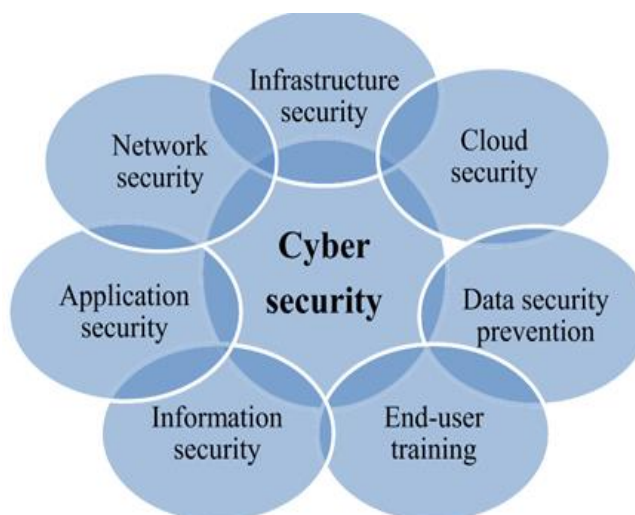
Kiberxavfsizlik har qanday kompaniya va tashkilot infratuzilmasida eng muhim masalalardan biri hisoblanadi. Qisqasi, kiberxavfsizlikka tayanadigan kompaniya yoki tashkilot yuqori mavqega erishib, ko'plab yutuqlarga sazovor bo'lishi mumkin, chunki bu muvaffaqiyat raqobatchilardan himoya qilish, shaxsiy va mijoz ma'lumotlarini saqlash qobiliyatiga asoslanadi. Raqobatchilar ko'pincha bunday ma'lumotlardan noto'g'ri foydalanishga harakat qiladi. Shuning uchun kompaniya yoki tashkilot birinchi navbatda ushbu xavfsizlikni yuqori darajada ta'minlashi shart (Rodríguez-deArriba va boshq., 2021).

Kiberxavfsizlik ichki yoki tashqi tahdidlardan axborot, tarmoq va ma'lumotlarni himoya qilishga yo'naltirilgan amaliy choralarni o'z ichiga oladi. Kiberxavfsizlik mutaxassislari tarmoqlar, serverlar, intranetlar va kompyuter tizimlarini himoya qiladi. Kiberxavfsizlikning asosiy maqsadi – faqat ruxsat etilgan shaxslarga ma'lumotlarga kirish huquqini taqdim etishdan iborat (Ahmed Jamal va boshq., 2021).

Yaxshiroq himoya ta'minlash maqsadida kiberxavfsizlik turlarini bilish muhimdir. Tarmoq xavfsizligi (Network Security): tarmoq xavfsizligi kompyuter tarmoqlarini buzuvchilardan (zararli dasturlar yoki xakerlar) saqlaydi. Bu xavfsizlik choralari to'plami bo'lib, tashkilotlarga kompyuter tarmoqlarini xakerlar, uyushgan hujumchilar va zararli dasturlardan himoyalash imkoniyatini beradi (Zhang, 2021).

Ilovalarda xavfsizlik – apparat va dasturiy ta'minot vositalari (masalan, antivirus dasturlari, shifrlash tizimlari va fayvollar) yordamida tizimni ilovalarni ishlab chiqish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan tashqi tahdidlardan himoya qilishni ta'minlaydi (Alkatheiri va boshq., 2021).

Axborot xavfsizligi – jismoniy hamda raqamli ma'lumotlarni ruxsatsiz kirish, oshkor etish, noto'g'ri foydalanish, ruxsatsiz o'zgartirish yoki o'chirishdan himoya qilishga qaratilgan chora-tadbirlarni o'z ichiga oladi (Ogbanufe, 2021).



5-rasm. Kiberxavfsizlikning har xil turlari.

Operatsion xavfsizlik – ma'lumotlarni nazorat qilish va himoya qilishni ta'minlovchi jarayonlar hamda qarorlarni o'z ichiga oladi. Bunga, masalan, tarmoqqa kirishda foydalanuvchilarga ruxsat darajasini belgilash, axborotni saqlash yoki ulashishning vaqti va joyini aniqlash jarayonlari kiradi (Ogbanufe, 2021).

Bulutli xavfsizlik – bulut muhitida joylashgan ma'lumotlarni dasturiy ta'minot asosida himoya qilishni ta'minlaydi hamda mahalliy hujumlar xavfini kamaytirish maqsadida muntazam monitoringni amalga oshiradi (Krishnasamy va Venkatachalam, 2021).

Foydalanuvchilarni o'qitish: Kiberxavfsizlikning oldindan aytib bo'lmaydigan jihatlari, ya'ni shaxslarni nazarda tutadi. Har kim tasodifan xavfsizlik tizimiga virusni yuborishi mumkin. Foydalanuvchini elektron pochtaidagi shubhali ilovalarni olib tashlashga, noma'lum USB qurilmalariga ulanmaslikka va boshqa muhim masalalarga o'rgatish har qanday kompaniyaning korporativ xavfsizlik rejasining bir qismi bo'lishi kerak (Krishnasamy va Venkatachalam, 2021).

Kiberjinoyat - bu tizim, uskunalar yoki tarmoqni o'z ichiga olgan har qanday ruxsatsiz faoliyatdir. Kiberjinoyatning ikki xil turi mavjud: tizimni nishon qilib qo'yadigan jinoyatlar va tizim bilmagan holda yaratishda rol o'ynaydigan jinoyatlar. 3-jadvalda kiberjinoyatchilar tomonidan keng qo'llaniladigan usullar ko'rsatilgan.

Har qanday tashkilot xavfsizligi uchta tamoyil bilan boshlanadi: maxfiylik, yaxlitlik va mavjudlik. Ushbu uchta tamoyil xavfsizlik uchburchagi yoki CIA deb ataladi, bu birinchi kompyuter tizimlaridan beri tizim xavfsizligi uchun standart bo'lib xizmat qilgan (6-rasmga qarang) (Palmieri va boshq., 2021).

Maxfiylik tamoyili faqat vakolatli manbalar maxfiy axborot va funksiyalarga kirish huquqiga ega ekanligini bildiradi. Misol: Harbiy sirlar (Maxfiylik).

Yaxlitlik tamoyili faqat vakolatli shaxslar va resurslar maxfiy axborot va funksiyalarni o'zgartirishi, qo'shishi yoki olib tashlashi mumkinligini da'vo qiladi. Misol: Foydalanuvchi ma'lumotlar bazasiga noto'g'ri ma'lumot kiritadi (Yaxlitlik).

Mavjudlik tamoyili tizimlar, funksiyalar va ma'lumotlar SLA xizmat darajasi asosida kelishilgan parametrlar bo'yicha talab qilinganda mavjud bo'lishi kerakligini bildiradi (Mavjudlik) (Nguyen va Golman, 2021).

Eng yaxshi kiberxavfsizlik usullari yuqorida sanab o'tilgan tamoyillardan tashqariga chiqadi. Har qanday ilg'or xaker bu oddiy himoyani aylanib o'tishi mumkin. Kompaniya o'sishi bilan kiberxavfsizlik yanada murakkablashadi. Kiberxavfsizlikning yana bir cheklanishi virtual va haqiqiy ma'lumotlar almashish dunyolari o'rtasida o'sib borayotgan ishtirokchilar bilan munosabatdir.

Kiberxavfsizlikdagi muhim qiyinchilik - bu ishni bajaradigan malakali kadrlarning yo'qligi. Ko'pchilik kiberxavfsizlik bo'yicha umumiy ko'nikmalarga ega bo'lgan ko'rinishning pastki chegarasida joylashgan. Kibermakon qamrovi keng mavzu. Keyingi maqolada biz kiberxavfsizlikning asosiy turlarini ko'rib chiqamiz. Keng qamrovli strategiya ushbu jihatlarining barchasini qamrab oladi va ularning hech birini e'tibordan chetda qoldirmaydi (Alzubaidi, 2021).

Dunyoning asosiy infratuzilmasi birlashgan kiber-fizik tizim sifatida ishlaydi. Biz ushbu ajoyib tuzilmadan ko'plab foyda olamiz. Biroq, onlayn tizimni joylashtirish xakerlik va kiber-



6-rasm. Xavfsizlik uchburchagi (CIA).

hujumlar uchun yangi zaifliklarni yaratadi. Tashkilot qaror qabul qiluvchilari hujumlar ularning faoliyatiga qanday ta'sir qilishi mumkinligini o'z kun tartiblariga kiritishlari kerak.

Eng yaxshi yangi xakerlarning bir qismi veb-ilovalar xavfsizligini tashkilotga hujum qilishning eng zaif nuqtasi sifatida ko'radi. Ilovalar xavfsizligi ajoyib shifrlash bilan boshlanadi. Har bir strategiya har bir biznes uchun alohida ishlab chiqilishi va amalga oshirilishi kerak. Shunday qilib, axborotni buzish va infiltratsiya qilish kamroq amalga oshiriladi.

Kiberxavfsizlik tobora murakkablashib borayotgan bir davrda, tashkilotlar ushbu tizimning qanday ishlashini chuqur anglashlari va o'z faoliyatlarini "xavfsizlik nuqtai nazar"dan baholashlari zarur. Shu sababli, xakerlardan bir qadam oldinda bo'lish uchun doimiy ravishda yuqori darajadagi himoya choralarini ta'minlash talab etiladi. Xavfsizlik sohasidagi sarmoyalar ortib borayotganligi sababli, kiberxavfsizlik tizimlari va xizmatlariga yo'naltirilgan investitsiyalar ham sezilarli darajada oshmoqda. Ushbu yo'nalishda faoliyat yurituvchi yetakchi kompaniyalar qatoriga **McAfee**, **Cisco** va **Trend Micro** kiradi (Chandra va Snowe, 2020).

3.1. Kiberxavfsizlik siyosati

Kiber texnologiyalar jamiyat faoliyatining samaradorligini oshirish hamda axborot almashinuvini tezlashtirishda muhim rol o'ynaydi. Ular qaysi sohada yoki tarmoqda qo'llanilishidan qat'i nazar, ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Biroq, kibermakonda ma'lumotlarning tez uzatilishi ko'pincha tizim xavfsizligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli, ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirishga yo'naltirilgan texnologik yechimlar xavfsizlik ko'rsatkichlari bilan ziddiyatga kirishadi. Chunki xavfsizlikni kuchaytiruvchi chora-tadbirlar foydalanuvchi kirish huquqlarini cheklaydi, tizim resurslaridan foydalanishni nazorat qiladi va ko'proq boshqaruv e'tiborini talab etadi (Katrakazas va boshq., 2020).

Tizimning barqaror ishlashi xavfsizlik holati va kiber-ishlash samaradorligi o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashni talab etadi. Shu jihatdan, **kiberxavfsizlik siyosati** ushbu ikki omil o'rtasidagi ziddiyatni boshqarishda muhim ahamiyat kasb etadi. "Siyosat" tushunchasi kiberxavfsizlik kontekstida axborot almashish qoidalari, ma'lumotlarni saqlash siyosati, xususiy sektorning maqsadlari hamda texnologik tizimlarni boshqarish strategiyalarini o'z ichiga oladi. Shunga qaramay, kiberxavfsizlik siyosati turli tadqiqotlarda va amaliy yondashuvlarda turlicha talqin qilinadi. "Kibermakon" atamasi singari, bu tushunchaning ham yagona, qat'iy ta'rifi mavjud emas. Biroq, u siyosiy boshqaruv tizimi doirasida sifat omili sifatida qo'llanilganda, umumiy tushunchani ifodalaydi (Tam va boshq., 2021).

Kiberxavfsizlik siyosati tartibga soluvchi asoslar tomonidan qabul qilinadi va rasmiy ravishda regulyatorning tegishli sohalariga yolg'iz qo'llaniladi. Xavfsizlik siyosati komponentlari siyosat spektriga qarab o'zgaradi (Cheng va boshq., 2020). Milliy kiberxavfsizlik siyosati, masalan, barcha fuqarolarni va ehtimol o'z sohasida ishlaydigan xorijiy tadbirkorlarni o'z ichiga oladi, ammo korporativ kiberxavfsizlik faqat ishga olingan yoki huquqiy shartnomaga ega bo'lgan va kompaniyaga nisbatan o'z xatti-harakatlarini tartibga solishlari kutilayotgan xodimlarga nisbatan qo'llaniladi. Rasmiy shartnoma mavjud bo'lmasa, butunlay bir mijozga bog'liq bo'lgan resurs ta'minotchilaridan mijoz xavfsizlik siyosatiga rioya qilishlarini kutish ham mumkin emas (Alghamdi, 2021).

Xavfsizlik siyosatining mazmuni tegishli tartibga soluvchi organlarning maqsadlari bilan belgilanadi. Milliy xavfsizlik maqsadlari korporativ xavfsizlik maqsadlaridan sezilarli darajada farq qiladi. Siyosatni sharhlash va ro'yxatga olish jarayoni ijro etuvchi tashkilotlar tomonidan belgilanadi hamda ularning tasdiqlanish tartibi tegishli tartibga soluvchi kengashlar va komponentlar tomonidan aniqlanadi. Hukumat darajasida maqsadlarning siyosatga aylanishi va siyosatlarning qonunlarga kiritilish jarayoni murakkab va ko'p bosqichli bo'ladi. Shu bilan birga, kompaniyalar doirasida kiberxavfsizlik siyosatini ishlab chiqish, unga mos standartlar va texnik yechimlarni joriy etish uchun maxsus markazlashtirilgan xavfsizlik bo'linmasi faoliyat yuritadi. Ushbu bo'linma tashkilotdagi xavfsizlik standartlari va yechimlari uchun asosiy mas'uliyatni o'z zimmasiga oladi.

Agar xavfsizlik tashkilot uchun ustuvor yo'nalish sifatida belgilangan bo'lsa, unda turli ichki bo'linmalar tomonidan ishlab chiqilgan kiberxavfsizlik siyosatlari umumiy komponentlar qanoti

tomonidan muvofiqlashtiriladi. Bu esa, o'z navbatida, siyosatlar o'rtasidagi nomuvofiqliklarni aniqlash va ularni bartaraf etish imkonini beradi (Quigley va boshq., 2015).

Mamlakatning kiber siyosati hozirda milliy xavfsizlik siyosatining ajralmas qismi hisoblanadi. Garchi kiberxavfsizlik siyosatini davlatning tashqi siyosati yoki iqtisodiy siyosati bilan uyg'un deb hisoblash mumkin bo'lsa-da, bu siyosatlar konstitutsiya kabi suveren kuchga ega emas. Aslida, siyosatlar turli tahlillar, muhokamalar, hisobotlar va ma'ruzalar asosida shakllantiriladi hamda e'lon qilinadi. Siyosatlar qonunlar, me'yoriy hujjatlar va qaror qabul qilish jarayonlari uchun yo'naltiruvchi hujjat sifatida xizmat qiladi. Siyosatning o'zi esa bevosita qoidalar yoki tartib-qoidalar bilan tenglashtirilmaydi. Ideal holatda, qonunlar, bitimlar va qoidalar asosli va izchil siyosatning amaliy ifodasidir. Shu bilan birga, ayrim hollarda kiberxavfsizlik siyosatini rasmiy shaklda yaratmasdan ham, kiberxavfsizlikni ta'minlovchi buyruq, qoidalar va protseduralar orqali zarur choralarini amalga oshirish mumkin (Sakhnini va boshq., 2021).

Korporativ muhitda turli bo'limlar jazolar qo'rquvidan qoidalarga rioya qilishlari kutiladi, chunki jazolar huquqbuzar sektor yopilgunga qadar davom etadi. Masalan, inson resurslari, fuqarolik yoki xarajatlar siyosati shu darajada kodlanganki, bildirishnoma qoidalarga rioya qilmaslik tegishli bo'limni yopadi. O'rta darajadagi menejerlar xodimlarni ishga olish yoki xarajatlarni ro'yxatga olish kabi jarayonlarni qo'llab-quvvatlaydi va muloqot siyosatlarini bo'lim faoliyatiga kiritishlari va siyosatga rioya qilishni baholash uchun bo'lim darajasida ko'rsatkichlar yaratishlari kutiladi. Davlat sektorida har qanday turdagi tashkiliy bo'linma boshqaruv cheklovlariga duch keladi (Baig va boshq., 2017).

Bundan tashqari, korporativ kiberxavfsizlik siyosati va inson resurslari yoki huquqiy siyosat o'rtasidagi istalmagan farqlardan biri shundaki, u o'rta darajadagi menejerlarga qoldiriladi. Kiberxavfsizlik siyosati "maxfiy axborotlarni oshkor qilish xavfi yuqori bo'lganda, qabul qiluvchining axborot xavfsizligini saqlash qobiliyatini diqqat bilan tekshirmasdan axborot berilmasligi kerak" deb talab qilishi mumkin (Arend va boshq., 2020).

3-jadval

Kiberjinoyatchilar tomonidan tez-tez qo'llaniladigan usullar.

Usul	Tavsif	
Xizmatni rad etish	Xaker barcha server resurslarini iste'mol qiladi, shuning uchun tizim foydalanuvchilari uchun xizmatga kirish mumkin bo'lmay qoladi.	Alghamdie (2021)
Man-in-the-Middle	Qaerda xaker jabrlanuvchi qurilma va yo'riqnoma o'rtasida ma'lumot paketlarini tinglash yoki o'zgartirish uchun o'zini qo'yadi.	Huang et al. (2020)
Malware	Zararli dastur-bu qurbonlarning qurtlar yoki viruslar bilan aloqa qilish va ularning qurilmalarini yuqtirish usuli.	Edgar and Manz (2017)
Phishing	Bu xaker foydalanuvchilarga maxfiy ma'lumotlarni oshkor qilishni so'rab, qonuniy ko'rinadigan elektron pochta xabarini yuboradigan usul.	Saxena and Gayathri (2021)

Xulosa

Uchinchi ming yillikda kiberfazoviy makon va unga tegishli texnologiyalar global miqyosda eng muhim qudrat manbalaridan biriga aylandi. Kiberfazoviy makonning past kirish xarajatlari, anonimlik, zaiflik va asimmetriya kabi xususiyatlari qudratning kengroq tarqalishiga sabab bo'ldi. Agar ilgari siyosiy qudrat asosan hukumatlar o'rtasida taqsimlangan bo'lsa, bugungi kunda bu jarayonga xususiy kompaniyalar, terroristik va jinoyat tarmoqlari hamda yakka shaxslar ham faol qo'shilmoqda. Shu bilan birga, hukumatlar hanuz milliy xavfsizlikni ta'minlashda markaziy rolni saqlab qolmoqda.

Ushbu holatning ta'siri bir necha jihatdan tahlil qilinadi:

- Birinchidan, xavfsizlik tushunchasi kengayib, endi faqat harbiy masalalar yoki davlat chegaralari bilan cheklanmaydi. Fuqarolarning hayot sifatining pasayishi ham milliy xavfsizlikka bevosita tahdid sifatida qaralmoqda.

- Ikkinchidan, kiber tahdidlar geografik o'lchamdan xoli bo'lib, ularning manbasini aniqlash yoki chegaralash an'anaviy usullar bilan deyarli imkonsiz holga kelgan.
- Uchinchidan, kiber tahdidlar bilan bog'liq zaifliklar darajasi juda yuqori bo'lib, ular sezgir tarmoqlar va muhim infratuzilmalarga jiddiy zarar yetkazish salohiyatiga ega.
- To'rtinchidan, bu tahdidlarni faqat an'anaviy harbiy yoki huquqni muhofaza qilish vositalari bilan cheklash mumkin emas. Samarali himoya uchun hukumatlar va xususiy sektor o'rtasida o'zaro manfaatli hamkorlik zarur.
- Beshinchidan, kiber tahdidlar faqat hukumatlarga emas, balki kompaniyalar va alohida shaxslarga ham ta'sir ko'rsatadi, shu sababli ularning barchasi himoya tizimining faol ishtirokchisiga aylanishi lozim.
- Oltinchidan, axborot asrida xavfsizlik faqat hukumat doirasida emas, balki jamiyatning barcha qatlamlarini qamrab oladi. Shu bois, xalqaro munosabatlarda hukumat markaziga yo'naltirilgan an'anaviy nazariy yondashuvlar kiberxavfsizlik muammolarini to'liq anglashda yetarli bo'lmay qolmoqda.

Adabiyotlar

- [1]. Aghajani, G., Ghadimi, N., 2018. Multi-objective energy management in a micro-grid. *Energy Rep.* 4, 218–225.
- [2]. Ahmed Jamal, A., et al., 2021. A review on security analysis of cyber physical systems using machine learning. *Mater. Today: Proc.*
- [3]. Akhavan-Hejazi, H., Mohsenian-Rad, H., 2018. Power systems big data analytics: An assessment of paradigm shift barriers and prospects. *Energy Rep.* 4, 91–100.
- [4]. Al-Ghamdi, M.I., 2021. Effects of knowledge of cyber security on prevention of attacks. *Mater. Today: Proc.*
- [5]. Al Shaer, D., et al., 2020. Hydroxamate siderophores: Natural occurrence, chemical synthesis, iron binding affinity and use as Trojan horses against pathogens. *Eur. J. Med. Chem.* 208, 112791.
- [6]. Alghamdi, M.I., 2021. Determining the impact of cyber security awareness on employee behaviour: A case of Saudi Arabia. *Mater. Today: Proc.*
- [7]. Alghamdi, M.I., 2021. A novel study of preventing the cyber security threats. *Mater. Today: Proc.*
- [8]. Alhayani, B., et al., 2021. Best ways computation intelligent of face cyber attacks. *Mater. Today: Proc.*
- [9]. Alibasic, A., et al., 2016. Cybersecurity for smart cities: A brief review. In: *International Workshop on Data Analytics for Renewable Energy Integration*. Springer.
- [10]. Alkathiri, M.S., Chauhdary, S.H., Alqarni, M.A., 2021. Seamless security apprise method for improving the reliability of sustainable energy-based smart home applications. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 45, 101219.
- [11]. Alzubaidi, A., 2021. Cybercrime awareness among Saudi nationals: Dataset. *Data Brief* 36, 106965.
- [12]. Amir, M., Givargis, T., 2020. Pareto optimal design space exploration of cyber–physical systems. *Internet Things* 12, 100308.
- [13]. Arend, I., et al., 2020. Passive- and not active-risk tendencies predict cyber security behavior. *Comput. Secur.* 97, 101964.
- [14]. Ashraf, J., et al., 2021. IoTBoT-IDS: A novel statistical learning-enabled botnet detection framework for protecting networks of smart cities. *Sustainable Cities Soc.* 72, 103041.
- [15]. Aziz, A.A., Amtul, Z., 2019. Developing Trojan horses to induce, diagnose and suppress Alzheimer's pathology. *Pharmacol. Res.* 149, 104471.
- [16]. Baig, Z.A., et al., 2017. Future challenges for smart cities: Cyber-security and digital forensics. *Digit. Investig.* 22, 3–13.
- [17]. Beechey, M., Kyriakopoulos, K.G., Lambbotharan, S., 2021. Evidential classification and feature selection for cyber-threat hunting. *Knowl.-Based Syst.* 226, 107120.
- [18]. Bullock, J.A., Haddow, G.D., Coppola, D.P., 2021. Cybersecurity and critical infrastructure protection. In: Bullock, J.A., Haddow, G.D., Coppola, D.P. (Eds.), *Introduction to Homeland Security*, sixth ed. Butterworth-Heinemann, pp. 425–497 (Chapter 8).
- [19]. Cao, Y., et al., 2019. A topology-aware access control model for collaborative cyber–physical spaces: Specification and verification. *Comput. Secur.* 87, 101478.
- [20]. Cao, J., et al., 2021. Hybrid-triggered-based security controller design for networked control system under multiple cyber attacks. *Inform. Sci.* 548, 69–84.

ELEKTR ENERGETIKA TIZIMLARIDA NEYRO-ANALITIK TARMOQNI O'QITISH ALGORITMI VA TEGISHLILIK FUNKTSIYASINI SHAKLLANTIRISH USULLARI

O.V. Porubay, M.M. Turdimatov

*Farg'ona davlat texnika universiteti,
(Qabul qilindi 17.10.2025 y.)*

The paper proposes the use of hybrid methods of fuzzy set theory and logic to solve the problem of structural-parametric optimization of operating modes in electric power systems (EPS). Based on this approach, a computational scheme consistent with fuzzy objectives has been developed. Using fuzzy clustering methods, the type and shape of the membership function for each EPS parameter were determined. As a result of the performed procedures, numerical values of the membership function parameters characterizing the growth coefficients of electric current in the analyzed EPS were obtained. Solving this problem made it possible to determine control decisions under uncertainty and to select the optimal type and number of membership functions for the neural network.

Keywords: fuzzy clustering, neural network, neuro-analytical network, artificial neural network, weighting coefficients, fuzzy set, fuzzy network, hybrid methods, membership function.

Maqolada elektr energetika tizimlari (EET) ish rejimlarini strukturaviy-parametrik optimallashtirish muammosini hal qilish uchun noravshan to'plamlar nazariyasi va mantiqning gibrid usullaridan foydalanish taklif etilgan bo'lib, buning asosida noravshan maqsadlarga muvofiq hisoblash sxemasi ishlab chiqilgan. Noravshan klasterlash usullaridan foydalanib, har bir EET parametri uchun tegishlilik funktsiyasining turi va shakli aniqlandi. Natijada, protseduralar natijasida ko'rib chiqilayotgan EET uchun elektr oqimining o'sish koeffitsientlarini tavsiflovchi tegishlilik funktsiyasi parametrlarining bir qator raqamli qiymatlarini olishga erishildi. Ushbu muammoni hal qilish natijasida noravshan sharoitlarda boshqaruv qarorlarini aniqlab neyron tarmoq uchun tegishlilik funktsiyalarining optimal turi va sonini tanlash imkoniga erishildi.

Tayanch suz va iboralar: noravshan klasterlash, neyron tarmoq, neyro-analitik tarmoq, sun'iy neyron tarmoq, og'irlik koeffitsientlari, noravshan to'plam, noravshan tarmoq, gibrid usullar, tegishlilik funktsiyasi.

В статье предложено использование гибридных методов теории и логики нечетких множеств для решения задачи структурно-параметрической оптимизации режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС). На основе данного подхода разработана вычислительная схема, согласованная с нечеткими целями. С применением методов нечеткой кластеризации определены тип и форма функции принадлежности для каждого параметра ЭЭС. В результате проведенных процедур получены числовые значения параметров функции принадлежности, характеризующих коэффициенты роста электрического потока в рассматриваемой ЭЭС. Решение данной задачи позволило определить управляющие решения в условиях неопределённости и выбрать оптимальный тип и количество функций принадлежности для нейронной сети.

Ключевые слова: нечеткая кластеризация, нейронная сеть, нейро-аналитическая сеть, искусственная нейронная сеть, весовые коэффициенты, нечеткое множество, нечеткая сеть, гибридные методы, функция принадлежности.

Kirish. Ushbu tadqiqot mahalliy va xorijiy manbalardan olingan keng ko'lamli ilmiy natijalar, jumladan, yaqin atrofdagi turli mamlakatlar va Yevropa Ittifoqi energetika vazirliklarining axborot-tahliliy hisobotlari, shuningdek, respublika, xalqaro ilmiy va amaliy konferentsiyalar materiallari tahliliga asoslangan. Bundan tashqari, O'zbekiston Respublikasining yirik ishlab chiqarish va energetika kompaniyalari ma'lumotlaridan foydalanildi. Elektr energetikasi ob'ektlari (EEO)ning ish rejimlarini optimallashtirish va noaniqlik sharoitida elektr energetika tizimlarida boshqaruv qarorlarini intellektuallashtirishning asosiy kontseptual, uslubiy va texnologik jihatlari tizimlashtirildi. Tadqiqot doirasida O'zbekistonda ushbu ilmiy yo'nalishning holati va rivojlanish istiqbollari tahlil qilindi, bu zamonaviy energetikani joriy etish sharoitida mamlakatimiz energetika tarmog'i oldida turgan asosiy tendensiya va vazifalarni ajratib ko'rsatish imkonini beradi.

Masalaning dolzarbligi. Bizga ma'lumki, Respublikamizda energiya sarfi va elektr quvvatini yoqotilishini kamaytirish uchun ma'lumotlarning noaniqligi sharoitida elektr energetikasi

tizimlarining ish rejimlarini optimal boshqarish usullarini takomillashtirishga katta e'tibor qaratilmoqda. Energiyani boshqarish tizimini ishlab chiqish jarayonida neyro-analitik tarmoqni o'rnatishda qo'llaniladigan algoritmik usullar ishlab chiqilmoqda, natijada neyro-analitik tarmoq(NAT)lar o'z tuzilishida noravshan mantiqiy tuzilma va sun'iy neyrotarmoq(SNT)ning eng yaxshi sifatlarini birlashtirgan gibrid yondashuv usuli etarli natija bermoqda. Ushbu sohada O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "Yangi O'zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmonida, jumladan "Iqtisodiyotni elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlash hamda "Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy etish, iqtisodiyotning energiya samaradorligini 20 foiziga oshirish..." [1] kabi muhim vazifalar belgilab berilgan.

Elektr energetika tizimlari(EET)ni optimallashtirish uchun ishlatiladigan oqim xususiyatlari, ba'zi hollarda, maqsad funktsiyasi shakliga sezilarli ta'sir ko'rsatadigan ma'lum xususiyatlarga ega(uzilishlar, konvekslik sharoitidan og'ish). Keng qo'llaniladigan gradientni optimallashtirish usullari o'rganilayotgan funktsiyaning uzluksizligini va barcha qisman hosilalarning uzluksizligini talab qiladi, Nyuton usuli esa faqat o'rganilayotgan funktsiyaning birinchi va ikkinchi hosilalarining uzluksizligini talab qiladi. Bu xususiyatlar ularni EEO ish rejimlarini optimallashtirish uchun foydalanishga imkon bermaydi va ba'zi cheklovlarni keltirib chiqaradi [2].

Ma'lumki, elektr tarmoqlarida energiya resurslarini etkazib berish va iste'mol qilish o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash uchun ushbu omillarni nazorat qilish va baholash zarur, hozirgi vaqtda statik yuk xususiyatlarini hisoblash yondashuvi keng qo'llaniladi.

Muammoning muhokamasi. Mavjud EET ma'lum ishlab chiqarish va texnologik cheklovlarni hisobga olgan holda ortib borayotgan ishlash bilan tavsiflanadi, bu esa o'z navbatida EET elementlarining ish rejimlarini optimallashtirish uchun yangi texnologiyalarni joriy etishni belgilaydi, bu hozirgi vaqtda ilmiy muammolardan biri hisoblanadi [3-5].

Neyron tarmog'idan foydalanishda asosiy vazifalardan biri tegishlilik funktsiyasining shakli va turini tanlashdir. EEOga nisbatan taklif etilayotgan tegishlilik funktsiyasini tanlash potentsial usul va noravshan klasterlashdan foydalanishga asoslangan [6, 7]. Noravshan klasterlash usullaridan foydalanib, har bir EET parametri uchun tegishlilik funktsiyasining turi va shakli aniqlandi. Shuni ta'kidlash kerakki, nazorat tizimining natijalariga tegishlilik funktsiyalar shakli va ularning soni sezilarli darajada ta'sir qiladi. Shuning uchun eng muhim vazifa neyron tarmoq uchun tegishlilik funktsiyalarining optimal turi va sonini tanlashdir.

SNT/NAT samaradorligining ko'rsatkichi xato signalini $e_k(n)$ EEO faoliyati davomida aniqlashdir [8]:

$$e_k(n) = r_k(n) - y_k(n). \quad (1)$$

Ishlash xatosi signalining qiymatiga asoslanib, sozlamalarni sozlash orqali SNTni o'rgatish kerak, ya'ni neyron tarmog'ining sinoptik og'irliklari. Mezon sifatida biz shartning bajarilishiga erishishni olamiz: $e_k(n) \rightarrow 0$, ya'ni xato signalini minimallashtirish.

Neyron tarmog'ining og'irlik koeffitsientlarini tuzatish quyidagi SNT o'qitish algoritmi yordamida amalga oshirilishi mumkin:

$$\Delta w_{kj}(n) = \eta y_k(n) x_j(n), \quad (2)$$

bu erda η SNT o'rganish jarayoni sodir bo'lish tezligini aniqlaydigan musbat doimiy o'zgaruvchi.

SNT/NAT ko'rinishidagi neyron tarmoqni tayyorlash sifati bevosita quyidagi ko'rsatkichlar bo'yicha EEO boshqaruv tizimining sifatiga bog'liq, ya'ni elementlarning va umuman boshqaruv tizimining ishlash tezligi va aniqligi. Ma'lumot sifatiga tegishlilik funktsiyasining tanlangan shakli sezilarli darajada ta'sir qiladi, ya'ni uning turi, parametrlarning chegara qiymatlari, shuningdek, o'rganish tezligini tavsiflovchi koeffitsient. NATning kirish o'zgaruvchilari qiymatini o'zgartirish uchun ish sigmasimon tipdagi tegishlilik funktsiyasidan foydalanishni taklif qiladi [9, 10].

NAT/SNT neyronlarini o'qitish yukni sifatni minimallashtirish mezoniga $E(w)$ ko'ra taqsimlashda EEO boshqaruv tizimining ishlashi uchun maqbul variantlarni aniqlash imkonini

beradi:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^P \sum_{m=1}^M (y_m^{(j)} - e_m^{(j)})^2, \quad (3)$$

bu erda m SNT neyronlarining soni; j - o'rganish namunalari soni; $y_m^{(j)}$ - har bir j bosqichda neyron tarmoqning chiqishi; $e_m^{(j)}$ - j -chi bosqichda neyron tarmoqning kerakli chiqish qiymati.

Takagi-Sugeno algoritmiga asoslangan neyro-noravshan xulosalar tizimini yaratishda, tegishlilik funktsiyasi asosida har bir kirish o'zgaruvchisi uchun qiymatlar oralig'ini aniqlash kerak [11, 12]. Bunday holda, har bir kirish o'zgaruvchisining qiymati x tegishlilik funktsiyasi turiga qarab belgilanadi. Tegishlilik funktsiyasi turi va sonini aniqlashda tizim elementlarining turi, kirish parametrlarining chegara qiymatlari turi va diagnostika usullari hisobga olinadi.

Ro'y bergan xatolarni bartaraf etish uchun ekspert xulosalari ko'pincha qo'llaniladi, ya'ni texnologlar ko'p variantlardan har biri uchun tegishlilik funktsiyasi o'ziga xos raqamli k_n parametrlarini $K_{pn} (k_n \in K_{pn})$ to'plamdan oladi.

Bu masalani hal qilish uchun har bir mutaxassisning fikrini hisobga olgan holda imtiyozlar matritsasi R_m tuziladi. Demak, imtiyozlar matritsasining har bir elementi tegishlilik funktsiyasi parametrlarining raqamli $\mu_{R_m}(k_a, k_b)$ qiymati hisoblanadi. Ushbu matritsa yukni o'zgartirish omili k_a -ni k_b -ga nisbatan olinadi, bu erda $k_a, k_b \in K_{pn}$.

Imtiyozlar matritsasi R_m uchun P va Q konvolyutsiyalar quriladi:

$$P = \cap R_m(k_a, k_b) = \min \{ \mu_{R_m}(k_a, k_b) \}; Q = \sum \lambda_m R_m, \quad (4)$$

bu erda m -chi ekspertning λ_m imtiyoz koeffitsienti.

Keyin to'plam P^S va Q^S tegishlilik funktsiyasi bilan aniqlanadi:

$$\mu^S(k_a, k_b) = \begin{cases} \mu(k_a, k_b) - \mu(k_b, k_a), & \text{если } \mu(k_a, k_b) > \mu(k_b, k_a), \\ 0, & \text{если } \mu(k_a, k_b) \leq \mu(k_b, k_a). \end{cases} \quad (5)$$

Tegishlilik funktsiyasi bilan bir-birini to'ldiruvchi koeffitsientning ustun emasligi to'g'risida ma'lumot beruvchi K_P^{nd} , K_Q^{nd} to'plamlari hosil bo'ladi:

$$\mu^{nd}(k_a) = 1 - \max \{ \mu^S(k_b, k_a) \}. \quad (6)$$

Yangi to'plamlarni hosil qilish uchun K_P^{nd} va K_Q^{nd} hosil bo'lgan to'plamlarning kesishishini aniqlash kerak $K^{nd} = K_P^{nd} \cap K_Q^{nd}$, bu elementlarning tegishlilik funktsiyasini aniqlaydi:

$$\mu^{nd}(k_a) = \min \{ \mu_P^{nd}(k_a), \mu_Q^{nd}(k_b) \}. \quad (7)$$

Ushbu protseduralar natijasida ko'rib chiqilayotgan EET uchun elektr oqimining o'sish koeffitsientlarini tavsiflovchi tegishlilik funktsiyasi parametrlarining bir qator raqamli qiymatlarini olish mumkin. Tegishlilik funktsiyasining raqamli qiymatlarini aniqlash uchun ma'lum vaqt uchun statistik ma'lumotlar asosida olingan ma'lumotlardan foydalanilgan [13,14]:

$$\mu_{K_{pn}}^{nd} [0, 1; 0, 15; 0, 3; 0, 2; 0, 27; 0, 3; 0, 45; 0, 52; 0, 32; 0, 23].$$

Ishda EET ish rejimlarini strukturaviy-parametrik optimallashtirish muammosini hal qilish uchun noravshan to'plamlar nazariyasi va mantiqning gibrid usullaridan foydalanish taklif etiladi, buning asosida noravshan maqsadlarga muvofiq hisoblash sxemasi ishlab chiqilgan. Bu taxmin noravshan maqsadlar va cheklovlarni noravshan to'plamlar ko'rinishida ko'rib chiqishga imkon beradi. Ushbu muammoni hal qilish natijasi noravshan sharoitlarda boshqaruv qarorlarini aniqlashdir. Noaniq boshqaruv qarorlari maqsadlar va cheklovlarning noaniqligiga kompleks ta'sir sifatida taqdim etiladi. Murakkab ta'sir noravshan qarorlar to'plami R sifatida qaraladigan noravshan to'plamlarning kesishishi bilan aniqlanadi.

$$R = J \cap O, \quad (8)$$

bu erda J va O noaniq maqsadlar va cheklovlar.

Optimallashtirish masalalarini hal qilishda muqobil mezonlarni noaniq maqsadlar sifatida tanlash mumkin. Bir nechta maqsad va cheklovlarga muqobil yechimlar quyidagicha aniqlanadi:

$$R = j_1 \cap \dots \cap j_k \cap o_1 \cap \dots \cap o_j, \quad (9)$$

r yechim tanlash uchun R mumkin bo'lgan maqsadlar to'plamidan va cheklovlar mavjudligini, shuningdek, tashqi ta'sirlar haqida to'liq bo'lmagan ma'lumotlarni hisobga olish kerak [15].

Muammoning yechimi. Noravshan maqsadlar to'plamlari $J\{j_1, j_2, \dots, j_k\}$ quvvat iste'moli yukini $K_{uzm,h}\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ o'zgartirish koeffitsientining noaniq to'plamining funktsiyalari va boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun noaniq muqobil $A\{a_1, a_2, \dots, a_i\}$ to'plamlar, har bir aniq $a_i \in A$ holat uchun noravshan munosabatlarni $H\{K_{uzm,h} \times J\}$ shakllantirish. Noravshan munosabatlar $H\{K_{uzm,h} \times J\}$ hodisalar matritsasi shaklida taqdim etiladi. Bu matritsaning elementlari tegishlilik darajasi sifatida (k_n, a_i) nisbatan noaniq munosabat H_k ifodalanadi [16, 17].

Boshqaruv qarorlarini qabul qilishning aniq mezonlarining tegishlilik funktsiyasi parametrlarining qiymatini aniqlash minimallashtirish shartini qondiradigan dastlabki ma'lumotlarni normallashtirish orqali amalga oshiriladi. Buni hisobga olgan holda, tegishlilik funktsiyasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\mu_{H_k} = \frac{j_{\max} - j_i}{j_{\max} - j_{\min}}. \quad (10)$$

Noravshan maqsadlar uchun tegishlilik funktsiyasi μ_{J_k} noravshan to'plam $K_{uzm,h}$ va noaniq munosabat H_k tarkibi bilan aniqlanadi:

$$\mu_{J_k} = \mu_{K_{uzm,h} \circ H_k} = \max \min \{ \mu_{K_{uzm,h}}^{nd}, \mu_{H_k} \}. \quad (11)$$

Hududiy EET ob'ektlarining texnologik parametrlari quyidagi shartni hisobga olgan holda olingan matritsalaridan tanlanadi:

$$\mu_R(a_i) = \max \min \{ \mu_{J_k} \}. \quad (12)$$

(12) ifodaga ko'ra, tegishlilik funktsiyasining raqamli qiymatlari 1-jadval shaklida aniqlanadi.

1-jadval

Noravshan maqsadlarning tegishlilik funktsiyalarining raqamli qiymatlari.

Noaniq maqsadlar	Noaniq maqsadlarning tegishlilik funktsiyalari(TF)				
	1 variant	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
Elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlari - $\mu_{3_{\Sigma}}$	0.2	0,52	0,52	0,52	0
Elektr yo'qotishlari - $\mu_{\Delta W_{\Sigma}}$	0,52	0,52	0,52	0,363	0
Elektr etishmasligi - $\mu_{\Delta W_{H\Delta}}$	0	0,488	0,52	0,52	0,357
Elektr tarmog'ining davomiyligi - $\mu_{L_{\Sigma ITC}}$	0,52	0,52	0,52	0,35	0
Optimal TF tuzilishi - $\mu_{\Delta \beta}$	0,52	0,52	0,52	0,403	0

Taklif etilgan yondashuv asosida qator matritsalar ko'rinishida taqdim etilgan beshta elektr tarmoqlari tugunlarini takomillashtirish usuli tanlandi:

$$\begin{aligned}\mu_R(a_i) &= \max \min \left\{ \mu_{3_\Sigma}, \mu_{\Delta W_\Sigma}, \mu_{\Delta W_{H3}}, \mu_{L_{\Sigma/TC}}, \mu_{\Delta\beta} \right\} = \\ &= \max \{0; 0,488; 0,52; 0,35; 0\} = 0,52.\end{aligned}$$

Bu 1-jadvaldagi uchinchi variantga mos keladi, ya'ni Podstansiyada 16MBA quvvatga ega uchinchi transformator o'rnatilgan.

Olingan natijalarning ishonchliligini ta'minlash uchun misolni ko'rib chiqaylik. Oqim chastotasi bilan aniqlangan to'plam P (energiya tizimining tugunlari) bo'lsin. Bunday holda, ko'pchilik interval [49dan ... 51gacha] bilan belgilanadi va chastota L o'zgarishlari to'plami X quyidagi qiymatlar bilan belgilanadi:

$$\begin{aligned}l_1 = \text{"past"} \quad x(l_1) &= [0.0, 50.0] \quad \text{bilan va} \\ \mu(x_i) &= \begin{cases} (50, 0 - x_i) \in [49, 50]; \\ 0, x_i \geq 50; \\ 1, x_i < 49; \end{cases} \quad (13)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_2 = \text{"normal"} \quad x(l_2) &= [49.5, 50.5] \quad \text{bilan va} \\ \mu(x_i) &= \begin{cases} 2 \times (x_i - 49.5), x_i \in [49.5, 50, 0]; \\ 2 / (50.5 - x_i) \in [50.0, 50.5]; \\ 0, x_i \in [49.5, 50.5]; \end{cases} \quad (14)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}l_3 = \text{"yuqori"} \quad x(l_3) &= [50.0, +\infty] \quad \text{bilan va} \\ \mu(x_i) &= \begin{cases} (x_i - 50.0)x_i \in [50, 51]; \\ 0, x_i \geq 51; \\ 1, x_i < 50; \end{cases} \quad (15)\end{aligned}$$

Ushbu ma'lumotlarni hisobga olgan holda, chiziqli va eksponensial bog'liqliklarni tavsiflovchi tegishlilik funktsiyasi shakllari tanlandi, keyin joriy chastotaning har qanday joriy raqamli qiymatlari lingvistik o'zgaruvchilar sifatida ifodalanadi.

Masalan, $x = 49.8$ bo'lsin, u xolda tegishlilik funktsiyasi parametrlari $\mu(l_i) = \{0.2, 0.6, 0.0\}$ ko'rinishda bo'ladi.

Biz turli xil U boshqaruv qarorlarini shakllantiramiz, jumladan, quyidagi parametrlar:

u_1 = iste'molchilarning uzilishi;

u_2 = joriy holatni tekshirish;

u_3 = quvvat o'zgarishi.

Quyidagi shaklga ega bo'lgan munosabatlar matritsasi $R = L \times U$ tuziladi:

$$R = \{r_{ij}\} = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,8 & 0,4 & 0,2 \\ 0,3 & 0,9 & 0,4 \\ 0,6 & 0,3 & 0,8 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Ko'rib chiqilayotgan misol uchun nazorat qarori quyidagi parametrlar bilan aniqlanadi:

$$u = \arg \max \left\{ \max \min \mu_x(l_i), r_{ij} \right\}, u_k \in U, u_j \in U, l_i \in L. \quad (16)$$

Elektr tarmoqlarining joriy holati operator tomonidan 0,6 ishonch darajasi bilan tekshiriladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, neyron tarmoqlardan foydalanishda eng muhim vazifa uni o'qitishdir. Neyron tarmog'ini o'qitishning mohiyati α_c ulanish og'irliklarini sozlash tizimning xato funktsiyasini tavsiflovchi yo'qotish funktsiyasini $E(y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_n)$ minimallashtirishni

ta'minlaydi..

Neyron tarmoq α_k ulanishlarining og'irligi *Fresh* qoidasiga muvofiq o'rnatilad:

$$\alpha_k = F'_{\text{exk}}[x_{\text{exk}}] \cdot \left(\frac{y_{\text{exk}}}{y_{\text{exk}}} \right) \sum_{S \in Q_{\text{exk}}} \alpha_S \cdot \alpha_S - \gamma \cdot F'_{\text{exk}}[x_{\text{exk}}] \cdot y_{\text{exk}} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{\text{exk}}}, \quad (17)$$

bu erda $\gamma > 0$ o'rganish tezligini tavsiflovchi koeffitsient, $F'_{\text{exk}}[x_{\text{exk}}]$ - Fresh hosilasi ; E - jarima funktsiyasi $k \in K$.

(17) tenglama qiyma α_k uchun yagona yechimga ega bo'lishi sharti bilan, bunda jarima funktsiyasi $E(y_1, \dots, y_n, u_1, \dots, u_n)$ vaqt bo'yicha bir xil kamaytiruvchi funktsiya bo'lib, u quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha_k = -\gamma \frac{\delta E}{\delta \alpha_k}, k \in K. \quad (18)$$

Bu erda neyron tarmoq boshlang'ich neyron tarmoq shaklida ifodalangan boshlang'ich bo'laklarga bo'linadi (1-rasm).

Neyron tarmog'ini o'qitish algoritmi matematik jihatdan quyidagicha tavsiflanadi [18]:

$$P_n = \sum_{s \in Dn} \omega_s \cdot r_{\text{exs}}; \quad (19)$$

$$r_n = \sigma(pn),$$

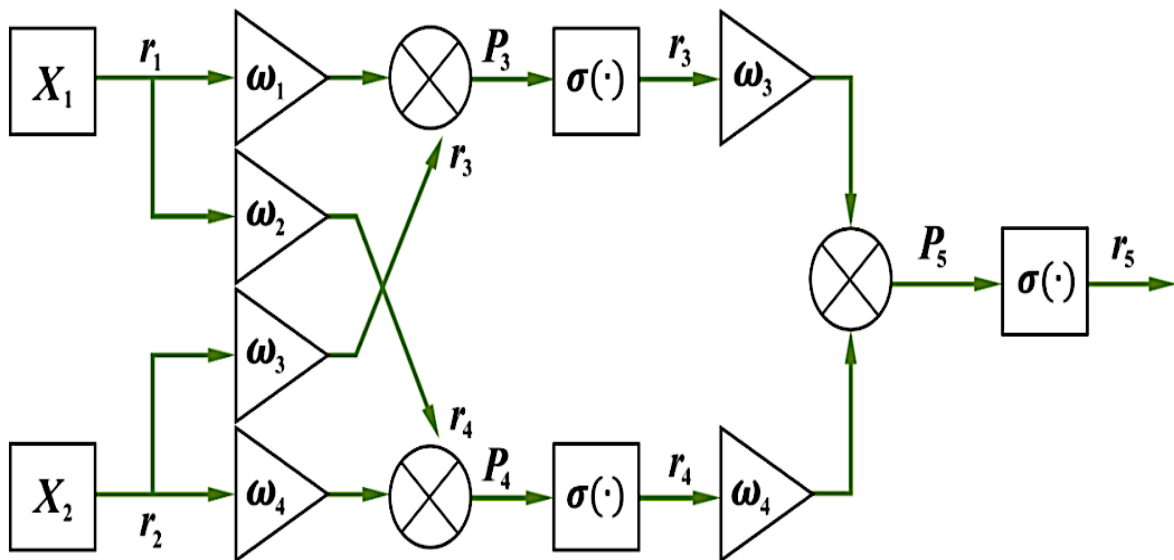
bu erda pn neyron tarmog'idagi n neyronning kuchi; ω_s - neyron tarmoq neyronlarining og'irliklari; exs va bixs - neyron tarmog'ining har bir s qatlamiga mos keladigan neyronlarning kirish va chiqish qiymatlari; r_n - ikkilamchi n neyronlar; n - har bir qatlamdagi neyronlar soni; s - qatlamlar soni; Dn - neyronlarning kirish ma'lumotlari to'plami; σ - sigmasimon tegishlilik funktsiyasi, quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (20)$$

Neyronlarning og'irligi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\omega_s = r_{\text{exs}} \left(\varphi_{\text{bixs}} \sigma(-P_{\text{bixs}}) + \gamma \cdot f_{\text{bixs}} \right), \quad (21)$$

bu erda φ_n barcha neyronlarning ulanish koeffitsientlari; $\varphi_m = \sum_{S \in A_n} \omega_s \cdot \omega_s$, - xato signali.



Rasm 1. Sodda neyron tarmoqlari energiya iste'moli blok diagrammasi.

Ishlab chiqilgan o'rganish algoritmi, xatolarni orqaga surish algoritmidan farqli o'laroq,

neyron tarmoqning chiqishlaridan xatolarni uzatishda qaytarish signalidan foydalanmaydi.

Xulosa. EET doirasida elektr oqimlarini rasmiylashtirish usuli ishlab chiqilgan bo'lib, bu murakkab noaniqlik omillarini hisobga olishga imkon beradi. EET modellari eng muhim parametrlarni hisobga olgan holda energiya uzatishning yuqori aniqligini ta'minlaydigan elektr oqimlari jarayonini boshqarish va optimallashtirish muammosini hal qilish uchun NAT shaklida jarayonning gibridd tavsifida ishlab chiqilgan. NATni o'qitish algoritmi ishlab chiqilgan bo'lib, u neyron tarmog'ining chiqishlaridan xatolarni uzatishda qayta aloqa signallaridan foydalanmaslik bilan an'anaviy algoritmlardan farq qiladi. Neyro-analitik tarmoqlar o'z tuzilishida noravshan mantiqiy tuzilma va sun'iy neyrotarmoqning eng yaxshi sifatlarini birlashtirgan gibridd yondashuv amalga oshirildi.

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "Yangi O'zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-son Farmoni.
- [2]. Порубай, О. В., & Турдиматов, М. М. (2025). Zamonaviy elektr energetika tizimlarining ishlashini boshqarish va optimallashtirish modellari. Научно-технический журнал ФЕРПИ, 29(2), 200–212.
- [3]. Zhu Quanmin, Zhang Weicun, Zhang Jianhua, Sun Bei, "U-neural network-enhanced control of nonlinear dynamic systems", *Neurocomputing*, vol. 352, Aug. 2019, pp. 12-21. doi: 10.1016/j.neucom.2019.04.008
- [4]. Сиддигов И.Х., Порубай О.В. Нейро-аналитическая система оптимизации процессов энергопотока в объектах электроэнергетики //Журнал "Приборы". – 2023. – №. 9 (279). – С. 30-34.
- [5]. Порубай, О. В. (2024). Математическое моделирование динамики энергетической системы с применением нечетких методов: новый подход к управлению в условиях неопределенности. *International Journal of Formal Education*, 3(12), 316-323.
- [6]. Gayibov T., Pulatov B., "Taking into account the constraints in power system mode optimization by genetic algorithms," in *E3S Web of Conferences (CONMECHYDRO - 2021)*, Jun. 2022, Vol. 264, p. 04045.
- [7]. Sandeep Kaur & Kuljit Kaur Chahal (2022) "Prediction of Chikungunya disease using PSO-based adaptive neuro-fuzzy inference system model", *International Journal of Computers and Applications*, 44:7, pp.641-649, doi: 0.1080/1206212X.2020.1870196.
- [8]. Крысанов В.Н. Применение нейро-нечётких сетей для распределённых объектов / В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков // *Электротехнические комплексы и системы управления* - 2013.– No2. – С. 18 – 22.
- [9]. Порубай, О. В., & Турдиматов, М. М. (2025). Elektr energetika obyektlarida boshqaruv qarorlarini qabul qilishni intellektualashtirish. Научный вестник Бухарского государственного университета, (3), 193–198.
- [10]. Домышев А. В. Нейро-аналитические сети для оценивания состояния и прогнозирования параметров ЭЭС // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко, 91-е заседание семинара на тему «Методические и практические проблемы надежности систем энергетики», в 2-х книгах. Отв. ред. Н.И. Воропай. 2019. С. 295-304.
- [11]. Sidikov, I. H., Atajonov, M. O., Yunusova, S. T., & Sherboyev, M. F. (2019). Adaptive Control System Of Uncertain Dynamic Objects No Stationary Parametrically. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(12), pp. 1846-1849.
- [12]. Akbar S., Pardasani K. R. & Panda N. R., "PSO Based Neuro-fuzzy Model for Secondary Structure Prediction of Protein," *Neural Process Lett* 53, pp. 4593–4612 (2021). doi: 10.1007/s11063-021-10615-6.
- [13]. Gayibov T. S., Latipov S. S. Optimum planning of power modes in conditions of partial uncertainty of background information // *Technical science and innovation*. – 2019. – Т. 2019. – №. 2. – pp. 88-95.
- [14]. Gayibov T. Optimization of power systems modes taking into account the influence of electrical networks // *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023. Т. 2552. №.1. <https://doi.org/10.1063/5.0130726>
- [15]. Порубай, О. Эволюционный подход к созданию нейро-нечеткого регулятора с использованием генетического алгоритма. Журнал "Приборы", Учредители: Союз общественных объединений Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов (МНТО ПМ), (1), 24-30.
- [16]. Сиддигов И., Порубай О. Алгоритм оптимизации режима работы электроэнергетического объекта в условиях неопределенности на основе регрессионных моделей // *Engineering problems and innovations*. – 2023. – Т. 1. – №. 1. – С. 3-9.
- [17]. Семенова Людмила Анатольевна. Разработка методики принятия решения по развитию систем электроснабжения с применением техно-ценологического подхода и теории нечетких множеств: диссертация ... кандидата технических наук. Екатеринбург, 2010.- 187 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/2305.
- [18]. Porubay, O., & Siddikov, I. (2025). Synthesis of nonlinear multilinked control systems of thermal power plants. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 15(5), 4500-4507.

УДК 004.855

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ**

С.И. Каримов

Ферганский государственный технический университет,

sk363688@gmail.com

(Получена 17.10.2025 г.)

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка и исследование метода автоматической классификации сельскохозяйственных культур на основе временных рядов спутниковых данных с использованием сверточных нейронных сетей (CNN). Целью исследования является повышение точности и устойчивости классификации сельскохозяйственных угодий за счёт интеграции данных дистанционного зондирования Земли, полученных со спутников Sentinel-2 и Landsat-8. В работе анализируются спектральные характеристики растительности и их сезонные изменения с применением индексов NDVI, EVI и SAVI. Использование архитектуры CNN позволяет извлекать пространственные особенности изображений и эффективно различать типы посевов. Для обучения и тестирования модели использовались спутниковые данные, собранные на сельскохозяйственных территориях Центральной Азии.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети (CNN), классификация сельскохозяйственных культур, спутниковые данные, временные ряды, дистанционное зондирование Земли, NDVI, EVI, SAVI, точное земледелие, анализ данных.

Annotatsiya. Ushbu maqolada sun'iy konvolyutsion neyron tarmoqlar (CNN) yordamida sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarining vaqt qatorlariga asoslangan qishloq xo'jaligi ekinlarini avtomatik tasniflash usulini ishlab chiqish va tadqiq etish masalasi ko'rib chiqiladi. Tadqiqotning maqsadi — Sentinel-2 va Landsat-8 sun'iy yo'ldoshlari orqali olingan Yerning masofadan zondlash ma'lumotlarini integratsiya qilish orqali qishloq xo'jaligi yerlarini tasniflashning aniqligi va barqarorligini oshirishdir. Ishda o'simliklarning spektral xususiyatlari hamda ularning NDVI, EVI va SAVI indeksleri asosida mavsumiy o'zgarishlari tahlil qilinadi. CNN arxitekturasiidan foydalanish tasvirlarning fazoviy xususiyatlarini ajratib olish va ekin turlarini samarali farqlash imkonini beradi. Modelni o'qitish va sinovdan o'tkazish uchun Markaziy Osiyoning qishloq xo'jaligi hududlarida to'plangan sun'iy yo'ldosh ma'lumotlaridan foydalanildi.

Kalit so'zlar: Konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN), ekinlar tasnifi, sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari, vaqt seriyalari, Yerni masofadan zondlash, NDVI, EVI, SAVI, aniq fermerlik, ma'lumotlarni tahlil qilish.

Annotation. This paper discusses the development and evaluation of a method for automatic crop classification based on time-series satellite data using convolutional neural networks (CNNs). The aim of the study is to improve the accuracy and robustness of agricultural land classification by integrating remote sensing data from Sentinel-2 and Landsat-8 satellites. The paper analyzes the spectral characteristics of vegetation and their seasonal variations using the NDVI, EVI, and SAVI indices. The use of a CNN architecture enables the extraction of spatial features in images and the effective discrimination of crop types. Satellite data collected in agricultural areas of Central Asia was used to train and test the model.

Key words: CNN, crop classification, satellite data, time series, Earth remote sensing, NDVI, EVI, SAVI, precision farming, data analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы активного обнаружения и классификации городских территорий основаны на комплексном применении данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и алгоритмов машинного обучения. Цель данных подходов заключается в точном выделении урбанизированных зон и их дифференциации от других типов земельного покрова на основе

спутниковых или аэрофотоснимков высокой пространственной разрешающей способности. Одним из наиболее эффективных инструментов считается объектно-ориентированный анализ изображений (OBIA), который предполагает сегментацию снимков на объекты с учётом их спектральных, геометрических и контекстуальных характеристик. После сегментации объекты классифицируются на основе принадлежности к определённым классам земного покрова, включая городские структуры. Значительное распространение получили сверточные нейронные сети (CNN), демонстрирующие высокую эффективность при анализе пространственно-визуальных данных. Обученные на больших массивах спутниковых изображений, CNN способны автоматически извлекать информативные признаки и точно идентифицировать урбанизированные территории. Кроме того, в задачах классификации земного покрова активно применяются машины опорных векторов (SVM) и алгоритмы случайного леса (Random Forest, RF), обеспечивающие высокую устойчивость к шумам и эффективную обработку многомерных данных. Отдельное направление представляют глубокие доверительные сети (Deep Belief Networks, DBN), которые формируют иерархические представления изображений, что позволяет более точно моделировать структуру городских объектов [1].

Выбор конкретного метода зависит от характеристик исходных данных, пространственного разрешения изображений и целей анализа. Комплексное использование алгоритмов машинного обучения и данных ДЗЗ открывает возможности для более точного и автоматизированного мониторинга урбанизированных территорий. Методы глубокого обучения в последние годы заняли центральное место в задачах автоматического обнаружения и классификации городских территорий на спутниковых изображениях. Их ключевое преимущество заключается в способности автоматически извлекать иерархические пространственно-спектральные признаки из необработанных данных дистанционного зондирования, минимизируя необходимость ручного выбора характеристик. Такой подход обеспечивает высокую степень обобщения и точности при идентификации урбанизированных областей на региональном и глобальном уровнях. Одним из наиболее широко применяемых методов являются сверточные нейронные сети (CNN), которые эффективно обрабатывают изображения за счёт использования последовательных сверточных и объединяющих слоёв. Эти архитектуры формируют многоуровневое представление данных и позволяют достичь высокой точности классификации городских объектов, особенно при использовании спутниковых снимков высокого разрешения.

Другим направлением развития стали полностью сверточные сети (FCN), отличающиеся возможностью выполнять классификацию на уровне пикселей. Это свойство особенно важно для задач точной сегментации урбанизированных зон и выделения границ городской застройки, что делает FCN незаменимыми при детальном картографировании. В последние годы активное развитие получили генеративно-состязательные сети (GAN), которые применяются для создания синтетических спутниковых изображений, расширения обучающих выборок и повышения устойчивости моделей. Использование GAN способствует снижению зависимости от реальных данных и повышает способность моделей обрабатывать редкие или неполные наборы изображений.

Кроме того, рекуррентные нейронные сети (RNN) демонстрируют потенциал в анализе временных последовательностей спутниковых данных. Они позволяют отслеживать динамику урбанизации и выявлять изменения структуры городской среды во времени, что особенно ценно для задач долгосрочного мониторинга.

Таким образом, интеграция методов глубокого обучения — CNN, FCN, GAN и RNN — формирует современную основу для интеллектуального анализа спутниковых изображений и способствует развитию систем автоматического обнаружения и мониторинга городских территорий [2].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В последние десятилетия наблюдается значительный прогресс в области

автоматического обнаружения и анализа урбанизированных территорий на основе спутниковых данных. Большинство современных исследований направлено на интеграцию методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с алгоритмами глубокого обучения, что позволяет повысить точность классификации городских объектов и автоматизировать процессы мониторинга городской среды. Ранние работы, такие как исследования Blaschke et al. (2014) [3], сосредоточились на объектно-ориентированном анализе изображений (OBIA), который позволил учитывать не только спектральные, но и контекстуальные характеристики объектов. OBIA показал эффективность при разделении урбанизированных и неурбанизированных зон, однако его производительность ограничивалась зависимостью от параметров сегментации и ручной настройки признаков.

Существенный прорыв был достигнут с развитием сверточных нейронных сетей (CNN). Работы Zhang et al. (2019), Marmanis et al. (2016) и Audebert et al. (2018) продемонстрировали, что использование CNN позволяет автоматически извлекать пространственные признаки и значительно повышает точность классификации спутниковых изображений высокого разрешения. В частности, архитектуры U-Net и SegNet показали превосходные результаты при сегментации городской инфраструктуры и выявлении строений [4]. Дальнейшие исследования, включая работы Li et al. (2021) и Ma et al. (2020), предложили полностью сверточные сети (FCN), способные выполнять классификацию на уровне пикселей [5]. Это позволило достичь более точного выделения границ между различными типами городских объектов. Использование FCN особенно эффективно при анализе детальных спутниковых изображений Sentinel-2 и WorldView-3.

Наряду с этим, ряд современных исследований применяет генеративно-состязательные сети (GAN) для увеличения обучающих выборок и устранения дисбаланса данных (Zhu et al., 2017; Gong et al., 2020). GAN-модели позволяют создавать синтетические изображения, которые воспроизводят структуру городской среды, что способствует улучшению устойчивости классификаторов [6].

Кроме того, рекуррентные нейронные сети (RNN) применяются для анализа временных рядов спутниковых данных, что даёт возможность отслеживать процессы урбанизации во времени. Работы Liu et al. (2021) и Zhang et al. (2020) продемонстрировали эффективность RNN при мониторинге динамики застроек и выявлении изменений городского ландшафта. В целом анализ существующих исследований показывает, что наиболее перспективным направлением является использование гибридных архитектур глубокого обучения, объединяющих CNN, FCN, GAN и RNN [7]. Такие модели обеспечивают более полное извлечение пространственно-временных характеристик и открывают новые возможности для высокоточной классификации и мониторинга урбанизированных территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обнаружение активных городских зон на основе спутниковых и аэрофотоснимков представляет собой актуальную задачу в области компьютерного зрения и анализа пространственных данных. Применение методов глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), позволяет автоматизировать процесс выделения урбанизированных участков и повысить точность классификации городских территорий с различным уровнем активности. В рамках данного исследования предполагается реализация многоэтапного подхода, включающего подготовку, обработку и анализ данных с последующим обучением нейронной сети [8].

На первом этапе осуществляется формирование репрезентативного набора данных городских изображений. Для этого могут быть использованы открытые спутниковые базы данных либо самостоятельно сформированные коллекции снимков, охватывающие различные типы урбанистических ландшафтов и сезонных условий.

На втором этапе проводится аннотирование данных, где каждому изображению присваивается метка категории — «активный» или «неактивный». Активные зоны

характеризуются высокой плотностью человеческой деятельности, наличием транспортных потоков и коммерческих объектов, в то время как неактивные участки включают парковые зоны, жилые кварталы и малолюдные районы. Далее выполняется предварительная обработка данных, включающая масштабирование, обрезку и нормализацию изображений для обеспечения единообразного формата входных данных. Для повышения устойчивости модели к переобучению применяются методы аугментации данных — случайное отражение, вращение и обрезка, что способствует увеличению вариативности обучающей выборки.

На следующем этапе осуществляется обучение сверточной нейронной сети. Для решения поставленной задачи могут быть использованы современные архитектуры CNN — VGGNet, ResNet, U-Net или MobileNet. В целях оптимизации процесса возможно использование технологии трансферного обучения, при которой модель инициализируется весами, предварительно обученными на обширных наборах данных, таких как ImageNet, что позволяет значительно сократить время обучения и повысить точность классификации.

После обучения модель проходит этап валидации на независимом тестовом наборе данных. Эффективность работы модели оценивается по ключевым метрикам — точности (Accuracy), полноте (Recall), прецизионности (Precision) и F1-оценке. Такой подход обеспечивает объективную оценку способности модели корректно выявлять активные городские зоны [9].

На заключительном этапе разработанная модель внедряется для практического применения — автоматического обнаружения и картографирования активных урбанизированных районов на спутниковых изображениях. Это открывает возможности для использования модели в задачах мониторинга городской динамики, управления инфраструктурой и оценки пространственного развития населённых пунктов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках данного исследования рассматривалась задача компьютерного зрения, направленная на автоматическое выявление активных городских территорий на спутниковых изображениях с использованием архитектуры **U-Net**. Применение данного подхода позволило разработать высокоточное решение для семантической сегментации урбанизированных областей, обеспечивающее эффективное выделение территорий с повышенной антропогенной активностью.

1. Формирование и подготовка исходных данных

На первом этапе исследования был сформирован набор спутниковых и аэрофотоснимков, охватывающих различные типы городской застройки и пригородных зон. Источниками данных послужили открытые геопространственные платформы, такие как Sentinel Hub и Google Earth Engine, а также национальные картографические архивы. Для обеспечения корректности дальнейшего анализа изображения были предварительно обработаны: выполнено выравнивание разрешения, нормализация спектральных каналов и фильтрация по облачности. Кроме того, применялись методы аугментации данных — случайное вращение, отражение и масштабирование, что повысило устойчивость обучаемой модели к разнообразию входных данных.

2. Проектирование архитектуры U-Net

Для решения задачи семантической сегментации использовалась модифицированная архитектура U-Net, включающая две основные части — кодировщик (encoder) и декодировщик (decoder), соединённые системой пропускных связей (skip connections). Кодировочная часть отвечала за извлечение признаков различного уровня абстракции, тогда как декодировочная обеспечивала восстановление пространственной информации и формирование итоговой карты сегментации. В процессе исследования варьировались глубина сети, размер сверточных ядер и функции активации (в частности, ReLU и Leaky ReLU) с целью достижения оптимального баланса между точностью и вычислительной сложностью.

3. Обучение модели

Для обучения модели исходный набор данных был разделён на три части: обучающую (70%), валидационную (15%) и тестовую (15%) выборки. В качестве функции потерь использовалась бинарная кросс-энтропия, а оптимизация параметров сети осуществлялась методом Adam с динамической корректировкой скорости обучения. Применение техники ранней остановки позволило предотвратить переобучение, а регуляризация (Dropout) способствовала повышению обобщающей способности модели [10].

4. Оценка качества модели

Производительность обученной модели оценивалась на тестовой выборке, не участвовавшей в обучении. Для количественной оценки применялись метрики Accuracy, Precision, Recall, F1-score, а также Intersection over Union (IoU). Анализ полученных результатов показал, что предложенная архитектура U-Net демонстрирует высокую точность в распознавании урбанизированных областей, эффективно отделяя городскую застройку от природных и сельских ландшафтов. Визуализация карт сегментации подтвердила способность модели выявлять даже мелкомасштабные городские структуры.

5. Развертывание и практическое применение

После успешного обучения и тестирования разработанная модель была интегрирована в экспериментальную геоинформационную систему для мониторинга городской активности. U-Net применялась для построения карт вероятностей принадлежности пикселей к урбанизированным зонам. На основании полученных карт формировались бинарные сегментационные маски, что позволило точно определять границы активных городских районов. На рисунке 1 показана стандартная версия архитектуры U-Net на основе языка программирования Python. Предложенная методика может быть использована в системах городского планирования, экологического мониторинга, а также при оценке динамики урбанизации.

Полученные результаты экспериментов подтверждают высокую эффективность архитектуры U-Net при решении задач семантической сегментации спутниковых изображений. Модель демонстрирует стабильные показатели точности и полноты при выделении урбанизированных территорий, однако дальнейшее совершенствование возможно путем интеграции дополнительных оптимизационных архитектур. В частности, объединение U-Net с легковесной архитектурой MobileNet позволяет повысить производительность модели и уменьшить вычислительные затраты, не

```
inputs = Input((512, 512, 3))

# Contracting path
conv1 = Conv2D(64, 3, activation='relu', padding='same')(inputs)
conv1 = Conv2D(64, 3, activation='relu', padding='same')(conv1)
pool1 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(conv1)

conv2 = Conv2D(128, 3, activation='relu', padding='same')(pool1)
conv2 = Conv2D(128, 3, activation='relu', padding='same')(conv2)
pool2 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(conv2)

conv3 = Conv2D(256, 3, activation='relu', padding='same')(pool2)
conv3 = Conv2D(256, 3, activation='relu', padding='same')(conv3)
pool3 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(conv3)

conv4 = Conv2D(512, 3, activation='relu', padding='same')(pool3)
conv4 = Conv2D(512, 3, activation='relu', padding='same')(conv4)
drop4 = Dropout(0.5)(conv4)
pool4 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(drop4)

conv5 = Conv2D(1024, 3, activation='relu', padding='same')(pool4)
conv5 = Conv2D(1024, 3, activation='relu', padding='same')(conv5)
drop5 = Dropout(0.5)(conv5)

# Expansive path
up6 = Conv2D(512, 2, activation='relu', padding='same')(UpSampling2D(size=(2, 2))
merge6 = concatenate([drop4, up6], axis=3)
conv6 = Conv2D(512, 3, activation='relu', padding='same')(merge6)
conv6 = Conv2D(512, 3, activation='relu', padding='same')(conv6)

up7 = Conv2D(256, 2, activation='relu', padding='same')(UpSampling2D(size=(2, 2))
merge7 = concatenate([conv3, up7], axis=3)
conv7 = Conv2D(256, 3, activation='relu', padding='same')(merge7)
conv7 = Conv2D(256, 3, activation='relu', padding='same')(conv7)

up8 = Conv2D(128, 2, activation='relu', padding='same')(UpSampling2D(size=(2, 2))
merge8 = concatenate([conv2, up8], axis=3)
conv8 = Conv2D(128, 3, activation='relu', padding='same')(merge8)
conv8 = Conv2D(128, 3, activation='relu', padding='same')(conv8)

up9 = Conv2D(64, 2, activation='relu', padding='same')(UpSampling2D(size=(2, 2))
merge9 = concatenate([conv1, up9], axis=3)
conv9
```

Рисунок 1. Схематическое представление базовой архитектуры нейронной сети U-Net, реализованной с использованием языка программирования Python.

снижая при этом качества сегментации. Для обучения сверточных нейронных сетей в рамках данного исследования использовался предварительно размеченный набор картографических данных CropLand Mapping [11], включающий спутниковые изображения, охватывающие сельскохозяйственные территории и различные типы землепользования. Данный набор данных представляет собой репрезентативную коллекцию, содержащую 800 спутниковых снимков высокого пространственного разрешения, что обеспечивает достаточную статистическую основу для построения моделей глубокого обучения.

Изображения были распределены по пяти основным классам, по 160 снимков в каждом. Каждый элемент выборки представлен четырёхканальными изображениями (RGB + NIR), что позволяет учитывать как видимый, так и ближний инфракрасный спектр, обеспечивая более точное различение типов растительности. Дополнительно к изображениям прилагаются маски сегментации, содержащие информацию о принадлежности каждого пикселя к конкретному типу землепользования. Классификация охватывает следующие категории:

- сельскохозяйственные угодья,
- пастбища,
- лесные массивы,
- специфические виды сельскохозяйственных культур,

в то время как области, не относящиеся к перечисленным классам, маркируются как неопределённые типы землепользования. Так как спутниковые изображения обладают высоким пространственным разрешением и значительным размером, на этапе предварительной обработки особое внимание уделялось сохранению исходного качества данных. Перед этапом обучения выполнялась сегментация изображений по вегетационным индексам (VI), что позволяло выделить области активной растительности без потери спектральной информации. На данном этапе изменение разрешения снимков было сведено к минимуму, чтобы избежать потерь информативности.

После завершения процедуры сегментации изображения были адаптированы под входные требования архитектуры VGG, используемой в эксперименте. Каждое изображение масштабировалось до размера 224×224 пикселей, что соответствует стандартному формату входных данных данной нейронной сети. Исходный набор данных включал RGB-изображения спутниковых наблюдений определённых регионов и соответствующие им маски, каждая из которых представляла собой цветное изображение, где каждый тип сельскохозяйственной культуры кодировался индивидуальным цветом. Таким образом, маска обеспечивала однозначное сопоставление между пикселями изображения и классами землепользования. Для повышения эффективности обучения и минимизации переобучения все изображения были предварительно обработаны в соответствии с установленной процедурой: нормализация яркости и контрастности, удаление шумов, а также стандартизация цветовых каналов. Полученный рабочий набор данных был случайным образом разделён на три части:

- обучающую выборку (50%),
- валидационную выборку (30%),
- тестовую выборку (20%).

Такое распределение обеспечивает баланс между точностью обучения, достоверностью валидации и независимостью оценки качества модели. Применение набора данных CropLand Mapping позволило создать надёжную экспериментальную основу для обучения и тестирования нейронных сетей, ориентированных на классификацию и сегментацию сельскохозяйственных территорий с использованием спутниковых данных.

После завершения процедуры сегментации все спутниковые изображения были подвергнуты этапу предварительной подготовки, необходимому для последующего обучения нейронной сети. На данном этапе обеспечивалось приведение данных к единому формату и масштабу, что является важным условием корректной работы алгоритмов глубокого обучения.

Для реализации модели была выбрана архитектура сверточной нейронной сети VGG, которая характеризуется высокой способностью к извлечению иерархических признаков из изображений. В соответствии с требованиями данной архитектуры, все изображения были масштабированы до стандартного разрешения 224×224 пикселей, что обеспечивает совместимость данных с входными параметрами сети и позволяет сохранять достаточный уровень детализации визуальных объектов.

В результате предварительной обработки была сформирована обучающая база данных, включающая по 160 изображений для каждого класса, что обеспечивает равномерное распределение выборки и способствует устойчивости модели к смещению данных. Таким образом, подготовленный набор данных представляет собой структурированную и сбалансированную основу для эффективного обучения и последующей валидации нейронной сети, основанной на архитектуре VGG. На основании этого была разработана модель классификации сельскохозяйственных культур, которая схематически представлена на рисунке 2.

В процессе настройки нейронной сети до начала обучения в качестве функции потерь была применена категориальная кросс-энтропия, представляющая собой один из наиболее распространённых методов оценки расхождения между предсказанными и истинными распределениями классов [12]. Данный подход обеспечивает вероятностную интерпретацию результатов, позволяя модели формировать распределение вероятностей для каждого возможного класса на выходе.

Категориальная кросс-энтропия измеряет степень различия между двумя дискретными вероятностными распределениями — фактическим распределением меток и распределением, предсказанным моделью. Чем ближе предсказанные вероятности к истинным меткам, тем меньше значение функции потерь, что указывает на более высокое качество обучения.

Математически перекрёстная энтропия для двух дискретных случайных переменных определяется следующим выражением:

$$H(p, q) = - \sum_x p(x) \log q(x)$$

Следует отметить, что данное определение перекрёстной энтропии является несимметричным: распределение **p** интерпретируется как «истинное» или эмпирически наблюдаемое, в то время как распределение **q** рассматривается как аппроксимация, полученная на основе параметров статистической модели. Это различие подчёркивает направленный характер меры, при котором ошибка модели оценивается относительно наблюдаемых данных.

Для оптимизации параметров нейронной сети в процессе обучения использовался алгоритм Adam (Adaptive Moment Estimation), являющийся усовершенствованной модификацией стохастического градиентного спуска. Его преимущество заключается в способности автоматически адаптировать скорость обучения для каждого параметра модели на основе первых и вторых моментов градиентов, что обеспечивает более стабильную и быструю сходимость. В экспериментальных условиях использовалось рекомендуемое значение скорости обучения, равное 10^{-3} . Обучение проводилось с применением пакетной нормализации (Batch Normalization), направленной на стабилизацию распределения входных



Рисунок 2. Схематическое представление процесса обучения модели классификации сельскохозяйственных культур.

данных на каждом слое и ускорение процесса сходимости. Размер пакета, равный 16, был выбран эмпирическим путём на основе предварительных испытаний, обеспечивших оптимальный баланс между скоростью вычислений и устойчивостью градиента [13]. На рисунке 3 представлен график процесса обучения сети VGG на ограниченном количестве эпох. В рамках первого эксперимента модель обучалась в течение 50 эпох, что позволило зафиксировать постепенное уменьшение функции потерь и рост точности классификации. Итоговые результаты показали, что архитектура VGG достигла значения точности 0,88, что подтверждает её эффективность для задач классификации спутниковых изображений.

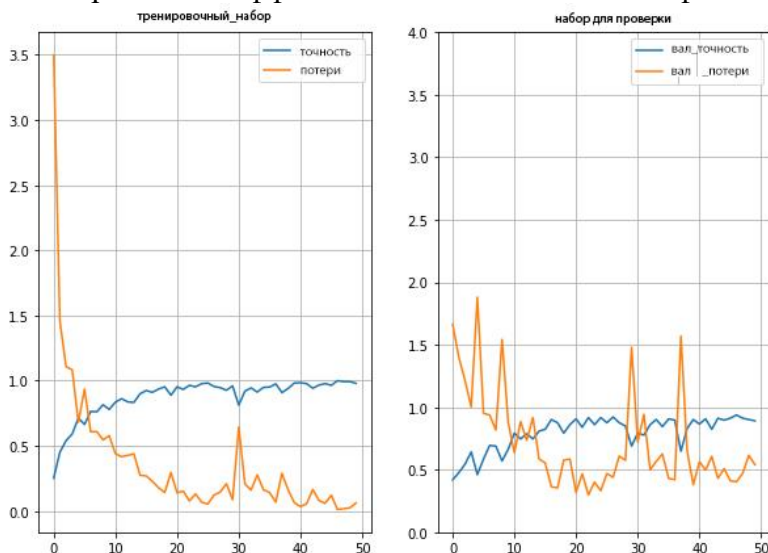


Рисунок 3. Графическое представление процесса экспериментального обучения нейронной сети VGG, выполненного на протяжении 50 эпох.

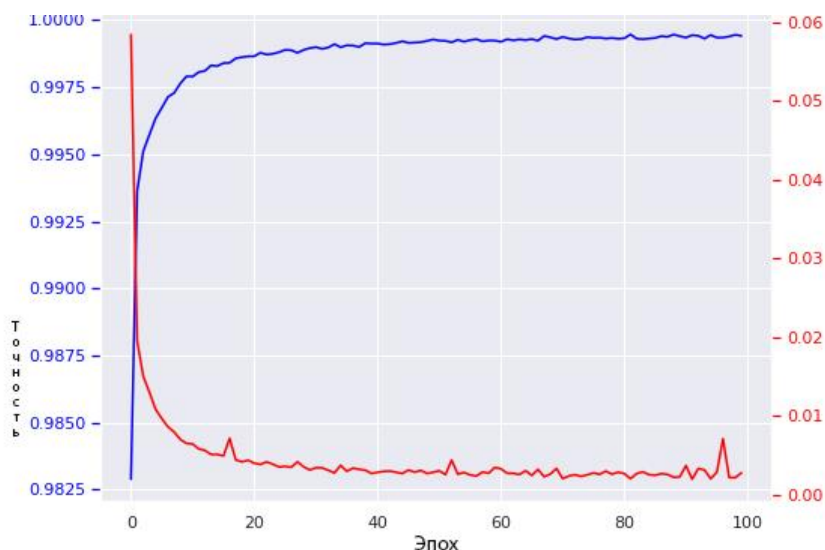


Рисунок 4. Экспериментальные результаты обучения нейронной сети VGG на протяжении 100 эпох.

График демонстрирует постепенное снижение значения функции потерь и устойчивый рост точности модели на обучающем наборе данных. Такое поведение свидетельствует о корректной сходимости модели и эффективном обновлении весов в ходе оптимизации. При этом наблюдается тенденция к стабилизации метрик на поздних этапах обучения, что указывает на достижение сетью состояния близкого к оптимальному.

Полученные результаты подтверждают, что архитектура VGG способна эффективно извлекать и обобщать признаки спутниковых изображений, обеспечивая высокие показатели точности при решении задачи классификации.

При увеличении числа эпох обучения нейронной сети архитектуры VGG до 100, наблюдается значительное повышение точности классификации, достигающей 0,98%, что соответствует ожидаемым результатам. Данный эффект во многом обусловлен ограниченным объемом обучающего набора данных, что способствует более быстрой сходимости модели. Однако следует отметить, что чрезмерное увеличение количества эпох не всегда приводит к улучшению качества модели, так как может вызвать эффект переобучения, при котором сеть теряет способность к обобщению и демонстрирует снижение точности на тестовых данных. Рисунок 4. иллюстрирует график процесса обучения нейронной сети VGG на протяжении 100 эпох, отражающий динамику изменения метрик точности и функции потерь.

На представленном графике показана динамика обучения сверточной нейронной сети архитектуры VGG в процессе 100 эпох.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования была рассмотрена возможность применения современных архитектур глубокого обучения, в частности U-Net и VGG, для решения задачи классификации и сегментации сельскохозяйственных культур на основе спутниковых изображений высокого разрешения. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенного подхода при распознавании и дифференциации различных типов сельскохозяйственных угодий [5,6,7].

Архитектура U-Net показала себя как оптимальное решение для задач сегментации, обеспечивая высокую точность выделения объектов на уровне пикселей благодаря использованию симметричной структуры с пропускными соединениями. В то же время архитектура VGG, применённая для классификации, продемонстрировала устойчивую сходимость и высокую точность (до 0,98%) даже при ограниченном объёме данных. Это подтверждает её способность эффективно извлекать пространственные признаки и формировать обобщённые представления визуальной информации. Следует отметить, что дальнейшее увеличение числа эпох обучения не всегда приводит к улучшению качества модели и может вызвать эффект переобучения, особенно при небольших обучающих выборках. Таким образом, оптимизация параметров обучения и объёма данных является ключевым фактором повышения общей производительности модели.

Результаты исследования подтверждают потенциал интеграции глубоких нейронных сетей в процессы мониторинга сельскохозяйственных территорий. Данный подход может быть успешно применён для автоматизации анализа землепользования, повышения точности аграрного картографирования и оптимизации управления земельными ресурсами в реальном времени.

Список литературы

- [1]. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). – Springer, 2015. – Vol. 9351. – P. 234–241.
- [2]. Simonyan, K., Zisserman, A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // arXiv preprint. – 2015. – arXiv:1409.1556.
- [3]. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G. E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2012. – P. 1097–1105.
- [4]. Chollet, F. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2017. – P. 1251–1258.
- [5]. Zhang, C., Roy, D. P. Mapping Land Cover and Cropland Using MODIS and Deep Learning Approaches // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 195. – P. 301–311.
- [6]. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., Shelestov, A. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2017. – Vol. 14, №5. – P. 778–782.
- [7]. Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L. et al. Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2017. – Vol. 5, №4. – P. 8–36.
- [8]. Pelletier, C., Webb, G. I., Petitjean, F. Temporal Convolutional Neural Network for the Classification of Satellite Image Time Series // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, №5. – P. 523.
- [9]. Li, Z., Chen, Y. A Review of Deep Learning Methods for Semantic Segmentation of Remote Sensing Imagery // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2020. – Vol. 172. – P. 147–165.
- [10]. Гришкин В., Каримов С., Фёдорова А. Атмосферная коррекция спутниковых изображений с использованием нейронной сети. // Physics of Particles and Nuclei. — 2024. — Т. 55, №3. — С. 545–547.
- [11]. Гришкин В. М., Каримов С. И. Использование спутниковых данных и индексного контроля для мониторинга и анализа сельскохозяйственных земель Бухарской области, являющейся объектом всемирного исторического наследия. // AIP Conference Proceedings. — 2022. — Т. 2432, №1. — AIP Publishing LLC.
- [12]. Гришкин В. и др. Определение плодородных почв на основе обработки спутниковых изображений. // CEUR Workshop Proceedings. — 2021.
- [13]. Каримов С. и др. Глубокая нейронная сеть для семантической сегментации спутниковых изображений. // E3S Web of Conferences. — 2024. — Т. 587. — EDP Sciences.

УДК 681.64-53

**СИНТЕЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ТУРБОГЕНЕРАТОРОМ НА
ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Д.М. Умурзакова

Ферганский государственный технический университетumurzakovadilnoz@gmail.com*(Получена 17.10.2025 г.)*

Maqolada neyron tarmoq texnologiyalariga asoslangan avtonom turbogeneratorni boshqarish usullarini sintez qilish metodologiyasi keltirilgan. Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, neyron tarmoq texnologiyalaridan foydalanish o'zgaruvchan ish rejimlariga moslashishga imkon beradi va jarayonlarni avtomatlashtirish darajasini oshiradi. Maqolada, shuningdek, asimptotik barqarorlik va tashqi g'alayonlar uchun kompensatsiyani ta'minlovchi invariant boshqaruv tizimlarini sintezlash uchun yangi yondashuvlarni taklif qiluvchi sinergetik boshqaruv nazariyasi taklif etilgan. Neyron tarmoq tasviriga asoslangan nochiziqli PID-rostlagichni sintez qilishning taklif qilingan usuli turli xil tashqi ta'sirlar sharoitida tizimning o'tkinchi jarayonlarini va barqarorligini yaxshilashga qaratilgan. Raqamli modellashirish natijalari taklif qilingan yondashuvning samaradorligini qo'llab-quvvatlaydi, bu esa avtonom energiya qurilmalarini boshqarish bo'yicha tadqiqotlarga asos bo'lib xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: avtonom turbogenerator, neyron tarmoq texnologiyasi, boshqaruv usullari, sinergetik nazariya, nochiziqli PID rostlagich, energiya tizimlari, adaptiv boshqaruv, o'tkinchi jarayonlar.

В статье рассматривается методика синтеза методов управления автономным турбогенератором на основе нейросетевых технологий. Анализ существующих исследований показывает, что применение нейросетевых технологий позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям работы и повышает степень автоматизации процессов. В статье также рассматривается синергетическая теория управления, которая предлагает новые подходы к синтезу управляющих систем на основе инвариантов, обеспечивающих асимптотическую устойчивость и компенсацию внешних возмущений. Предложенная методика синтеза нелинейного ПИД-регулятора, основанная на нейросетевом представлении, направлена на улучшение переходных характеристик и устойчивости системы в условиях различных внешних воздействий. Результаты численного моделирования подтверждают эффективность предложенного подхода, что открывает новые горизонты для дальнейших исследований в области управления автономными энергетическими установками.

Ключевые слова: автономный турбогенератор, нейросетевые технологии, методы управления, синергетическая теория, нелинейный ПИД-регулятор, энергетические системы, адаптивное управление, переходные характеристики.

The article discusses a method for synthesizing control methods for an autonomous turbo generator based on neural network technologies. An analysis of existing research shows that the use of neural network technologies makes it possible to adapt to changing working conditions and increases the degree of automation of processes. The article also discusses the synergetic theory of control, which offers new approaches to the synthesis of control systems based on invariants that ensure asymptotic stability and compensation of external disturbances. The proposed method for synthesizing a nonlinear PID-controller based on a neural network representation is aimed at improving the transient characteristics and stability of the system under various external influences. The results of numerical modeling confirm the effectiveness of the proposed approach, which opens up new horizons for further research in the field of autonomous power plant control.

Keywords: autonomous turbo generator, neural network technologies, control methods, synergetic theory, nonlinear PID-controller, energy systems, adaptive control, transient characteristics.

Современное развитие энергетической отрасли сопровождается активным внедрением инновационных систем управления, что особенно актуально для автономных турбогенераторов, играющих важную роль в обеспечении устойчивого энергоснабжения. Энергоблоки, установленные на районных тепловых станциях крупных городов, ранее функционировавшие преимущественно в режиме теплоснабжения, в настоящее время способны дополнительно производить электроэнергию без увеличения расхода сжиженного

газа. Такое преобразование технологических процессов выдвигает повышенные требования к системам управления, от которых требуется высокая эффективность, устойчивость и надёжность при изменяющихся режимах работы.

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса исследователей к применению нейросетевых методов в задачах управления энергетическими системами. Ряд работ, включая исследования Ли и Джона (2020), демонстрирует эффективность использования нейронных сетей для оптимизации процессов управления различными типами энергетических установок. Подобные подходы обеспечивают адаптивность систем к изменяющимся условиям эксплуатации и позволяют достигать высокого уровня автоматизации [1].

Синергетическая теория управления, как показано в исследованиях Иванова и Петрова (2021), формирует основу для новых методов синтеза управляющих систем, основанных на принципе инвариантности. Эти методы обеспечивают асимптотическую устойчивость и позволяют эффективно компенсировать внешние возмущения. Работы, посвящённые синтезу нелинейных регуляторов, подчёркивают важность учёта динамических характеристик управляемого объекта и возможности их адаптации к изменениям режимов работы [2].

Кроме того, в исследованиях Смирнова и Кузнецова (2022) обращается внимание на необходимость учёта динамических свойств систем при разработке алгоритмов управления. Предлагаемые ими методы направлены на повышение адаптивности регуляторов и улучшение качества управления в условиях изменяющихся параметров объекта [3].

Несмотря на достигнутые успехи, следует отметить недостаточную изученность вопросов интеграции нейросетевых технологий с синергетическими принципами при управлении автономными турбогенераторами. В настоящей работе предложена методика синтеза нелинейного ПИД-регулятора, основанная на нейросетевом представлении, которая позволяет улучшить переходные характеристики системы и повысить её устойчивость к внешним возмущениям [4, 5].

Таким образом, проведённый анализ существующих подходов и технологий подтверждает высокую актуальность и необходимость дальнейших исследований в области управления автономными турбогенераторами с применением современных интеллектуальных методов. Развитие этого направления будет способствовать созданию более эффективных, надёжных и устойчивых энергетических систем.

Несмотря на значительный прогресс в изучении вопросов интеллектуального управления, применение нейросетевых технологий к управлению автономными турбогенераторами остаётся недостаточно исследованным. В настоящей работе представлена методика синтеза нелинейного ПИД-регулятора, основанная на нейросетевом представлении, ориентированная на адаптивное управление динамическими объектами с нестационарными параметрами. Такой подход позволяет улучшить переходные характеристики системы, повысить её устойчивость к внешним возмущениям и тем самым повысить эффективность эксплуатации автономных энергетических установок.

Методы решения. В последние годы реализуется ряд проектов по установке генерирующих энергоблоков на районных тепловых станциях крупных городов, которые ранее использовались исключительно для теплоснабжения. Каждая подобная станция при соответствующей модернизации способна дополнительно вырабатывать до 100 МВт электроэнергии без увеличения расхода сжиженного газа, что делает задачу оптимального управления особенно актуальной.

Рассмотрим модель автономного неявнополюсного турбогенератора с синхронным генератором (СГ) классического типа, то есть машины, имеющей одну продольную обмотку возбуждения и отсутствующие демпферные обмотки. В системе координат ротора d, q математическая модель такого генератора может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0; \quad T_j \frac{d\omega}{dt} = M_T - \frac{i_q E}{\omega_0} + F(t); \\
 r_a i_d + \frac{1}{\omega_0} \left(x_d \frac{di_d}{dt} + \frac{dE}{dt} \right) + \frac{\omega}{\omega_0} x_q i_q &= -u_d; \\
 r_a i_d + \frac{x_q}{\omega_0} \frac{di_q}{dt} + \frac{\omega}{\omega_0} (x_d i_d + E) &= -u_q; \\
 T_{d0} \frac{dE}{dt} &= -E - T_{d0} (x_d - x'_d) \frac{di_d}{dt} + E_e; \\
 T_c \frac{dM_T}{dt} &= -M_T - \frac{\omega - \omega_0}{\sigma} + U_c,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где δ – угол между ЭДС и напряжением СГ; ω – частота вращения ротора СГ; ω_0 – синхронная частота; E – синхронная ЭДС СГ по оси q; M – механический момент турбины; i_d, i_q, u_d, u_q – проекции тока статора и напряжения СГ соответственно; r_a – активное сопротивление статора СГ; x_d, x_q – синхронные реактивные сопротивления статора СГ; x'_d – переходное сопротивление статора СГ; E_e – вынужденная ЭДС СГ, пропорциональная напряжению возбуждения СГ (управление); U_c – управление по каналу регулирования частоты вращения турбины; T_{d0}, T_c, T_j – постоянные времени обмотки возбуждения СГ, турбины и турбоагрегата соответственно; σ – коэффициент статизма первичного регулятора турбины; $F(t)$ – внешнее возмущение.

Следует заметить, что управления статорной цепи, входящие в систему уравнений (1), необходимо дополнить уравнениями нагрузки, которую можно представить в виде эквивалентных статических или динамических уравнений. В качестве нагрузки синхронного генератора будем рассматривать эквивалентную RL-нагрузку, которая задается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 R_n i_d + \frac{x_n}{\omega_0} \frac{di_d}{dt} + \frac{\omega}{\omega_0} x_n i_q &= u_d; \\
 R_n i_q + \frac{x_n}{\omega_0} \frac{di_q}{dt} - \frac{\omega}{\omega_0} x_n i_d &= u_q,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где x_n, R_n – индуктивное и активное сопротивления нагрузки соответственно.

Объединим уравнения (1), (2) и представим полученную систему дифференциальных уравнений в форме Коши, окончательно получим модель автономного неявнополюсного турбогенератора:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0; \quad T_j \frac{d\omega}{dt} = M_T - \frac{i_q E}{\omega_0} + c_1 w_1; \\
 \frac{di_d}{dt} &= a_1 i_d + a_2 i_q \omega + a_3 (E - E_e); \\
 \frac{di_q}{dt} &= a_4 i_q + a_5 i_d \omega + E \omega; \\
 \frac{dE}{dt} &= -a_6 (a_1 i_d + a_2 i_q \omega) - a_3 (E - E_e); \\
 T_c \frac{dM_T}{dt} &= -M_T - \frac{\omega - \omega_0}{\sigma} + U_c; \\
 \frac{dw_1}{dt} &= w_2; \quad \frac{dw_2}{dt} = -\Omega^2 w_1,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где

$$a_1 = \frac{-\omega_0(R_n + r_a)}{(x_d + x_n)(1 - a_6)}, a_2 = \frac{-1}{1 - a_6}, a_3 = \frac{1}{T_{d0}(1 - a_6)},$$

$$a_4 = \frac{-\omega_0(R_n + r_a)}{x_q + x_n}, a_5 = 1, a_6 = x_d = x'_d,$$

w_1, w_2 - переменные состояния модели гармонического возмущения, c_1 - постоянный коэффициент, характеризующий возмущение, Ω - частота возмущения. При составлении этой модели предположили, что на систему действует внешнее гармоническое возмущение.

Таким образом, система уравнений (3) представляет собой расширенную модель автономного турбогенератора, для которого ставится задача управления. Как видно, модель является нелинейной, с двумя взаимосвязанными каналами управления, причем управление по каналу возбуждения СГ E_e входит в два уравнения системы (3).

Синтез синергетических законов управления. Сформулируем постановку задачи управления автономным турбогенератором, работающим на автономную нагрузку. В терминах синергетической теории управления, необходимо сформировать систему инвариантов, которой должна удовлетворять синтезируемая система управления.

Первым технологическим инвариантом является постоянство угла между векторами ЭДС СГ и напряжения турбогенератора

$$\delta - \delta_0 = 0. \quad (4)$$

Это обусловлено тем, что выполнение этого инварианта позволяет, во-первых, обеспечить асимптотическую устойчивость замкнутой системы в целом, и во-вторых, стабилизирует частоту вращения турбогенератора $\omega - \omega_0 = 0$.

Вторым, из возможных, инвариантом системы является постоянство ЭДС СГ

$$E - E_0 = 0. \quad (5)$$

Выполнение данного инварианта обеспечивает стабилизацию тока возбуждения СГ т соответственно электрической мощности СГ.

Следующим возможным и наиболее очевидным является условие постоянства выходного напряжения СГ

$$U - U_0 = 0. \quad (6)$$

Из теории синергетического управления известно, что при синтезе регулятора можно учесть только то количество инвариантов, которое равно количеству каналов управления системы. В нашем случае имеется только два канала управления – управление возбуждением СГ и частотой вращения турбины. Таким образом, мы можем ввести для синтезируемой системы только два инварианта. Исходя из вышесказанного, сформулируем постановку задачи управления: синтезируемый нелинейный векторный регулятор должен обеспечивать выполнение в замкнутой системе совокупности инвариантов (4), (5) или (4), (6), асимптотическую устойчивость замкнутой системы во всей допустимой области фазового пространств, а также компенсацию внешнего гармонического возмущения.

Рассмотрим варианты синтеза управления. Синтезируем законы управления турбогенератором, обеспечивающие стабилизацию угла $\delta = \delta_0$ и ЭДС СГ $E = E_0$, асимптотическую устойчивость системы и апериодический характер переходных процессов, а также компенсацию внешнего низкочастотного гармонического возмущения.

В соответствии с процедурой синтеза управлений методом АКАР для расширенной системы (3) зададим следующую совокупность инвариантных притягивающих многообразий по числу каналов управления ($m = 2$):

$$\begin{aligned} \psi_1 &= b_{11}(E - E_0) + b_{12}(M_T + \phi_3 + c_1 w_1) = 0; \\ \psi_2 &= b_{21}(E - E_0) + b_{22}(M_T + \phi_3 + c_1 w_1) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Многообразия (7) должны удовлетворять решению системы функциональных уравнений

$$\begin{aligned} T_1 \dot{\psi}_1(t) + \psi_1 &= 0; \\ T_2 \dot{\psi}_2(t) + \psi_2 &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Вид многообразий (7) выбирается из следующих соображений: стабилизация ЭДС СГ и задания соотношения между механическим моментом, развиваемым турбиной, и некоторой функцией ϕ_3 . Действительно, из (7) следуют два соотношения:

$$E = E_0; M_T = -\phi_3 - c_1 w_1.$$

Таким образом, на первом этапе синтеза мы вводим в систему технологический инвариант (5).

При попадании ИТ системы на пересечение многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$ происходит точная декомпозиция системы (3):

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0; T_j \frac{d\omega}{dt} = -\phi_3 - \frac{i_q E}{\omega_0}; \\ \frac{di_d}{dt} &= a_1 i_d + a_2 i_q \omega + a_3 (E - E'_e); \\ \frac{di_q}{dt} &= a_4 i_q + a_5 i_d \omega + E_0 \omega, \end{aligned} \quad (9)$$

где $E'_e = E_e(\delta, \omega, i_d, i_q)$ - управление по каналу возбуждения исходной системы (3) на пересечении многообразий $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 0$.

Функция ϕ_3 выполняет роль «внутреннего» управления для декомпозированной системы (9) после первого этапа синтеза.

На втором этапе синтеза для определения требуемого управляющего воздействия вводится дополнительное инвариантное многообразие, предназначенное для обеспечения устойчивости замкнутой системы и выполнения второго технологического инварианта (4). Таким образом, зададим следующее многообразие:

$$\psi_3 = \omega - \omega_0 + \gamma(\delta - \delta_0), \quad (10)$$

где γ - постоянный коэффициент.

Многообразие (10) должно удовлетворять решению функционального уравнения

$$T_3 \dot{\psi}_3(t) + \psi_3 = 0. \quad (11)$$

Совместное решение (9)-(11) определяет вид «внутреннего» управления:

$$\phi_3 = -\frac{E_0 i_q}{\omega_0} + \frac{T_j}{T_3} (1 + T_3 \gamma) (\omega - \omega_0) + T_j \frac{\gamma}{T_3} (\delta - \delta_0). \quad (12)$$

Исследуем декомпозированную систему (9). Для этого подставим выражение (12) в (9):

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0; T_j \frac{d\omega}{dt} = -\frac{T_j}{T_3} (1 + T_3 \gamma) (\omega - \omega_0) - T_j \frac{\gamma}{T_3} (\delta - \delta_0); \\ \frac{di_d}{dt} &= a_1 i_d + a_2 i_q \omega + a_3 (E_0 - E'_e); \\ \frac{di_q}{dt} &= a_4 i_q + a_5 i_d \omega + E_0 \omega, \end{aligned}$$

Из первых двух уравнений полученной системы видно, что положениями равновесия этих уравнений являются $\omega = \omega_0$, $\delta = \delta_0$. Таким образом, стабилизация угла действительно приводит к стабилизации частоты вращения турбогенератора.

Система (9) при попадании ИТ системы на многообразие $\psi_3 = 0$ описывается следующими уравнениями внутренней динамики

$$\begin{aligned}\frac{d\delta}{dt} &= -\gamma(\delta - \delta_0); \\ \frac{di_d}{dt} &= a_1 i_d + a_2 i_q (\omega_0 + \gamma(\delta - \delta_0)) + a_3 (E_0 - E_e''); \\ \frac{di_q}{dt} &= a_4 i_q + (a_5 i_d + E_0) \omega_0 (\omega_0 + \gamma(\delta - \delta_0)),\end{aligned}\quad (13)$$

где $E_e'' = E_e(\delta, i_d, i_q)$ - управление по каналу возбуждения исходной системы (3) на многообразии $\psi_3 = 0$.

Тогда из совместного решения (7) и (8) с учетом (12) и (3) найдем искомые законы управления:

$$\begin{aligned}E_e &= E + p_1 i_d + p_4 i_q \omega + k_1 i_q - k_0 M_T - k_2 (\delta - \delta_0) - \\ &- k_3 (\omega - \omega_0) + k_4 (E - E_0) - k_5 w_1; \\ U_c &= -p_8 i_d \omega - k_6 i_q E - p_{10} i_q - p_{11} M_T - k_7 E \omega - k_8 (\omega - \omega_0) - \\ &- k_9 (\delta - \delta_0) - k_{10} (E - E_0) - k_{11} w_1 - k_{18} w_2,\end{aligned}\quad (14)$$

где

$$\begin{aligned}p_0 &= b_{11} b_{22} - b_{12} b_{21}, \quad p_1 = \frac{a_5 a_1}{a_4}, \quad p_2 = \frac{1}{a_4 p_0}, \quad p_3 = b_{12} b_{22} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right), \\ p_4 &= \frac{a_5 a_3}{a_4}, \quad p_5 = \frac{1}{T_3} + \gamma, \quad p_6 = \frac{b_{12} b_{21}}{T_2} - \frac{b_{11} b_{22}}{T_1}, \quad p_7 = \frac{T_c}{\omega_0}, \\ p_8 &= p_7 a_8 E_0, \quad p_9 = \frac{b_{11} b_{22}}{T_2} - \frac{b_{12} b_{21}}{T_1}, \quad p_{10} = p_7 E \left(a_6 + \frac{p_9}{p_0} \right), \\ p_{11} &= T_c \left(p_5 + \frac{p_9}{p_0} \right) - 1, \quad p_{12} = T_c T_j, \quad p_{13} = \frac{\gamma}{T_3}, \quad p_{14} = p_{12} E_0 \left(p_{13} + \frac{p_5 p_9}{p_0} \right), \\ p_{15} &= \frac{1}{\sigma}, \quad p_{16} = b_{11} b_{21} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \quad p_{17} = \frac{T_c}{p_0}, \quad p_{18} = T_c c_1, \quad k_0 = p_2 p_3, \quad k_1 = \frac{k_0 E_0}{\omega_0}, \\ k_2 &= \frac{k_0 T_j \gamma}{T_3}, \quad k_3 = k_0 T_j p_5, \quad k_4 = p_2 p_6, \quad k_5 = k_0 c_1, \quad k_6 = p_7 p_5, \quad k_7 = \frac{p_8}{a_8}, \\ k_8 &= p_{14} - p_{15}, \quad k_9 = \frac{p_9 p_{12} p_{13}}{p_0}, \quad k_{10} = p_{16} p_{17}, \quad k_{11} = p_{18} \left(p_5 + \frac{p_9}{p_0} \right).\end{aligned}$$

Условие асимптотической устойчивости в целом системы (3) с синтезированными законами управления (14) составляется из условий устойчивости уравнений (8), (11) и условия устойчивости первого уравнения системы (13):

$$T_1, T_2, T_3, \gamma > 0, \quad (15)$$

причем необходимо выполнение условия $b_{11} b_{22} \neq b_{12} b_{21}$, поскольку в управлении (14) должно быть $p_0 \neq 0$.

Результаты исследования. Проведем исследование синтезированной системы управления автономным турбогенератором классического исполнения. Результаты моделирования системы (3) с синтезированными управлениями (14) представлены на рис. 1-2. Здесь показаны графики переходных переменных состояния турбогенератора, а также график модуля выходного напряжения генератора:

$$U = \sqrt{u_q^2 + u_d^2} = \sqrt{(-r_a i_q + (E + x_d i_d))^2 + (-r_a i_d - x_q i_q)^2}.$$

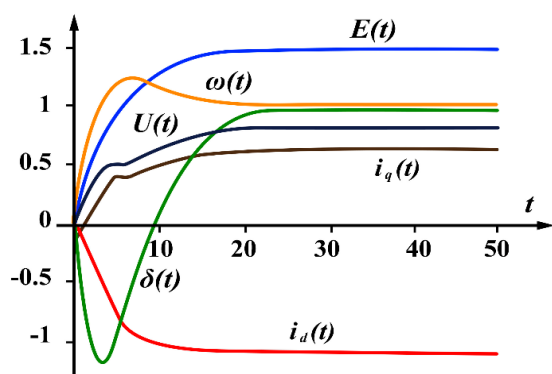


Рис. 1. Переходные процессы переменных состояния и напряжения генератора.

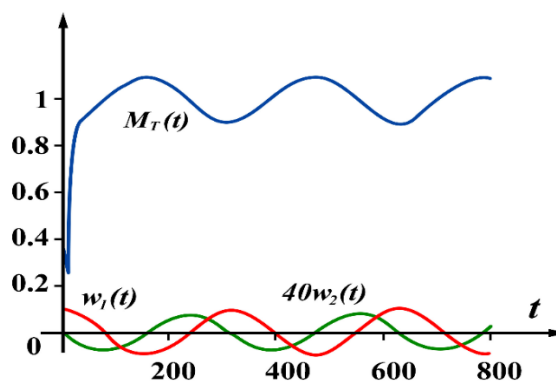


Рис. 2. Переходные процессы переменных состояния.

Результаты численного моделирования замкнутой системы управления автономным турбогенератором классического исполнения (3), (14) позволяют сделать следующие выводы: синтезированная система асимптотически устойчива относительно заданных условий стабилизации – технологических инвариантов (4) и (5), как следствие выполнения инвариантов (4) и (5) является стабилизация частоты вращения турбины. При этом в системе обеспечивается компенсация внешнего низкочастотного гармонического возмущения.

Моделирование замкнутой системы проводилось при следующих параметрах объекта: $T_J = 8,4$ с, $T_c = 4$ с, $T_{d0} = 5,12$ с, $\omega_0 = 1$, $x_d = 0,75$, $x'_d = 0,44$, $x_n = 0,6$, $r_a = 0,003$, $R_n = 0,81$, $\sigma = 0,05$, $c_1 = 1$, $\Omega = 0,02$, и параметрах регулятора: $T_1 = T_2 = 5$ с, $T_3 = 2$ с, $E_0 = 1,5$, $\delta_0 = \pi/3$, $\gamma = 1$, $b_{11} = 2$, $b_{12} = b_{21} = 1$.

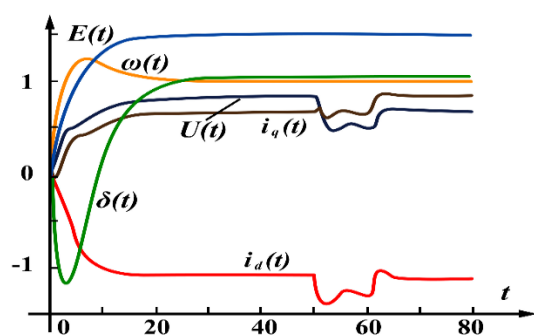


Рис. 3. Переходные процессы переменных состояния и напряжения генератора при скачке нагрузки.

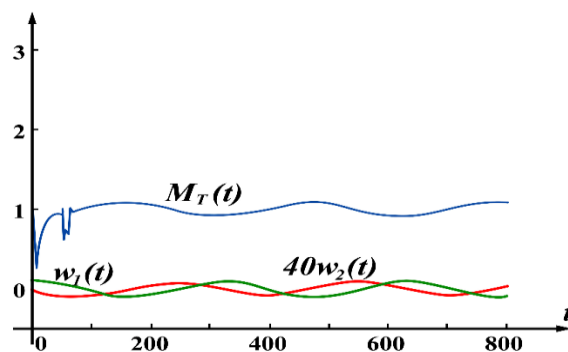


Рис. 4. Переходные процессы переменных состояния при скачках нагрузки.

На рис. 3-4 показаны графики переходных процессов при скачкообразном уменьшении нагрузки на 50%, т.е. для $x_n = 1,2$ и $R_n = 1,62$, в течение интервала времени $50 < t < 60$ с. из графиков видно, что после кратковременного падения нагрузки законы управления (14) обеспечивают выход системы (3), (14) на заданный режим, т.е. выполнение поставленной задачи управления: частота вращения, угол и ЭДС СГ сохраняют требуемые значения в установившемся режиме, а замкнутая система сохраняет устойчивость. Следует отметить, что ЭДС СГ инварианта к падению нагрузки.

Заключение. В данной работе разработана методика синтеза системы управления автономным турбогенератором на основе нейросетевых технологий. Проведённое исследование показало, что использование нейросетевых подходов существенно повышает адаптивность и уровень автоматизации управления, что особенно важно при изменении параметров и рабочих режимов энергетических установок. Применение синергетического подхода к построению управляющих систем позволило сформировать инвариантную структуру регулятора, обеспечивающую асимптотическую устойчивость и компенсацию

внешних возмущений. Разработанный метод синтеза нелинейного ПИД-регулятора на основе нейросетевого представления подтвердил свою эффективность при улучшении переходных характеристик, снижении перерегулирования и повышении устойчивости системы. Результаты численного моделирования подтвердили работоспособность и эффективность предложенного подхода. Методика может быть использована для создания интеллектуальных систем управления в автономных энергетических установках различного типа. Практическая значимость проведённого исследования заключается в возможности применения предложенного метода при модернизации существующих энергетических комплексов без существенного изменения их архитектуры. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием интеграции нейросетевых методов с адаптивными и предиктивными алгоритмами управления, что позволит повысить надёжность и устойчивость энергосистем в условиях изменяющихся нагрузок и внешних воздействий.

Список литературы

- [1] Ли, А., & Джон, Б. (2020). Применение нейронных сетей для оптимизации управления энергетическими системами. Журнал энергетических исследований, 45(3), 123-135.
- [2] Иванов, И. И., & Петров, П. П. (2021). Синергетическая теория управления: новые подходы и применения. Российский журнал управления, 32(2), 201-215.
- [3] Смирнов, С. С., & Кузнецов, К. К. (2022). Динамические характеристики систем и их влияние на синтез регуляторов. Научные труды по автоматике и электроэнергетике, 18(1), 45-58.
- [4] Сергеев, В. В., & Соловьев, А. А. (2021). Нейросетевые технологии в управлении автономными системами. Энергетика и инновации, 30(4), 87-99.
- [5] Федоров, Д. Д., & Чистяков, Е. Е. (2022). Моделирование и управление в энергетических системах. Журнал системного анализа и управления, 29(2), 67-80.
- [6] Ковалев, А. А., & Михайлов, И. И. (2020). Современные методы управления турбогенераторами. Электрические станции, 54(5), 34-42.
- [7] Зайцев, А. В., & Воронцов, Б. Б. (2019). Инновационные подходы к управлению энергетическими установками. Международный журнал энергетических технологий, 15(3), 123-130.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ
МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ РИСОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

М.И. Миробитов, В.К. Умарова, М.Т. Примкулов

*Ташкентский химико - технологический институт
(Получена 17.10.2025 г.)*

Цель. Целью исследования является разработка математической модели процесса получения микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) из рисовой целлюлозы, позволяющей установить количественные зависимости между технологическими параметрами (температура, концентрация реагентов, время обработки) и показателями качества получаемого продукта — выходом, объемной массой, степенью полимеризации и водопоглощением.

Методология. В качестве методологической основы использован метод полного факторного эксперимента (ПФЭ), позволяющий определить влияние каждого фактора и их взаимодействий на свойства микрокристаллической целлюлозы. Эксперименты проводились с тремя независимыми переменными: концентрацией смеси $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (3:3%–10:10%), температурой реакции (120–160 °C) и временем обработки (30–90 мин). Для обработки результатов использовались методы математического моделирования, регрессионного анализа и статистической проверки воспроизводимости (критерий Кохрена).

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в построении математической модели, описывающей взаимосвязь между параметрами автоклавного гидролиза рисовой целлюлозы и основными физико-химическими свойствами получаемой микрокристаллической целлюлозы. Впервые для данного типа сырья (рисовой соломы) разработано уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать выход и качество МКЦ в зависимости от комбинации технологических факторов. Это создаёт предпосылки для оптимизации условий гидролиза и рационального использования рисовых отходов как возобновляемого источника целлюлозы.

Полученные данные. В ходе проведённых экспериментов установлено, что с увеличением температуры и времени обработки до определённых пределов (140 °C, 60 мин) повышается выход МКЦ и её объемная масса, однако при дальнейшем росте этих параметров наблюдается снижение степени полимеризации и ухудшение структурных характеристик. Проведённые расчёты коэффициентов регрессии позволили получить адекватное уравнение, описывающее зависимость показателей качества микрокристаллической целлюлозы от исследуемых факторов. Статистическая проверка показала, что полученные результаты воспроизводимы ($G_p < G_{кр} = 0,871$).

Ключевые слова: микрокристаллическая целлюлоза, рисовая целлюлоза, гидролиз, автоклав, математическая модель, факторный эксперимент, регрессионный анализ, полимеризация, водопоглощение, объемная масса

Введение. Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) является ценным продуктом, широко применяемым в фармацевтической, пищевой, косметической и химической промышленности в качестве наполнителя, стабилизатора и структурообразующего агента. Традиционно МКЦ получают из древесной целлюлозы, однако в условиях дефицита древесного сырья особую актуальность приобретают исследования, направленные на использование возобновляемых аграрных отходов, таких как рисовая солома. Рисовая солома содержит значительное количество целлюлозы, что делает её перспективным источником для получения микрокристаллической целлюлозы при условии оптимизации технологического процесса. Для установления оптимальных условий реакции и прогнозирования свойств конечного продукта необходимо построение математической модели, отражающей влияние технологических факторов на основные показатели качества МКЦ. В данной работе предложен подход к построению такой модели на основе метода

полного факторного эксперимента, позволяющий определить количественные зависимости между параметрами гидролиза и характеристиками получаемой микрокристаллической целлюлозы.

Методы и материалы. Объектом исследования являлась микрокристаллическая целлюлоза, полученная гидролизом рисовой целлюлозы в автоклаве с использованием смеси серной кислоты (H_2SO_4) и перекиси водорода (H_2O_2).

В качестве исходного сырья использовалась целлюлоза, выделенная из рисовой соломы по стандартной схеме делигнификации и отбелки.

Гидролиз проводился при различных сочетаниях факторов:

концентрация смеси $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ — 3:3 %, 6:6 % и 10:10 %;

температура реакции — 120, 140 и 160 °С;

время обработки — 30, 60 и 90 минут.

После завершения реакции образцы промывались дистиллированной водой до нейтрального pH, обезвоживались и сушились до влажности 6–8 %.

Для полученной МКЦ определяли следующие параметры:

выход продукта (M, г);

объемную массу (ρ , кг/м³);

степень полимеризации (n);

водопоглощение (W, %).

Эксперименты были спланированы в соответствии с методом полного факторного эксперимента, предусматривающим варьирование факторов на двух уровнях (–1 и +1).

На основании полученных данных рассчитаны коэффициенты регрессии, построены уравнения отклика и проведена проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена.

Таким образом, применённая методика позволила установить статистически значимые зависимости между технологическими параметрами и свойствами микрокристаллической целлюлозы, получаемой из рисовой целлюлозы.

Результаты и обсуждение. Объект исследования — показатели качества микрокристаллической целлюлозы, полученной гидролизом рисовой целлюлозы в автоклаве, а также закономерности их изменения.

В экспериментах использовался оптимальный метод получения микрокристаллической целлюлозы, при котором 100 граммов рисовой целлюлозы обрабатывались в автоклаве в растворах смеси $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ концентрацией 3:3% и 10:10% при температуре 120–140 °С в течение 30–90 минут. Затем образцы тщательно промывались, обезвоживались и сушились до влажности 6–8%.

Сначала из рисовой соломы была получена целлюлоза, на основе которой синтезирована микрокристаллическая целлюлоза. Для полученной микрокристаллической целлюлозы были определены степень набухания в воде, объемная масса и степень полимеризации целлюлозы.

Для изучения процесса получения микрокристаллической целлюлозы была проведена серия экспериментов. На основе полученных в этих экспериментах результатов, с внесением частичных изменений в методику, изложенную в источнике, были построены математические модели количественных и качественных показателей процесса получения целлюлозы из рисовой соломы (в формах таблиц 5.1 и 5.2).

Значение математического описания данного процесса заключается в том, что оно:

1. предоставляет информацию о количественном и качественном влиянии каждого фактора;

2. позволяет вычислить значение функции отклика при определённом режиме технологического процесса.

Кроме того, методы планирования экспериментов дают возможность эмпирически выразить свойства получаемого продукта.

Метод полного факторного эксперимента позволяет выразить данные, относящиеся к выбранной точке в пределах определённого диапазона факторов, координаты которой обозначаются как $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0i}, \dots, x_{0n}$ (где $i = 1 \dots n$; n — количество факторов).

С помощью данного полного факторного эксперимента определяется математическое выражение (в виде уравнения (1)) процесса формирования свойств исследуемого продукта — выхода продукта y_1 (М, г), объемной массы y_2 (ρ , кг/м³), степени полимеризации y_3 (n) и водопоглощения y_4 (W, %) — в зависимости от исследуемых факторов.

Метод полного факторного эксперимента позволяет выразить данные, относящиеся к выбранной точке в пределах определённого диапазона факторов, координаты которой обозначаются как $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0i}, \dots, x_{0n}$ (где $i = 1 \dots n$; n — количество факторов).

С помощью данного полного факторного эксперимента определяется математическое выражение (в виде уравнения (1)) процесса формирования свойств исследуемого продукта — выхода продукта y_1 (М, г), объемной массы y_2 (ρ , кг/м³), степени полимеризации y_3 (n) и водопоглощения y_4 (W, %) — в зависимости от исследуемых факторов.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{12}x_1x_2 + \dots + b_{(n-1)n}x_{n-1}x_n \quad (1)$$

Данное уравнение состоит из свободного члена — b_0 , членов, образованных произведением коэффициентов регрессии b_i на переменные x_i , а также из членов, представляющих произведения пар закодированных переменных.

Во всех случаях факторы в процессе полного факторного эксперимента фиксируются на двух уровнях, соответствующих значениям закодированных переменных $+1$ и -1 .

Ниже приведена таблица проведения эксперимента (таблицы 1 и 2).

1- таблицы

Таблица проведения эксперимента

Название	Обозначение	Единица измерения	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Шаг изменения	Кодовое обозначение
H ₂ SO ₄ +H ₂ O ₂ концент рацияси	S	%	3:3	6:6	10:10	3	x ₁
Вакт	τ	минут	30	60	90	30	x ₂
Температура	t	°C	120	140	160	20	x ₃

2- таблицы

Входные параметры и результаты эксперимента (средние значения)

№	S (%)	τ (min)	t (°C)	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁ (exp)	y ₂ (exp)	y ₃ (exp)	y ₄ (exp)
1	3.0	30	120	-1.0	-1.0	-1.0	83.0	0.42	337.0	245.0
2	3.0	30	160	-1.0	-1.0	1.0	87.0	0.4	324.0	246.0
3	3.0	90	120	-1.0	1.0	-1.0	87.0	0.39	325.0	258.0
4	3.0	90	160	-1.0	1.0	1.0	82.0	0.37	275.0	253.0
5	10.0	30	120	1.33	-1.0	-1.0	85.0	0.4	290.0	262.0
6	10.0	30	160	1.33	-1.0	1.0	83.0	0.42	244.0	247.0
7	10.0	90	120	1.33	1.0	-1.0	80.0	0.37	275.0	254.0
8	10.0	90	160	1.33	1.0	1.0	75.0	0.43	180.0	242.0

Перед началом планирования эксперимента необходимо убедиться в воспроизводимости экспериментальных результатов. С этой целью были проведены три параллельные серии опытов (таблица 3).

3-таблица

Статистическая обработка серии экспериментов

Выходные параметры	Среднеквадратичное отклонение	Максимальное значение дисперсии	Сумма дисперсий	G (рассчитанное)	G _{кр} (q=0.05; f=2)
y ₁	56.13	4515.39	25209.80	0.179	0.871
y ₂	73.2	14796.28	42873.62	0.345	0.871
y ₃	58.46	12939.06	27347.5	0.473	0.871
y ₄	87.02	15782.89	60592.2	0.260	0.871

$$G_p = \frac{\sigma_{\max}}{\Sigma \sigma} \quad (2)$$

Здесь:

Критическое значение критерия Кохрена (G = 0,871) определено при числе степеней свободы $f = k - 1 = 3 - 1 = 2$. Таким образом, выполнение условия $G_p < G$ указывает на то, что проведённые эксперименты являются воспроизводимыми.

Ниже в таблице 4 приведена матрица планирования эксперимента ТОЭ-23 (факторы представлены в безразмерном масштабе).

4-таблица

Матрица планирования

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃
1.	1.0	-1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	1.0	-1.0
2.	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0
3.	1.0	-1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0
4.	1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	-1.0
5.	1.0	1.33	-1.0	-1.0	-1.33	-1.33	1.0	1.33
6.	1.0	1.33	-1.0	1.0	-1.33	1.33	-1.0	-1.33
7.	1.0	1.33	1.0	-1.0	1.33	-1.33	-1.0	-1.33
8.	1.0	1.33	1.0	1.0	1.33	1.33	1.0	1.33

Σ(x·y) (по результатам эксперимента)

Суммы (Σx·y)	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃
y ₁	662.0	91.6	-14.0	-8.0	-16.3	-8.33	-12.0	5.00
y ₂	3.2	0.57	-0.08	0.03	0.03	0.146	0.03	0.05
y ₃	2250.0	57.6	-140.0	-204.0	-44.3	-124.9	-86.0	-28.3
y ₄	2007.0	338.0	7.0	-31.0	-37.3	-32.0	-3.0	10.0

На основе результатов полного факторного эксперимента коэффициенты регрессии были рассчитаны по уравнениям (3–5), приведённым выше:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j;$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ji} \bar{y}_j;$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{jl} x_{jm} \bar{y}_j; \quad (l \neq m)$$

Для определения значений коэффициентов регрессии по формулам (6–7) рассчитывается экспериментальная погрешность при числе экспериментов $N = 8$ и количестве параллельных опытов $k = 3$. ($S_{(y)i}$) и вычисляется критерий Стьюдента (t_i)

$$S_{(y)i} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{k - 1}} \quad (6)$$

$$t_i = \frac{b_i}{S_{(y)i}} \quad (7)$$

Результаты вычислений заносим в таблицу 5.

5-таблица

Коэффициенты регрессии и t-статистика

Обозначение	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₂₃
y ₁	27.68	-3.8	0.0	-6.81	0.0	0.0	0.0	0.0
y ₂	67.08	5.43	11.93	0.0	0.0	18.93	10.5	0.0
y ₃	277.25	0.0	0.0	-67.0	0.0	0.0	0.0	0.0
y ₄	169.63	0.0	-9.38	-32.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Эксп. хатилик (SE _y)	t(b ₀)	t(b ₁)	t(b ₂)	t(b ₃)	t(b ₁₂)	t(b ₁₃)	t(b ₂₃)	t(b ₁₂₃)
56.13	1.394	0.19	0.0	0.34	0.0	0.0	0.0	0.0
73.20	2.591	0.20	0.46	0.0	0.0	0.7313	0.40	0.0
58.46	13.41	0.0	0.0	3.24	0.0	0.0	0.0	0.0
87.02	5.512	0.0	0.30	1.06	0.0	0.0	0.0	0.0

Для оценки значений коэффициентов регрессии определяем критерий Стьюдента при уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f = N(k - 1) = 8 \cdot 2 = 16$. Его критическое значение составляет $(t_{кр}) = 2,12$.

Для математического описания модели исследуемого объекта (таблица 6) исключаем коэффициенты регрессии, соответствующие значениям критерия Стьюдента, модуль которых меньше и оставляем только значимые коэффициенты регрессии.

В результате искомые математические модели принимают вид, приведённый в формуле (8).

$$\begin{aligned} y_1 &= 27,68 - 3,8x_1 - 6,81x_3 \\ y_2 &= 67,08 + 5,43x_1 + 11,93x_2 + 18,93x_{13} + 10,58x_{23} \\ y_3 &= 277,25 - 67x_3 \\ y_4 &= 169,63 - 9,38x_2 - 32,88x_3 \end{aligned} \quad (8)$$

6-таблица

Значимые коэффициенты регрессии

Обозначение	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
b ₀	27.68	67.08	277.25	169.63
b ₁	-3.8	5.43	0.0	0.0
b ₂	0.0	11.93	0.0	-9.38
b ₃	-6.81	0.0	-67.0	-32.88
b ₁₂	0.0	0.0	0.0	0.0
b ₁₃	0.0	18.93	0.0	0.0
b ₂₃	0.0	10.58	0.0	0.0
b ₁₂₃	0.0	0.0	0.0	0.0

Теперь проверим адекватность математической модели, то есть то, насколько правильно поверхность отклика модели отражает реальные данные и её способность прогнозировать результаты эксперимента. С этой целью в таблице 7 приведены значения коэффициентов регрессии, полученные по математической модели и в ходе лабораторного эксперимента.

7-таблица

Экспериментальные и модельные значения (в кодированных ± 1 координатах)

№	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁ (exp)	y ₂ (exp)	y ₃ (exp)	y ₄ (exp)	y ₁ (model)	y ₂ (model)	y ₃ (model)	y ₄ (model)
1.	-1.0	-1.0	-1.0	83.0	0.42	337.0	245.0	38.29	79.23	344.25	211.89
2.	-1.0	-1.0	1.0	87.0	0.4	324.0	246.0	24.67	20.21	210.25	146.13
3.	-1.0	1.0	-1.0	87.0	0.39	325.0	258.0	38.29	81.92	344.25	193.13
4.	-1.0	1.0	1.0	82.0	0.37	275.0	253.0	24.67	65.23	210.25	127.37
5.	1.33	-1.0	-1.0	85.0	0.4	290.0	262.0	29.42	47.72	344.25	211.89
6.	1.33	-1.0	1.0	83.0	0.42	244.0	247.0	15.80	77.05	210.25	146.13
7.	1.33	1.0	-1.0	80.0	0.37	275.0	254.0	29.42	50.43	344.25	193.13
8.	1.33	1.0	1.0	75.0	0.43	180.0	242.0	15.80	122.07	210.25	127.37

Далее, на основе приведённой методики рассчитываем дисперсию адекватности по формуле (9):

$$S_i^2 = \frac{1}{N-d} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2 \quad (9)$$

где: **N** — количество выборок (**N** = 8); **d** — число значимых членов. Для определения критерия Фишера по формуле (10) рассчитываем дисперсию воспроизводимости:

$$S_{\text{такр}}^2 = S_y^2 \quad (10)$$

Рассчитанное значение критерия Фишера определяем по формуле (11):

$$F = S_i^2 / S_{\text{такр}}^2 \quad (11)$$

На основе методики, приведённой в источниках [127, 128, 129], при уровне значимости $q = 0,05$ и числах степеней свободы $f_{\text{ад}} = N - d = 8 - 5 = 3$ и $f_{\text{ад}} = k - 1 = (3 - 1) = 2$ определяется критическое значение критерия Фишера ($F_{\text{кр}}$). С учётом вышесказанного вычисляется адекватность математической модели. Результаты вычислений приведены в таблице 8.

8-таблица

Квадратичное отклонение результатов

№	y1: (Δ) ²	y2: (Δ) ²	y3: (Δ) ²	y4: (Δ) ²
1.0	1998.98	6211.01	52.5625	1096.27
2.0	3885.02	392.43	12939.0625	9974.01
3.0	2372.66	6648.77	370.5625	4208.11
4.0	3286.72	4206.81	4192.5625	15782.89
5.0	3088.76	2240.12	2943.0625	2511.01
6.0	4515.39	5872.15	1139.0625	10174.75
7.0	2557.99	2506.00	4795.5625	3705.15
8.0	3504.24	14796.28	915.0625	13140.03

Оценка адекватности

Выходные параметры	$\Sigma(\Delta)^2$	d	$D_{\text{ад}} = k/(N-d) \cdot \Sigma(\Delta)^2$	F ($D_{\text{ад}} / S_y$)
y ₁	25209.80	3	15125.88	—
y ₂	42873.62	5	42873.62	—
y ₃	27347.5	2	13673.75	—
y ₄	60592.26	3	36355.35	—

Выполнение условия $F < F_{\text{кр}}$, приведённого в таблице 8, указывает на адекватность математической модели. Далее уравнения (8) приводим к натуральной форме по формуле

(12), учитывая основные уровни изменения факторов (z_i^0), шаг изменения факторов (Δz_i), а также верхние (z_{max}) и нижние (z_{min}) пределы их варьирования.

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\Delta z_i}; \quad z_i^0 = \frac{z_{max} + z_{min}}{2}; \quad \Delta z_i = \frac{z_{max} - z_{min}}{2};$$

Выполнив алгебраические вычисления, формируем математическую модель свойств продукта — выхода y_1 (М, г), объемной массы y_2 (ρ , кг/м³), степени полимеризации y_3 (n) и водопоглощения y_4 (W, %) — в соответствии с формулой (13):

$$\begin{aligned} y_1 &= 78,04 - 1,9z_1 - 0,34z_3 \\ y_2 &= 43,03 + 2,72z_1 - 1,72z_2 - 0,11z_3 + 0,02z_{23} \\ y_3 &= 679,25 - 3,35z_3 \\ y_4 &= 385,67 - 0,31z_2 - 1,63z_3 \end{aligned} \quad (13)$$

По приведённым формулам строим изопараметрические диаграммы поверхностей отклика в виде кубических сплайнов (рис. 1). Как видно, полученная математическая модель описывает режимы получения целлюлозы из рисовой соломы при концентрации NaOH 3–7%, длительности реакции 30–90 минут и температуре реакции 100–140 °С.

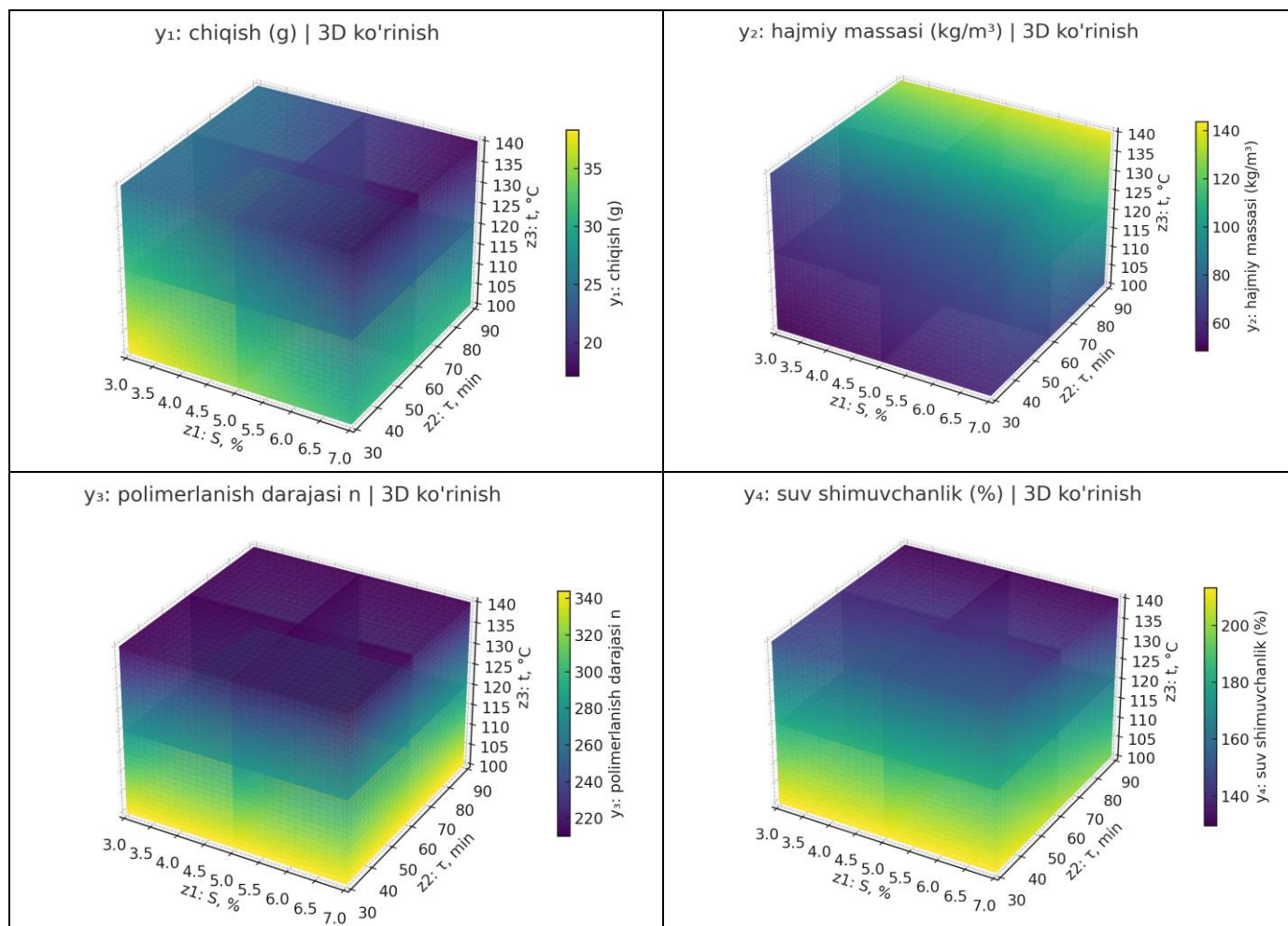


Рис. 1. Изопараметрические диаграммы поверхностей отклика для показателей: выход продукции (а) (М, г), объёмная масса (б) (ρ , кг/м³), степень полимеризации (в) (n), водопоглощение (г) (W, %).

Согласно математической модели, на выход микрокристаллической целлюлозы в основном влияют концентрация смеси $H_2SO_4 + H_2O_2$ и температура реакции, тогда как время реакции практически не оказывает влияния (а). На плотность полученной МКЦ все факторы действуют примерно одинаково (б), однако среди них щелочная концентрация оказывает

более сильное влияние по сравнению с температурой реакции в отношении $2,72/1,72 = 1,58$ раза и по сравнению со временем кипячения в отношении $2,72/0,11 = 24,72$ раза (б). Степень полимеризации полученной целлюлозы зависит в основном только от температурного режима; на неё практически не влияют концентрация $H_2SO_4 + H_2O_2$ и время кипячения (в). Водопоглощение МКЦ практически не зависит от концентрации смеси $H_2SO_4 + H_2O_2$ (г). Его значение обусловлено главным образом температурой, а время кипячения оказывает менее заметное влияние.

Вводя значения факторов в указанных пределах в математическую модель, можно заранее прогнозировать, какими будут выход МКЦ, объёмная масса, степень полимеризации и водопоглощение.

Таким образом, полученная модель удобна в применении: в графическом виде она наглядно отображает закономерности процесса получения микрокристаллической целлюлозы из рисовой соломы в заданных интервалах. Графическое представление математической модели является трёхмерным, поскольку регрессионные коэффициенты, характеризующие концентрацию смеси $H_2SO_4 + H_2O_2$, длительность и температуру реакции, заметно влияют на выход целлюлозы, объёмную массу, степень полимеризации и водопоглощение.

Заключение. Из приведённых выше данных видно, что при получении микрокристаллической целлюлозы из 100 г рисовой целлюлозы с повышением температуры и времени реакции процесс гидролиза МКЦ ускоряется, а её выход уменьшается. Известно, что при повышении температуры степень измельчения целлюлозных волокон возрастает. В результате увеличивается объёмная масса, а водопоглощаемость и степень полимеризации уменьшаются.

Таким образом, микрокристаллическая целлюлоза была получена различными методами. Изучены степень её набухания в воде и влияние этого процесса на структуру. Также исследована зависимость степени набухания целлюлозы в воде и её объёмной массы от времени и температуры.

Список литературы

- [1]. Саутин С.Н., Пунин А.Е. Мир компьютеров и химическая технология. – Л.: Химия, 1991. – 144 с.
- [2]. Ровенькова Т.А. Планирование эксперимента в производстве химических волокон. М., "Химия", 1977. – 176 с.
- [3]. Жураев А.Б., Хабибуллаев Р.А., Магруппов Ф.А., Алимухамедов М.Г. Математическое моделирование процесса алкоголиза вторичного полиэтилентерефталата с диэтиленгликолем. Пластические массы. Научно-технический журнал. 2016. 9-10. с.28-32.
- [4]. Raxmonberdiev G., Primkulov M. Qamish selliyulozasi texnologiyasi. Toshkent: "Tafakur" nashriyoti 2020. – 168 b.
- [5]. Hamdamova D.Sh. Dorivor o'simliklardan farmasevtika maqsadlari uchun mikrokristallik selliyuloza olish texnologichsini ishlab chiqish. texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. Tashkent. 2022 y.
- [6]. Hamdamova D., Umarova V., Primkulov M., Khusenov A. Study on the microcrystalline cellulose from medicinal plants. E3S Web of Conferences 434, 03038 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343403038> ICECAE 2023.
- [7]. Хамдамова Д.Ш., Умарова В.К., Примкулов М.Т. Получение микрокристаллической целлюлозы из лекарственных растений (amaranthus и silybum marianum). UNIVERSUM : Химия и биология 6 (96) 3 часть, Москва 2022, стр.43-49.
- [8]. Хамдамова Д.Ш., Умарова В.К. Таджиева А.Дж. Примкулов М.Т.МКЦ асосида таблетка ишлаб чиқариш технологияси. Scholar Scientific Journal, 2023/22 august, pp.44-51.
- [9]. Hamdamova D.Sh., Umarova V.K., Primkulov M.T. Mikrokristallik selliyuloza texnologiyasi. "Tafakkur tomchilari". Toshkent.: 2020, 208 b.
- [10]. Умарова В.К., Миробитов М.И., Хамдамова Д.Ш., Примкулов М.Т. Синтез и изучение структуры микрокристаллической целлюлозы из рисовой целлюлозы. Sournal of food. Scetence. Volume 2., ISSUE6, ISSN: 2181-385 x.

МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА ИЗ КАМЫША ДЛЯ ДОБАВКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

¹В.К. Умарова, ²Х.А. Умаров, ¹М.И. Миробитов, ¹Д.Ш. Хамдамова, ¹М.Т. Примкулов

¹Ташкентский химико технологический институт

²Ташкентский архитектурно-строительный университет

e-mail: yumarova65@gmail.com

(Получена 17.10.2025 г.)

Аннотация. Из камышовой целлюлозы синтезированы микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) путём глубокого гидролиза в смеси 10% серной кислоты и 10% перекиси водорода. Изучены физико-химические свойства МКЦ камыша от времени гидролиза и методами микроскопии. Цель данной работы является синтезировать микрокристаллическую целлюлозу из целлюлозы камыша и испытать её на сроках схватывания цементного теста.

Ключевые слова: Камышовая целлюлоза, микрокристаллическая целлюлоза, гидролиз, микрофотография частиц МКЦ, добавки в строительных растворах.

Abstract. Microcrystalline cellulose (MCC) was synthesized from reed cellulose by deep hydrolysis in a mixture of 10% sulfuric acid and 10% hydrogen peroxide. The physicochemical properties of reed MCC were studied depending on the time of hydrolysis and microscopy methods. The purpose of this work is to synthesize microcrystalline cellulose from reed cellulose and test it on the setting time of cement paste.

Keywords: Reed cellulose, microcrystalline cellulose, hydrolysis, micrograph of MCC particles, additives to mortar.

Введение. Существует различные виды добавки для бетонов и строительных растворов [1]. Они используются в качестве регулятора свойства бетонных и растворных (пластифицирующие добавки) смесей. Пластифицирующие добавки широко применяются в строительстве. Они используются при изготовлении составов для выравнивания полов, ремонтных и тонкодисперсных составов, где требуется понизить водопотребность цементной растворённой смеси различного назначения [2]. В работе [3] испытана в качестве добавки порошковая целлюлоза, полученной из белёной химико-термомеханической массы осины, обработанной кислотными остатками в качестве пластификатора в бетонных и строительных смесях. Показаны, что при введении добавки порошковой целлюлозы в количестве 1,0-2,5 % от массы вяжущего, подвижности растворённой смеси увеличится от 2 до 4 см по методике Вика [4]. Фирма CFF (Германия) добавляет волокна целлюлозы TECHNOCEL в количестве 0,1...2,0 % массы компонентов смеси в качестве армирующего компонента для сухих строительных смесей в виде волокон длиной от 20 до 2500 мкм, диаметром около 25 мкм. В настоящее время в Узбекистане для регулирования свойства бетонных и растворных смесей используют, в основном, древесный порошок и технический лигносульфонат.

Методы исследования.

Стадии технология камышовой целлюлозы: измельчение камыша, натронная (щелочная) варка, промывка, размол целлюлозных волокон, промывка и сортировка, отбелка, промывка, обезвоживания и сушка. Изучались свойства целлюлозы, отбирали образцы после каждой стадии процесса. На рисунке 1 представлены фотография образцов отобранные после стадий процесса получения камышовой целлюлозы.



После
измельчения
камыша



После варки и
промывка из следов
щёлочи



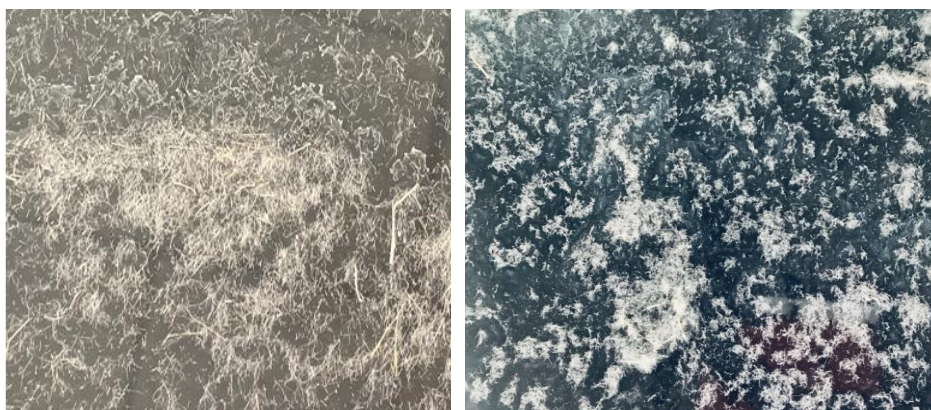
После промывки и
отделённый от непроваренных
частей камыша



Готовая целлюлоза

Рис. 1. Фотография волокон целлюлозы

Микрофотографии поверхности волокон целлюлозы определяли с помощью лабораторного микроскопа марки «ОРТИКА – В 150». Они приведены на рис. 2. Микрофотографии волокон до и после отбелки образцов камышовых целлюлозных волокон приведены на рис. 2. Из рисунка 2 видно, что целлюлоза из камыша представляла собой не однородную мелковолоконистую массу.



Перед отбелкой После отбелки
Рис. 2. Микрофотография камышовых целлюлозных волокон.

Фракционный состав целлюлозы по волокну проводились на приборе L&W Fiber Tester [2]. Прибор обеспечивает определить качества бумажной массы быстро и легко. Измеряли качество волокна в бумажной массе: длину волокна, ширину, мелочь, фактор формы, изломов и грубость.

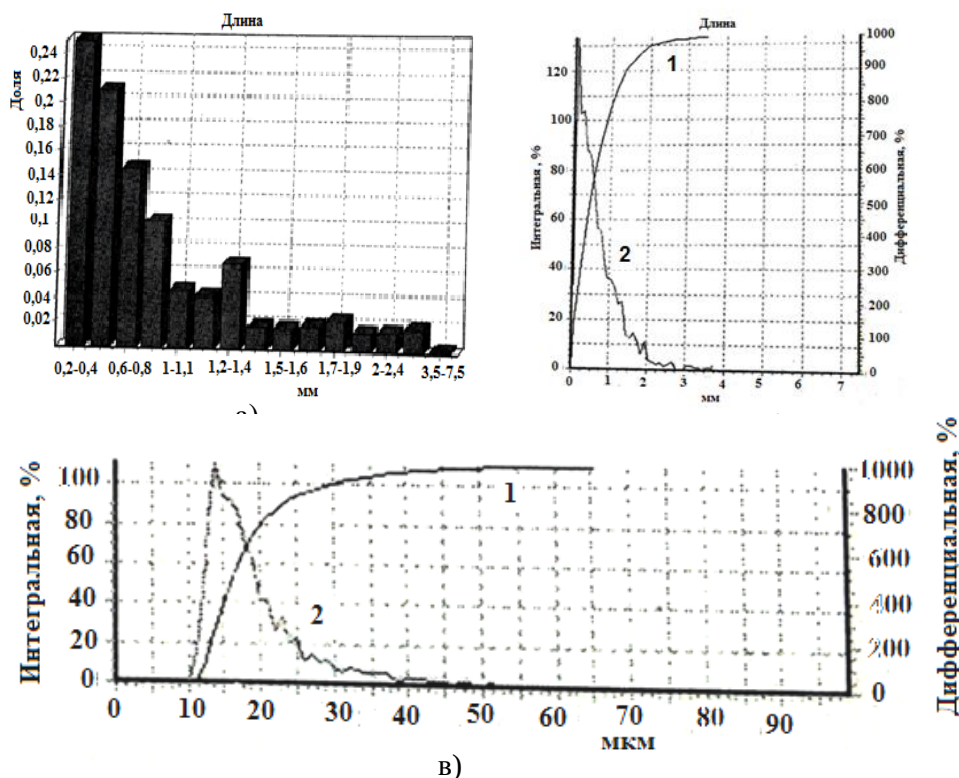


Рис. 3. Фракционный состав образцов камышовых целлюлозных волокон по размерам:
а, б – длины; в – ширина: 1 – интегральная; 2 – дифференциальная.

Структурно - размерные характеристики волокон представлены на рисунках 4. Исследование фракционного состав образцов камышовых целлюлозных волокон показал, что волокна по длине неоднородно. В основном состоят из коротких волокон (мелочь). Доля

коротких волокон длиной от 0,2 до 0,4 мм составляет от 0,22 до 0,24. А доля волокна длиной от 0,6 до 0,8 мм – 0,1 до 0,14, более чем 100 раз. Волокна с длиной от 1-1,4 мм от 1,5 до 7,5 мм менее 5% (рис.4б). На рис 4в показан фракционный состав волокон в целлюлозной массе по ширине. Ширина волокон в массе находится с10 до 70 мкм. Причём около 75% с длиной от10 до 25 мкм. В технологическом процессе мелочь оказывает негативное влияние на обезвоживание и прессование целлюлозы [2]. Такую целлюлозу можно использовать в качестве добавок (5-6% от сухой массы к хлопковой или древесной целлюлозой) при получении писчей и печатной бумаги. Их длина целлюлозных волокон находится в пределах 1,6-2,0 мм, что приводит к образованию мелких пор. Мелкие волокна заполняют, эти поры при формовании бумаги, что приводит к увеличению гладкости и прочности бумаги.



Рис.4. Микрофотография общего вида МКЦ из камышовой целлюлозы.



Рис.5. Микрофотография частиц МКЦ из камышовой целлюлозы (диаметр проволоки 0,3мм).

Гидролиз камышовой целлюлозы (далее целлюлоза) проводились в смеси растворов 10 % серной кислоты и 10 % перекиси водорода (массовое соотношение 1:1) при кипячении 100-110°C. Фракционный состав, синтезированной микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) определяли путём просеивания через комплект сит КСИ по ГОСТ 8269.0-97. Характеристики структур оценивали методами сорбции. Подвижности растворной смеси, при введении добавки МКЦ, определяли по ГОСТ 30459-2008. Микрофотографии образцов сняты с помощью микроскопа типа МБ-1. Влияния добавки МКЦ на подвижность цементного раствора проводили по ГОСТ 310.3-76. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

Обсуждение результатов. Зависимость физико-химических свойств образцов МКЦ от времени гидролиза целлюлозы представлены в таблице 1. Белизна образцов находилась в пределах 81-82%.

Таблица 1.

Зависимость физико-химические свойства МКЦ камыша от времени гидролиза

Время гидролиза, мин	Выход, % (от массы целлюлозы)	Набухание в воде, %	Сорбция влаги, %	Зольность, %	Насыпная плотность, г/см ³	СП
30	91	212	14,1	0,65	0,18	256
60	88	205	13,6	0,66	0,20	245
90	86	202	13,1	0,66	0,22	230
120	80	200	13,0	0,66	0,25	190

При проведении гидролиза в течение 30 мин выход МКЦ, набухание в воде, сорбции влаги и степени полимеризации высокие и составляют, соответственно, 0,66; 212; 14,1%, СП 256. С повышением времени гидролиза от 30 до 120 мин снижаются все указанные показатели, выход МКЦ от 91 до 80%, набухание в воде от 212 до 200%, сорбция влаги от 14,1 до 13%, СП - 256 до 190. Зольность остаётся практически постоянная – 0,66%. Насыпная плотность увеличивается от 0,18 до 0,25г/см³. Микрофотография частиц МКЦ приведены на рисунках 1,2.

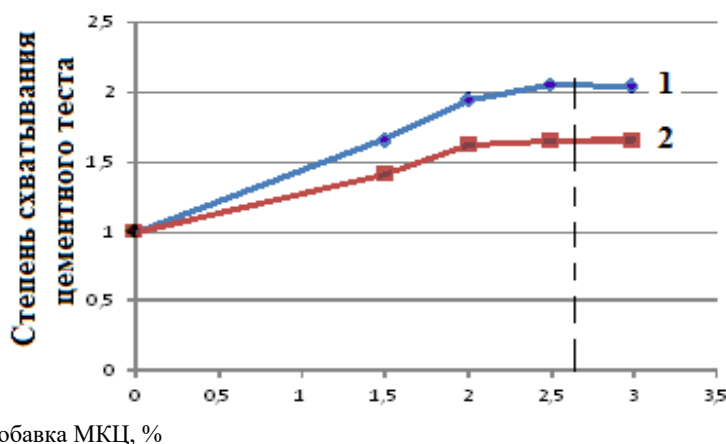
Исследование возможности применения микрокристаллической целлюлозы из камыша, в качестве добавки пластификатора вводили в цементный раствор. Для приготовления цементного теста, в качестве связующего использовали цемент АО «Бекаботцемент» марки ССПЦ 400. Состав цементного теста, водоцементное отношение (В/Ц) и добавка МКЦ, в % от массы теста, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние содержание добавки МКЦ на сроков схватывания цементного теста

МКЦ, %	Состав цементного теста, г		В/Ц	Сроков схватывания, мин	
	цемент	вода		начальная	конечная
0,0	350	100	0,28	190	300
1,5	350	115	0,32	315	410
2,0	350	123	0,35	365	475
2,5	350	132	0,37	410	495
3,0	351	133	0,39	412	497

При введении МКЦ от 1,5 до 3,0% начальный срок схватывания увеличивается с 315 до 412 мин, а конечная – с 410 до 497 мин. На рисунке 4 приведены влияние добавки МКЦ в % на степень сроков схватывания цементного теста.



Добавка МКЦ, %

Рис.6. Влияние добавок МКЦ, % от массы вяжущего на степень сроков схватывания цементного теста: 1 – начало; 2 – конец. раза.

Результаты исследования показали пластифицирующее действие микрокристаллической целлюлозы на цементную тесту. Наиболее оптимальным является добавка в количестве 2,5-2,7%. Здесь МКЦ выступает в роли пластифицирующего агента, замедляя формирования структуры цемент-вода. При введении добавки МКЦ в количестве 1,0-3,0% от массы вяжущего повысился степень сроков схватывания цементного теста: начальная до 2 раза, конечная – 1,7

Выводы

На основании проведенных экспериментов показано, что микрокристаллическая целлюлоза из камыша может быть рекомендована для применения в качестве регулятора густоты, сроков схватывания цементного теста, т.е. пластифицирующая добавка в строительных растворах.

Список литературы

- [1]. ГОСТ 24211-2008. «Добавки для бетона и строительных растворов. Общие технические требования».
- [2]. Рамачандран В.С. Добавки в бетон [Текст]: справочное пособие /В.С. Рамачандран и др. – Пер. с англ. – М.: Стройиздат; 1988. – 575 с.
- [3]. Сунайт (Иванова) В.Н. Использование порошковой целлюлозы из волокнистых полуфбрикатов высокого выхода в строительной отрасли / В.И. Сунайт (Иванова), Л.Г. Махотина // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы V Международной научно-технической конференции. – Архангельск: изд.- САФУ им. М. В. Ломоносова, 2019. С.227-231.
- [4]. Hamdamova D.Sh., Umarova V.K, Primkulov M.T. Mikrokristallik selliyuloza texnologiyasi. “Tafakkur tomchilari”. Toshkent.: 2020, 208 b.
- [5]. Nikishin V.M., Obolenskaya A.V., Щегolev V.P. Ximiya drevesiny i selliyulozy. Moskva. “Lesnaya promyshlennost”. 1978.
- [6]. Sigal, L. An empirical method for estimating the degree of crystalline of native cellulose using the X-ray diffractometer / L. Sigal, J.J. Creely, A. E. Jr. Martin, C.M. Conrad // Textile Research Journal. – 1959. – Vol. 29, № 10. – P. 786-794.
- [7]. Struktura i fiziko-ximicheskie svoystva selliyuloz i nanokomponentov / L.A. Aleshinoy i dr. – Petrozavodsk: PetrGU, 2014 -242 s.

- [8]. Щербakova Т.Р. Sravnitel'noe izuchenie obrazsov poroshkovoy i mikrokristallicheskoj selljulozy razlichnogo prirodnogo proisxojdeniya / Т.Р. Щербakova, N.Ye.Kotel'nikova, Yu.V. Vyxovsova // Ximiya rastitelnogo сыrya. – 2012. № 2. – С. 5-14.
- [9]. Kocheneva I.V. Analiz modifitsirovannoy selljulozy metodom IK-spektroskopii / I.V. Kocheneva, V.I. Sidorov, I.A. Kotlyarova // Ximiya rastitelnogo сыrya. – 2011. № 1. – С. 21-24.
- [10]. Nelson M/L/, O'Connor R.T. // J.Appl. Polym. Sci. 1964. vol. 8.P.1311-1324.
- [11]. Ivanova N.V. Matematicheskaya obrabotka IK spektra selljulozy / N.V. Ivanova i.dr.//Jurnal prikladnoy spektroskopii. – 1989. – T.51. №2. – С. 301-306.
- [12]. Andreeva O.A. IK spektroskopicheskoe issledovanie lna, podvergnutogo predvoritel'noy ochistke/ O.A.Andreeva i dr. // Jurnal prikladnoy ximii. – 2002. – T.75. – Выр. 9. – С. 1545-1548.
- [13]. Dilnoza Xamdamova Vasila Umarova, Maxmut Primkulov Arslon Khusenov Study on the microcrystalline cellulose from medicinal plants. E3S Web of Conferences 434, 03038 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343403038> ICECAE 2023.
- [14]. Хамдамова Д.Ш., Умарова В.К., Примкулов М.Т. Получение микрокристаллической целлюлозы из лекарственных растений (amaranthus и silybum marianum). UNIVERSUM : Химия и биология 6 (96) 3 часть, Москва 2022, стр.43-49.
- [15]. Хамдамова Д.Ш., Умарова В.К. Таджиева А.Дж. Примкулов М.Т.МКЦ асосида таблетка ишлаб чиқариш технологияси. Scholar Scientific Journal, 2023/22 august, pp.44-51.
- [16]. ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов в строительных растворах. Определение и оценка эффективности».

ФОСФОРИТ ШЛАМИНИ КАРБАМИДНИНГ КИСЛОТАЛИ КОМПЛЕКС БИРИКМАЛАРИ ЁРДАМИДА КИМЁВИЙ ФАОЛЛАШТИРИШ

М.В. Йулбарсова

*Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Умумий ва ноорганик кимё институти
(Қабул қилинди 18.08.2025 й.)*

Аннотация. Ушбу тадқиқотда карбамиднинг ноорганик кислоталар билан ҳосил қилган комплекс бирикмалари ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_3$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ ҳамда экстракцион фосфат кислота асосидаги $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4(\text{ЭФК})$ бирикма ёрдамида фосфоритларни фаоллаштириш жараёни тўғрисида тадқиқотлар натижалари келтирилган. Умумий нисбат 10 га тенг бўлган ҳолда, 9:1 дан 1:9 гача бўлган интервалдаги таркибий нисбатларда мураккаб ўғит намуналари тайёрланди. Бунда рН муҳит қийматларининг таҳлили шуни кўрсатдики-карбамид нитратида 6,74 дан 1,39 гача, карбамид фосфатда 7,54 дан 2,25 гача, карбамид сульфатда 7,57 дан 1,76 гача ва экстракцион фосфат кислота иштирокида олинган карбамид фосфатида 6,35 дан 2,22 гача тушади. Бу эса фосфорит таркибидаги минералларни парчалашга ва фосфорнинг ўзлаштириладиган шаклга ўтишига олиб келади. Олинган натижалар эса янги турдаги самарали мураккаб ўғитлар ишлаб чиқаришида муҳим илмий асос бўлади.

Калит сўзлар: Фосфорит шлами (ФС), карбамиднинг кислотали комплекси (ККК), карбамид нитрати (КН), карбамид фосфати (КФ), карбамид сульфати(КС), рН қиймати, фосфор ангидриди (P_2O_5), кальций оксиди (CaO) ва азот (N).

Аннотация. В настоящем исследовании приведены результаты изучения процесса активации фосфоритов с использованием комплексных соединений мочевины с неорганическими кислотами ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_3$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ и $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4(\text{ЭФК})$ (на основе экстракционной фосфорной кислоты)). Образцы сложных удобрений были приготовлены в различных соотношениях компонентов от 9:1 до 1:9 при общем соотношении, равном 10. Анализ значений рН показал следующее: для мочевиновой селитры — снижение от 6,74 до 1,39; для мочевинового фосфата — от 7,54 до 2,25; для мочевинового сульфата — от 7,57 до 1,76; и для мочевинового фосфата на основе экстракционной фосфорной кислоты — от 6,35 до 2,22. Это способствует разрушению минеральной структуры фосфоритов и переводу фосфора в усвояемую форму. Полученные результаты служат важной научной основой для разработки новых эффективных видов комплексных удобрений.

Ключевые слова: фосфоритовый шлам (ФС), кислотный комплекс мочевины (ККМ), нитрат мочевины (НМ), фосфат мочевины (ФМ), сульфат мочевины (СМ), значение рН, пятиокись фосфора (P_2O_5), оксид кальция (CaO), азот (N).

Abstract. This study presents the results of research on the activation of phosphorites using complex compounds of urea with inorganic acids ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_3$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ and $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4(\text{WPA})$ based on wet-process phosphoric acid). Compound fertilizer samples were prepared at composition ratios ranging from 9:1 to 1:9 with a total mixture ratio of 10. Analysis of the pH values showed a decrease from 6.74 to 1.39 in urea nitrate, from 7.54 to 2.25 in urea phosphate, from 7.57 to 1.76 in urea sulfate, and from 6.35 to 2.22 in urea phosphate based on extractive phosphoric acid. This promotes the decomposition of the mineral structure of phosphorites and the transformation of phosphorus into an assimilable form. The obtained results serve as an important scientific basis for the development of new efficient types of complex fertilizers.

Keywords: Phosphorite sludge (PS), acidic urea complex (AUC), urea nitrate (UN), urea phosphate (UP), urea sulfate (US), pH value, phosphorus pentoxide (P_2O_5), calcium oxide (CaO), nitrogen (N).

Кириш. Қишлоқ хўжалигини комплекс ўғитлар билан таъминлаш мақсадида, Ўзбекистонда мавжуд бўлган фосфор сақловчи хомашёни қайта ишлашга асосланган технологиялар истиқболли ҳисобланади. Бироқ, маҳаллий фосфоритлар таркибидаги P_2O_5 миқдорининг камлиги ва СаО миқдорининг юқорилиги уларни минерал ўғитларга қайта ишлашни анча мураккаблаштиради. Юқори карбонатли паст навли фосфоритлардан комплекс ўғитлар ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш мақсадида Марказий Қизилқум фосфоритларининг сифат даражаси паст бўлишига қарамасдан, уларни азот-фосфорли ўғитларга айлантириш орқали қайта ишлаш имкониятлари кенг ўрганилмоқда [1]. Бундай паст сифатли фосфатларни минерал ўғитлар ишлаб чиқариш жараёнига жалб этишнинг ягона самарали усули – бу хомашёни ноорганик кислоталарнинг комплекс бирикмаларида парчалаш орқали қайта ишлашдан иборат. Бу технология фосфорга қўшимча янги озуқа элементларини ҳам маҳсулот таркибига киритиш имконини яратади.

Айнан шундай вазиятда, фосфоритларни ноорганик кислоталар билан қайта ишлаш жараёнида карбамиддан фойдаланиш катта амалий аҳамиятга эга, чунки у деярли барча ноорганик кислоталар ва тузлар билан комплекс бирикмалар ҳосил қилади. Бунинг натижасида, таркибида турли шаклдаги озуқа моддалари бўлган комплекс ўғитлар ҳосил бўлади. Улар ердаги намлик ёки сув таъсирида секин парчаланади ва ер таркибидаги мустаҳкам боғланган фосфатларни ўсимликлар ўзлаштира оладиган шаклга ўтказди. Бундай технологияни яратиш мақсадга мувофиқ, чунки тайёр маҳсулот таркибида барча озуқа элементлар сақланиб қолади, бу эса ўсимликлар ҳосилдорлигини оширишга хизмат қилади. Шунингдек, бундай ишлаб чиқариш жараёнида чиқиндилар вужудга келмайди.

Сўнгги йилларда паст навли, хусусан, карбонатли Қизилқум фосфоритларини кимёвий қайта ишлаш орқали қўшимча қийматга эга маҳсулотлар олиш бўйича изланишлар фаоллашган. Айниқса, Қизилқум карбонат фосфоритларидан NP ва NPK ўғитларини олиш бўйича олиб борилган тадқиқотларда фосфат хомашёсини HNO_3 ва H_2SO_4 кислоталари аралашмаси билан қуюқ шлам шароитида парчалаш самарали усул сифатида тавсия этилган. [2]. Қайта айланиш коэффициенти ошиши маҳсулот намлигини камайтириши аниқланган. Аммо HNO_3 30% ва H_2SO_4 70% дан ортиқ қўлланилганда маҳсулот кислоталилиги ва намлиги (6,03% дан юқори) ортиб кетиши қайд этилган. Оптимал кислота дозаси 73,5–91% бўлиб, у ҳолда олинган ўғитда 9,34–10,61% P_2O_5 , 3,04–4,54% N ва pH 3,3–3,6 бўлиши таъминланган. Шунингдек, тозаланган концентрат ва майда фракциялар асосида тўлиқ парчаланган маҳсулотларга K_2SO_4 , KCl, ва K_2CO_3 қўшиш орқали NPK ўғитлар ишлаб чиқариш жараёни ҳам ўрганилган. Шунингдек, Марказий Қизилқумнинг паст навли карбонат фосфоритларини азот кислотаси билан кимёвий бойитиш жараёни бир қатор тадқиқотларда ўрганилган [3]. Азот кислотаси миқдорининг (45–60%) ортиши ва шлам pH и (2.5–4.0) фосфор концентрати таркибидаги P_2O_5 миқдори ва $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ чиқишига жиддий таъсир кўрсатади. 50% HNO_3 ва pH ≥ 3.0 шароитида P_2O_5 миқдори 26.25% гача, СаО: P_2O_5 модули 1.52 гача етишган. Қайта шламлашда $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ концентрацияси 10% ва фосфорит хомашёси (кейинги ўринларда – ФХ) : $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ эритмаси нисбати 1:2.5 бўлганда $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ чиқариш даражаси 94.93% гача бўлган. Ювиш сувининг миқдори (ФХ: H_2O = 1:1.5) ва ҳарорати (60–70°C) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ миқдорини 1.45% гача тушириш имконини берган. Бу

натижалар кимёвий бойитилган фосфор концентратларини суюқ усулда фосфор кислотаси олиш ва фосфорли ўғитлар ишлаб чиқаришда самарали қўллаш имконини беради.

Камбағал фосфорит хомашёсини самарали ўзлаштириш мақсадида Ш.С. Намозов ва бошқалар [4] томонидан экстракцион фосфор кислотаси билан циклик парчалаш усули асосида юқори сифатли азот-фосфор-кальцийли (NPCa) ўғит ишлаб чиқариш технологияси таклиф этилган. Тадқиқотда минераллашган масса (ММ) (40,76% P_2O_5 ли) фосфат кислотада парчаланиб, ҳосил бўлган монокальцийфосфат аммиак билан $pH = 4,0-5,0$ гача нейтралланган. Натижада олинган комплекс ўғитлар таркибида 55,9–56,7% умумий фосфор ангидриди (P_2O_5), 9,1–10,8% азот (N) ва 5,6–5,9% кальций оксиди (CaO) мавжуд бўлиб, уларнинг катта қисми ўсимликлар томонидан осон ўзлаштириладиган ҳолатда бўлиши аниқланган. Ҳосил қилинган гранулалар 4,3–6,3 МПа қувватдаги статик мустаҳкамликка эга бўлиб, бу уларни механик таъсирлардан сақлаш, транспортировка ва агротехник қўллашда юқори амалиёт самарасини таъминлаши исботланган.

Кизилкум фосфоритларини арзон ва самарали усулда фаоллаштириш мақсадида Аслонов А.Х. ва бошқалар [5] олтингугурт иштирокида калий хлорид ва нитрат-карбамид тузлари билан ишлов беришни таклиф этишган. Тадқиқотда фторапатит ва кальцит минералларининг парчаланиши натижасида умумий фосфорнинг 96% гача ўсимликка ўзлашувчан ва 63% гача сувда эрувчи формалари ҳосил бўлгани аниқланган. Натижада фосфор, азот ва калийни ўз ичига олган самарали P–N–K комплекс ўғитлар ишлаб чиқиш имкони яратилган. Шу билан бирга чет эл олимлари ҳам таркибида P_2O_5 кам (3–10%) ва CaO кўп (40–60%) бўлган Украина фосфоритларини HNO_3 билан парчалаш орқали олинган нитрат кислотали эритмадан карбамид ёрдамида комплекс ўғит тайёрлаш усули ишлаб чиқилган. [6-9]. Карбамид нитрат кислотали эритмадаги кальций ва бошқа элементлар билан бирикмалар ҳосил қилиб, уларни ўсимликлар учун ўзлаштириладиган формага ўтказди. Оптимал шароитлар ($T=358K$, $CO(NH_2)_2:H_3PO_4=5:1$) да реакция самарадорлиги юқори бўлиб, олинган ўғитда P_2O_5 ва CaOнинг фойдали формалари 6–7% ни ташкил этиб, уруғ экинларининг 12–30% гача ҳосилдорлигини оширади.

Ю.И. Вецнер томонидан карбамид фосфати ($CO(NH_2)_2 \cdot H_3PO_4$) олиш жараёни ўрганилган бўлиб, у юқори самарали азот-фосфорли ўғит сифатида тавсия этилади. Муаллиф ортофосфор кислотанинг турли концентрациялари билан карбамид ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўладиган маҳсулотларнинг кристалланиш жараёни, термик барқарорлиги ва таркибий хусусиятларини ўрганади. Тадқиқотда рентгенофазовий ва термогравиметрия методлари орқали олинган маҳсулотларнинг физик-кимёвий хусусиятлари таҳлил қилинган. Хусусан, H_3PO_4 концентрациясининг 60–86% оралиғида бўлиши фосфат карбамиднинг ҳосил бўлиш жараёнига таъсири кўрсатилган. Олинган натижаларга кўра, ортофосфор кислотанинг 80% концентрацияси энг самарали бўлиб, бунда маҳсулот чиқиши юқори ва намликни тез йўқотиш имкони борлиги аниқланган. Бундан ташқари, маҳсулотнинг кристалл шакли, унинг таркибий барқарорлиги ва термодинамик хусусиятлари ҳам чуқур ўрганилган. [10.]

Метод ва материаллар. Илмий изланиш тажрибаларида, фаоллаштириш учун таркиби P_2O_5 –8,41%; CaO–38,90%; CO_2 –18,62%; SO_3 –5,91% бўлган фосфорит шламидан фойдаланилди.

Фосфоритларни ККК бирикмалари ($CO(NH_2)_2 \cdot HNO_3$, $CO(NH_2)_2 \cdot H_3PO_4$, $2CO(NH_2)_2 \cdot H_2SO_4$) ва экстракцион фосфат кислота асосидаги $CO(NH_2)_2 \cdot H_3PO_4$ (эфк) билан фаоллаштириш натижасида олинган мураккаб ўғит таркибидаги асосий озуқа элементлари миқдори, яъни фосфор ангидрид (P_2O_5) ва кальций оксид (CaO) ларининг умумий, ўсимлик ўзлашувчан қисми, азот (N), сульфат ангидрид (SO_3) маълум стандарт усуллар ёрдамида кимёвий таҳлил қилинган.

Фотоколориметрик усул билан ўғитлар таркибидаги P_2O_5 ни аниқлашда, тўлқин узунлиги $\lambda=440$ бўлган визуал спектрофотометрда амалга оширилди. Бунда ўсимлик ўзлашувчан шакллардаги P_2O_5 нинг таҳлили стандарт усуллар ёрдамида аниқланди [11]. Деварда ва ҳажмий усуллар ёрдамида эса ўғитлар таркибидаги азотнинг умумий ва нитрат

шаклининг миқдори аниқланди. [12; 13]. Гравиметрик усулда намуналар таркибидаги олтингугуртнинг миқдори барий хлорид иштирокида амалга оширилди [14]. Комплексонометрик усул ёрдамида ҳам ашё ва олинган ўғитлар таркибидаги CaO ҳажмли аниқланди [15]. Ҳажмли усул ёрдамида намуналар таркибидаги CO_2 нинг миқдорини аниқлаш бажарилди [16]. pH муҳит кўрсаткичи BANTE 210 ускунасида [17] аниқланди.

Натижа ва муҳокама. Фосфат ҳам ашё намуналарининг сувда эрувчанлигини ўрганиш натижалари асосида олинган маълумотлар шуни кўрсатдики, Марказий Қизилқум фосфоритлари сувда деярли эримайди. Демак фосфоритларни қишлоқ хўжалигида фосфорли ўғит сифатида фаоллаштирмасдан фойдаланиш самарасиз ҳисобланади. Шунинг учун карбамиднинг кислотали комплекслари (ККК) ($\text{HNO}_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ва $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{ЭФК}) \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$) билан фосфорит шламини (ФС) фаоллаштириш жараёнини ўрганиш учун улардан турли нисбатларда, яъни умумий нисбат 10 га тенг бўлган ўғит намуналар қуйидаги нисбатларда 9:1 ва 1:9 оралиғида тайёрланди.

Фосфоритни ККК бирикмалари билан фаоллаштириб мураккаб ўғит олиш жараёни ўрганилди. Олиб борилган тадқиқотлар натижасига кўра фосфоритнинг фаоллашиш даражасининг ўзгариши тузнинг миқдорига боғлиқ эканлиги аниқланди.

Фаоллашган фосфорит намуналари таркибида кальцийфторапатит ва кальцит минералларининг парчаланиши натижасида умумий P_2O_5 нинг ўсимлик ўзлашувчан ва сувда эрувчан шакллари ҳосил бўлиши, шунингдек унинг карбонатсизланиши кузатилади.

Олинган натижалар шуни кўрсатдики, аралашмада ККК миқдорини ортиб бориши билан фосфоритнинг фаоллашиш (парчаланиш) даражаси ўсиб боради. Бунда дастлаб, фосфорит унини карбамид нитрати (КН) асосида фаоллаштириш жараёни ўрганилди олинган натижалар 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Фосфорит шламини (ФС)ни $\text{HNO}_3 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ иштирокида фаоллаштириб олинган ўғитларнинг кимёвий таркиби, %

ФС нисбати	ККК нисбати	N			P_2O_5		CaO		pH
		ум	нитр.	амид.	ум	ўзл.	ум	ўзл.	
90	10	2,34	0,78	1,56	7,57	0,12	35,01	22,21	6,74
80	20	4,67	1,56	3,11	6,73	0,22	31,12	20,57	6,34
70	30	7,01	2,34	4,67	5,89	0,30	27,23	18,90	6,26
60	40	9,34	3,11	6,23	5,05	1,25	23,34	17,14	6,13
50	50	11,68	3,89	7,79	4,21	2,20	19,45	16,43	5,91
40	60	14,02	4,67	9,34	3,36	3,05	15,56	14,85	2,40
30	70	16,35	5,45	10,90	2,52	2,43	11,67	11,25	1,70
20	80	18,69	6,23	12,46	1,68	1,63	7,78	7,78	1,48
10	90	21,02	7,01	14,02	0,84	0,84	3,89	3,89	1,39

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида аниқланишича, аралашмада карбамид нитрати миқдорининг ошиши фосфорит шламининг фаоллашиш (яъни парчаланиш) даражасини сезиларли даражада оширади. Масалан, фосфорит шлами ва карбамид нитратининг 9:1 дан 1:9 гача бўлган нисбатлардаги аралашмаларидан олинган янги турдаги мураккаб ўғитларда pH кўрсаткичи 6,74 дан 1,39 гача ўзгарган. Бунда аралашмада умумий азот (N) миқдори 2,34% дан 21,02% гача, шу жумладан нитрат шаклидаги азот 0,78–7,01%, амид шаклида эса 1,56–14,02% орасида бўлиши аниқланган.

Фосфор ангидриди (P_2O_5) миқдори 7,57% дан 0,84% гача, кальций оксиди (CaO) эса 35,01% дан 3,89% гача камайгани кузатилган. Карбамид нитрати миқдори 1 нисбатдан 9 нисбатгача кўпайиши натижасида фосфорит шламидаги ўсимлик томонидан ўзлаштириладиган фосфор миқдори 0,34% дан 100% гача, кальций эса 63,43% дан 100% гача ошгани маълум бўлди.

Карбамид нитрати миқдорининг 9 мартагача оширилиши ўғит таркибидаги азот миқдорини 8,98 мартага кўпайтиради. Шу билан бирга, фосфорит шламининг ўзлаштириш

даражасига қаралса, фаоллаштирилган ўғитдаги P_2O_5 миқдори 60,97 баробар, CaO миқдори эса 1,57 баробар ортиши кузатилган.

Бу жараёнларда аралашма муҳитининг pH кўрсаткичи 2,40 дан 1,39 гача пасайиб, фосфорит шламидаги карбонатлар тўлиқ парчаланган ва натижада ҳосил бўлган муҳит кучли кислотали тус олган. Ушбу мураккаб ўғитларда умумий озукка моддаларнинг ($N+P_2O_5+CaO$) йиғиндиси 25,75% дан 44,92% гача етади.

Карбамид нитрати таъсирида фосфорит шламининг фаоллашиш жараёни қуйидагича изоҳланади: ўғит таркибида карбамид нитрати миқдорининг ортиши билан аралашма муҳитининг pH қиймати 6,74 дан 1,39 гача пасайиб, кислоталик даражаси ошади. Муҳитнинг бундай кислоталиги фосфорит шлами таркибидаги минералларнинг парчаланишини фаоллаштиради. Бу эса фосфорит шламининг фаоллашишини таъминлайди. Бошқа томондан, агар аралашмада фосфорит шламининг миқдори ортиб, карбамид нитрати миқдори камайса, унда муҳитнинг кислоталик даражаси пасаяди ва натижада фосфоритнинг парчаланиш, яъни фаоллашиш самарадорлиги камаяди. Олиб борилган таҳлиллар натижасида масса нисбати 4:6 (фосфорит шлами:карбамид нитрати) бўлган ўғит намуналари оптимал деб топилди. Ушбу нисбат фосфорит шламининг етарлича фаоллашувини таъминлаб, ўғитнинг умумий озукка қийматини ҳам мувозанатда ушлаб туради.

Фосфорит шламини карбамид фосфати (КФ) билан фаоллаштириш жараёни ўрганилди (2-жадвал).

2-жадвал

Фосфорит шламини (ФШ)ни $H_3PO_4 \cdot CO(NH_2)_2$ иштирокида фаоллаштириб олинган ўғитларнинг кимёвий таркиби, %

ФШ нисбати	ККК нисбати	$N_{ум}$	P_2O_5		CaO		pH
			ум	ўзл.	ум	ўзл.	
90	10	1,56	11,52	4,09	35,01	24,61	7,54
80	20	3,11	14,63	9,85	31,12	23,31	7,03
70	30	4,67	17,74	14,21	27,23	20,91	6,99
60	40	6,23	20,85	18,84	23,34	18,63	6,07
50	50	7,79	23,95	23,95	19,45	17,20	3,70
40	60	9,34	27,06	27,06	15,56	14,24	3,31
30	70	10,90	30,17	30,17	11,67	11,67	2,71
20	80	12,46	33,28	33,28	7,78	7,78	2,47
10	90	14,02	36,39	36,39	3,89	3,89	2,25

КФга 9:1 масса нисбатида фосфорит шлами қўшилганда (муҳит $pH = 7,54$), ҳосил бўлган ўғит таркибида 1,56% умумий азот озукаси мавжуд бўлиб, унинг барчаси нитрат шаклида бўлади. Умумий фосфор озукка миқдори 11,52% ни ташкил қилиб, шундан 35,53% ўсимлик томонидан ўзлаштириладиган шаклда эканлиги аниқланган. Шунингдек, кальций озукасининг умумий миқдори 35,01% бўлиб, унинг 70,30% қисми ўсимликка ўзлашувчан шаклда мавжуд.

Фосфорит шламига КФ 9 масса нисбатида қўшилганда (муҳит $pH = 2,25$), ҳосил бўлган мураккаб ўғитда 14,02% умумий азот, 36,39% умумий фосфор ва 3,89% умумий кальций озукалари мавжуд бўлиб, ушбу элементларнинг барчаси (100%) ўсимлик ўзлашувчан шаклда бўлади.

КФ миқдорининг 1 дан 9 гача қўпайиши орқали pH муҳити 7,54 дан 2,25 гача пасайиши фосфорит таркибидаги озукка элементларининг ўзлашувчанлигини сезиларли даражада оширган. Хусусан, фосфорнинг ўзлашувчан қисми 35,53% дан 100% гача, кальцийники эса 70,30% дан 100% гача ошган. Бу ўсиш КФ миқдори 1 нисбатдаги ўғитлар билан солиштирилганда P_2O миқдори 2,81 баробарга, CaO миқдори эса 1,42 баробарга қўп эканлигини кўрсатади.

Шу билан бирга, аралашма муҳитининг pH қийматининг 3,31 дан 2,25 гача пасайиши фосфоритдаги карбонатларнинг тўлиқ парчаланишига олиб келган ва ҳосил бўлган

муҳит кучли кислотали тусга эга бўлган.

Олинган ўғитларда умумий озук моддалар миқдори ($N+P_2O_5+CaO$) 48,09–54,30% оралиғида бўлиб, юқори қийматга эга. Шунингдек, ушбу кўрсаткичлар КФ асосида синтез қилинган ўғитларда фосфор озук элементининг юқорилиги фосфат кислота таркиби билан боғлиқ экани, бу эса КФнинг бошқа карбамиднинг кислотали бирикмаларига нисбатан муҳим афзалликларидан бири эканлигини кўрсатади.

Қўшимча равишда, масса нисбати 1 бўлган КФ қўшилган ўғитлардаги азот амид шаклида (1,56%) бўлиши қайд этилган. КФ миқдорининг 1 дан 9 гача орттирилиши натижасида ўғит таркибидаги умумий азот миқдори 8,98 баробаргача кўпайган.

Юқоридаги натижалар таҳлили асосида, масса нисбатлари 4:6 бўлган фосфорит шлами ва КФ аралашмаси асосида олинган мураккаб ўғит намуналари оптимал деб топилди. Бу аралашма нафақат юқори озук моддалар миқдорига, балки ўсимлик томонидан яхши ўзлаштириладиган шаклдаги элементлар таркибига ҳам эга.

Фосфорит шлами карбамид сульфати (КС) асосида фаоллаштириш жараёни ўрганилди (3-жадвал).

3-жадвал

Фосфорит шламини (ФШ)ни $H_2SO_4 \cdot CO(NH_2)_2$ иштирокида фаоллаштириб олинган ўғитларнинг кимёвий таркиби, %

ФШ нисбати	ККК нисбати	$N_{ум}$	P_2O_5		CaO		SO_3	pH
			ум	ўзл.	ум	ўзл.		
90	10	3,12	7,57	0,33	35,01	13,80	9,77	7,57
80	20	6,23	6,73	0,58	31,12	13,46	13,63	7,03
70	30	9,35	5,89	0,82	27,23	12,34	17,49	6,90
60	40	12,46	5,05	1,13	23,34	11,40	21,35	6,41
50	50	15,58	4,21	2,68	19,45	9,77	25,21	5,62
40	60	18,69	3,36	2,96	15,56	8,04	29,07	2,70
30	70	21,81	2,52	2,26	11,67	6,41	32,92	2,01
20	80	24,92	1,68	1,54	7,78	5,04	36,78	1,81
10	90	28,04	0,84	0,84	3,89	2,74	40,64	1,76

Бу тадқиқотларда ҳам КС миқдори 1 дан 9 гача бўлган масса нисбатларида фосфорит шламига қўшилди. КСнинг 1 масса нисбатидаги аралашмада ($pH = 7,57$) олинган ўғит таркибида умумий азот озук миқдори 3,12% ни ташкил этди ва у ҳам тўлиқ амид шаклида бўлди. Ушбу таркибда умумий фосфор озук миқдори 7,57% бўлиб, шундан 4,33% ўсимлик ўзлаштириладиган шаклда эканлиги аниқланди. Умумий кальций озук миқдори 35,01% бўлиб, унинг 39,41% қисми ўсимликка ўзлашувчан шаклда мавжуд.

КС миқдорининг 1 дан 9 гача кўпайиши билан, pH муҳити 7,57 дан 1,76 гача пасайган ва фосфоритнинг фаоллашиш даражаси кескин ошган. Натижада фосфорит таркибидаги ўзлашувчан фосфор (P_2O_5) миқдори 4,33% дан 100% гача, ўзлашувчан кальций (CaO) миқдори эса 39,41% дан 70,49% гача кўтарилган. Бу ҳолат, ўғит муҳитининг кислоталиги ортиши билан боғлиқ бўлиб, фосфат ва кальций минералларининг етарлича парчаланишига олиб келган.

Умумий озук моддалар миқдори ($N+P_2O_5+CaO$) аралашмаларда 32,77% дан 45,70% гача бўлгани қайд этилди. КС билан фосфорит шлами 9:1 нисбатдаги аралашмаларни 1:9 нисбатдаги аралашмалар билан таққослаганда, ўсимлик ўзлаштирувчан фосфор озук миқдори 23,09 баробаргача, кальций озук миқдори эса 1,79 баробаргача ошган.

КС асосида олинган ўғитларда олтингурут (S) озук элементининг мавжудлиги ушбу ўғитларни бошқа карбамиднинг кислотали бирикмаларга асосланган ўғитлардан фарқли ва афзал томони ҳисобланади. Бу эса нафақат асосий макроэлементлар, балки иккиламчи макроэлементлар билан ҳам бойитилган, комплекс таркибли ўғитлар олиш имконини яратади.

Шунингдек, КС миқдорининг 1 дан 9 гача ошиши билан азот миқдори ҳам тўғри пропорционал тарзда ошган. Масалан, 1 нисбатдаги аралашмада 3,12% азот бўлиб, у тўлиқ амид шаклида, 9 нисбатда эса азот миқдори тахминан 9 баробаргача кўпайган.

Ушбу таҳлиллар асосида, фосфорит ва КС аралашмаси 4:6 масса нисбатида бўлганда, энг мақбул ва самарали ўғит таркиби ҳосил бўлиши аниқланди. Бу нисбатда олинган ўғит ҳам юқори озуқа қийматида, ҳам ўсимлик учун ўзлаштиришда фаол элемент шаклларида эга.

Фосфорит шламини фаоллаштириш мақсадида экстракцион фосфат кислотаси ва карбамид асосида синтез қилинган карбамид экстракцион фосфати (КЭФК) иштирокидаги жараёнлар ўрганилди (4-жадвал). Аввал ортофосфат кислота асосида олинган КФ билан фосфоритнинг фаоллашуви кузатилганидек, экстракцион фосфат кислотаси асосида олинган КЭФК ҳам деярли шунга ўхшаш таъсирга эга эканлиги аниқланди.

4-жадвал

Фосфорит шламини (ФШ)ни $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{ЭФК}) \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ иштирокида фаоллаштириб олинган ўғитларнинг кимёвий таркиби, %

ФШ нисбати	ККК нисбати	N _{ум}	P ₂ O ₅		CaO		pH
			ум	ўзл.	ум	ўзл.	
90	10	1,56	11,52	4,23	35,01	23,68	6,35
80	20	3,11	14,63	8,84	31,12	22,50	4,39
70	30	4,67	17,74	13,88	27,23	21,03	4,15
60	40	6,23	20,85	19,42	23,34	18,52	3,98
50	50	7,79	23,95	22,74	19,45	17,15	3,80
40	60	9,34	27,06	27,05	15,56	15,25	3,57
30	70	10,90	30,17	30,17	11,67	11,67	2,68
20	80	12,46	33,28	33,28	7,78	7,78	2,43
10	90	14,02	36,39	36,39	3,89	3,89	2,22

КЭФКга 9 масса нисбатида фосфорит шлами қўшилганда (муҳит pH = 6,35), ҳосил бўлган ўғит таркибида 1,56% умумий азот мавжуд бўлиб, у тўлиқ амид шаклида бўлади. Шунингдек, умумий фосфор миқдори 11,52% ни ташкил этиб, шундан 36,70% ўсимлик томонидан ўзлаштириладиган шаклда бўлиши қайд этилди. Умумий кальций миқдори 35,01% бўлиб, 67,63% қисми ўсимликка ўзлашувчан ҳолатда бўлган.

КЭФК миқдорининг 1 дан 9 гача кўпайиши натижасида муҳитнинг pH қиймати 6,35 дан 2,22 гача пасайди ва бу, ўз навбатида, фосфоритнинг фаоллашув даражасини сезиларли оширади. Хусусан, ўсимлик ўзлаштирувчан P₂O₅ миқдори 36,70% дан 100% гача, CaO миқдори эса 67,63% дан 100% гача кўтарилган.

Бу натижалар КФ миқдори 1 нисбатда бўлган ўғитлар билан таққосланганда, P₂O₅ миқдори ўртача 2,72 баробарга, CaO миқдори эса 1,48 баробарга ошганини кўрсатади. Шунингдек, pH муҳитининг 3,57 дан 2,22 гача пасайиши фосфоритдаги карбонатларнинг тўлиқ парчаланишига олиб келгани ва жараённинг самарадорлигини оширгани аниқланди.

Ушбу таҳлиллар асосида КЭФК билан фосфорит шламини фаоллаштиришда масса нисбати 4:6 (фосфорит шлами:КЭФК) бўлган ўғит намуналари энг мақбул деб топилди. Бу нисбатдаги аралашмалар юқори ўзлаштириладиган озуқа моддалар, айниқса фосфор ва кальций озуқаларининг фаол шакллари таъминлайди.

Хулоса. Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижаларига асосан, фосфорит шламини карбамиднинг турли кислотали бирикмалари билан фаоллаштириш самарали усул эканлиги аниқланди. Фаоллаштириш жараёнида карбамид нитрати (КН), карбамид фосфати (КФ), карбамид сульфати (КС) ва экстракцион фосфат кислотаси асосида синтез қилинган карбамид экстракцион фосфати (КЭФК) моддалари билан аралашмалар тайёрланиб, уларнинг ўсимликка ўзлашувчан озуқа моддалари (N, P₂O₅, CaO) миқдори, муҳит кислоталиги (pH) ва парчаланиш даражалари ўрганилди.

Карбамид кислотали комплекслари микдорининг ортиши аралашма муҳитида рН кийматининг 6,74–1,39 диапазонида пасайиши кузатилди, бу эса фосфорит шламининг парчаланишини ва фаоллашув даражасини сезиларли даражада оширди. Азот микдори барча ҳолларда тахминан 9 мартагача, ўзлашувчан фосфор (P_2O_5) 100% гача, кальций (CaO) эса 70–100% гача кўтарилди. Фосфорит шламини карбамиднинг кислотали бирикмалари билан фаоллаштириш орқали ҳосил қилинган янги турдаги мураккаб ўғитлар нафақат юқори озуқа моддалар микдорига, балки элементларнинг ўсимлик учун ўзлаштиришда фаол бўлган шакллариининг юқори улушига эга. Хусусан, масса нисбати 4:6 бўлган аралашмалар турли КККларда ҳам энг самарали ва оптимал таркиб сифатида белгиланди. Бу усул маҳаллий хомашё —фосфорит шламини қайта ишлашда энг мақбул йўналиш ҳисобланади ва амалиётда юқори самарали ва комплекс минерал ўғитлар ишлаб чиқариш имконини яратди.

Адабиётлар

- [1]. Reimov A.M., Erkaev A.U., Namazov Sh.S., Beglov B.M. Physico-chemical properties of nitrocalcium phosphate pulps // *Uzb. Chem. Zh.* 2001, No 6, P.6-11
- [2]. Allamuratova A., Erkaev A., Reymov A., Kazakhbaev S. Improvement of the Product Composition from Nitric Acid Processing of Kyzylkum Carbonate Phosphorites. *American Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 2024, Vol. 4, Issue 11, pp. 47-58 DOI: [10.37547/ajast/Volume04Issue11-08](https://doi.org/10.37547/ajast/Volume04Issue11-08)
- [3]. B.E. Sultonov, Sh.S. Namazov, B.S. Zakirov INVESTIGATION OF NITRIC ACID BENEFICIATION OF LOW GRADE PHOSPHORITES FROM CENTRAL KYZYLKUM // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 50, 1, 2015, 26-34.
- [4]. Намазов Ш.С. Алимов У.К. Нуъмонов Б.О. Холмуродов Ж.Э. Азотно-фосфорные удобрения на основе фосфорнокислого разложения забалансовой фосфоритной руды циклическим методом // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2019. № 11 (68). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/8166>.
- [5]. Aslanov A.Kh., Urozov T.S, Quldoshev O.E Activation of kyzylkum phosphorites in the presence of sulfur using mineral salts // *Universum: technical sciences: electronic. scientific journal.* 2024. 3(120). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17069> (date of access: 23.07.2025).
- [6]. Вецнер Ю.И., Савенков А.С., Белогур И.С. Одержання комплексних добрив із збіднених фосфоритів з використанням карбаміду // *Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: тез. докл. XXI междунар. науч.-практ. конф., ч. II (21–23 мая 2014 г., Харьков) / под ред. проф. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – С. 274.* <https://core.ac.uk/download/231841687.pdf>
- [7]. Вецнер Ю.И. Влияние карбамида на выделение нитрата кальция из азотнокислотного раствора / Ю.И. Вецнер, А.С. Савенков, И.С. Белогур // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XIX Міжнар. наук.-практ. конфер., 01 – 03 червня 2011 р.: тези доп. – Харків, 2011. – Ч. II. – 2011. – С. 261.* <https://core.ac.uk/download/231841393.pdf>
- [8]. Вецнер Ю.И. Жидкие смеси карбамида с солями азотной кислоты / Ю.И. Вецнер, И.С. Белогур, А.С. Савенков // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XX Міжнар. наук.-практ. конфер., 15 – 17 травня 2012 р.: тези доп. – Харків, 2012. – Ч. II. – 2012. – С. 247.*
- [9]. Vetsner, Yu. I. New ways of receipt NP-fertilizers from low-grade phosphates of Ukraine / Yu. I. Vetsner, A. S. Savenkov, I. S. Belogur // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2014. – №3(22). – Ч.2. – 12– 13.
- [10]. Вецнер Ю.И. Исследование процесса получения фосфата карбамида // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – 2017. – № 23 (1245). – С. 137–141.
- [11]. ГОСТ 20851.2-75. Удобрения минеральные. Методы определения фосфатов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. - 37 с.
- [12]. ГОСТ 30181.4-94. Удобрения минеральные. Метод определения суммарной массовой доли азота, содержащегося в сложных удобрениях и селитрах в аммонийной и нитратной формах (метод Деварда). - М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. - 8 с.
- [13]. ГОСТ 30181.3-94. Удобрения минеральные. Метод определения массовой доли азота в удобрениях, содержащих азот в нитратной форме. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. - 6 с.
- [14]. ГОСТ 24024.12-81. Фосфор и неорганические соединения фосфора. Методы определения сульфатов. - М.: Издательство стандартов, 1981. - 4 с.
- [15]. ГОСТ 24596.4-81. Фосфаты кормовые. Методы определения кальция. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 3 с.
- [16]. ГОСТ 13455-91. Топливо твердое минеральное. Методы определения диоксида углерода карбонатов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. - 11 с.
- [17]. ГОСТ 24596.5-81. Фосфаты кормовые. Метод определения рН раствора или суспензии. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 2 с.

UDK 665.112; 664.729.

BUG'DOY VA JAVDAR DONLARINI NAVLI UN TORTISHGA TAYYORLASHDA QURUQ ISHLOV BERISHNING AHAMIYATI

Z.R. Qurayazov¹, S.S. Ravshanov², M.Z.T. Zaynobiddinov³

¹Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti

²Toshkent kimo-tehnologiya instituti

³Andijon qishloq xo'jalik va agrotexnologiya instituti

Elektron pochta: (kurayazovzarifboy@gmail.com,
rsuvankul@gmail.com, mr.zaynobiddinov@gmail.com).
(Qabul qilindi 22.09.2025 y.)

Annotatsiya: Maqolada mahalliy bug'doy hamda javdar donlarining turli nisbatdagi kompozitsion aralashmalarini un tortishga tayyorlashda ularning yuzasiga quruq ishlov berishning un chiqish unumi va sifatiga ta'sirining eksperimental natijalari keltirilgan. Tadqiqotning maqsadi bug'doy va javdar donlarini navli un tortishga tayyorlashda quruq ishlov berishning ahamiyatini eksperimental o'rganishdan iborat. Tadqiqot materiallari va usullari tadqiqot uchun tanlangan bug'doy va javdar donlarining texnologik hamda ulardan tortilgan unlar aralashmalarining sifatini baholash uchun mavjud standart usullardan foydalanildi. tadqiqotlar natijalari taklif etilayotgan don yuzasiga quruq ishlov berish uskunasi bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlashda samaraliroq hamda texnologik jihatdan muhim ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Shuning uchun keying tadqiqotlarda bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlashda ularning yuzasiga quruq ishlov berishning tayor mahsulotning novvoylik xossalari ta'sirini tahlil etish maqsadga muvofiqligi o'rganildi.

Kalit so'zlar: bug'doy, javdar, un tortish, quruq ishlov berish, un chiqish unumi va sifati.

Аннотация: В статье представлены экспериментальные результаты влияния сухой поверхностной обработки на выход и качество муки при приготовлении композитных смесей зерна местной пшеницы и ржи в различных соотношениях для помола. Цель исследования - экспериментальное изучение значения сухой поверхностной обработки при подготовке зерна пшеницы и ржи к помолу. Материалы и методы исследования Для оценки технологических свойств отобранного зерна пшеницы и ржи и качества помолотых из них мучных смесей использовались имеющиеся стандартные методы. Результаты исследования подтверждают, что предлагаемое оборудование для сухой поверхностной обработки более эффективно и технологически важно при приготовлении смесей зерна пшеницы и ржи в соотношении 4:1 для помола. Поэтому в последующих исследованиях изучалась возможность анализа влияния сухой поверхностной обработки на хлебопекарные свойства готового продукта при приготовлении смесей зерна пшеницы и ржи в соотношении 4:1 для помола в муку высшего сорта.

Ключевые слова: пшеница, рожь, мукомольное производство, сухая переработка, выход и качество муки.

Annotation: The article presents experimental results of the effect of dry surface treatment on the yield and quality of flour when preparing composite mixtures of local wheat and rye grains in different proportions for milling. The purpose of the study is to experimentally study the importance of dry surface treatment in preparing wheat and rye grains for milling. Materials and methods of the study The available standard methods were used to assess the technological properties of the selected wheat and rye grains and the quality of flour mixtures milled from them. The results of the study confirm that the proposed dry surface treatment equipment is more effective and technologically important in preparing mixtures of wheat and rye grains in a ratio of 4:1 for milling. Therefore, in subsequent studies, the feasibility of analyzing the effect of dry surface treatment on the baking properties of the finished product when preparing mixtures of wheat and rye grains in a ratio of 4:1 for grinding into high-quality flour was studied.

Key words: wheat, rye, flour milling, dry processing, flour yield and quality.

Dunyoda turli turkumdagi bug'doy donlarini navli un tortishga tayyorlash jarayonini jadallashtirish hamda energiyatejamkor texnologiyasini, qo'llashga qaratilgan chuqur tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada bug'doy va javdar donlari aralashmasini navli un tortishga tayyorlashda ularning yuzasiga quruq ishlov berish, qattiq bug'doy don turkumlaridan navli makaron unlari,

shishasimonligi past yumshoq turkumlaridan novvoylik un navlarini unumdor tegirmonlarda tortish, novvoylik xossalari past yumshoq bug'doy don turkumlaridan tortilgan un navlarini qandolat mahsulotlari ishlab chiqarishda qo'llash, sintetik qo'shimchalarsiz non mahsulotlari ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish va sinovdan o'tkaziga alohida e'tibor berilmoqda.

Don turkumlarini un tortishga tayyorlash va un tortish murakkab texnologik sxemalar asosida bir nechta maxsus jarayonlarda amalga oshiriladi. Bunda quyidagi texnologik jarayonlar bajariladi [1]: don massasini begona chiqindilardan tozalash; donning yuzasiga quruq ishlov berish; gidrotermik ishlov berish; un tortishga don aralashmasini shakllantirish, don va oraliq mahsulotlarni maydalash; maydalangan mahsulotlarni yirikligi bo'yicha saralash; oraliq mahsulotlarni (yormacha va dunstlarni) sifati bo'yicha saralash; yormacha va dunstlarni mayin yanchish.

Yuqori sifatli bug'doy va javdar un aralashmalarining nonvoylik xususiyatlari hamda kimyoviy tarkibi turli nisbatdagi kompozitsion aralashmalaridan sifatli non mahsulotlarini ishlab chiqarish maqsadga muvofiqligi bir necha tadqiqotchilar tomonidan o'rganilgan [2-10].

Bug'doy va javdar unlari aralashmasidan tayyorlangan starterlari yordamida yuqori sifatli bug'doy va javdar unlaridan non mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha keng tadqiqotlar olib borilgan [11-14].

Bug'doy donining texnologik potentsialidan rosional foydalanish maqsadida bug'doy don turkumlari tarkibida har xil turdagi, har xil hududda yetishtirilgan, eski va yangi hosil, sifati past va sifati yuqori bo'lgan donlarni aralashtirish, ya'ni bug'doy don turkumlarini navli nonvoylik un tortishga tayyorlash jarayoni elevatorlarda boshlanishi "Tegirmonlarda texnologik jarayonlarni tashkillashtirish va yuritish qoidalari" da keltirilgan [15]. Bunda, maydalash partiyalarini tuzishda, aralashtiriladigan komponentlar, donlarning yuqori unboplik xususiyatini va unning yuqori nonboplik xususiyatlarini ta'minlashi nazarda tutiladi.

Rivojlangan Evropa Ittifoqi mamlakatlarida donni qayta ishlash maqsadida qo'llaniladigan donli xom ashyolarning (bug'doy va javdar) tarkibidagi oqsil yoki kleykovina massa ulushiga asoslangan holda sifati baholanadi. Xususan, Frantsiyada MIProspects standartiga ko'ra, bug'doy doni to'rtta sinfda tasniflanadi: E, 1, 2 va 3. Ular oqsilning massa ulushiga, "tushish soni" ko'rsatkichi va xamirning deformatsiyalanish energiyasiga (W) asoslanishi shuningdek, Germaniyada, ushbu standart ko'ra, E, A, V, EU, C va Un chiqishini baholanishi hamda ular quyidagi ko'rsatkichlarni o'z ichiga oladi: oqsilning massa ulushi, sedimentatsiya va natural og'irlik [16].

Yuqoridagi tadqiqotlar tahlillaridan, Respublikamiz non ishlab chiqaruvchi korxonalarida faqat navli nonvoylik bug'doy uni qo'llanilishi, tayyor mahsulot assortimentini kengaytirish va ularning tarkibiy qismida biofaol moddalar miqdorini oshirish imkoniyatini bermasligi aniqlandi. Javdar-bug'doy un aralashmasidan non mahsulotlarini ishlab chiqarish, xom ashyo xossalari va tarkibining o'zgarishi hisobiga tayyor mahsulot assortimentini va biofaol moddalar bilan boyitish mumkin.

Tadqiqotning maqsadi bug'doy va javdar donlarini navli un tortishga tayyorlashda quruq ishlov berishning ahamiyatini eksperimental o'rganishdan iborat.

Tadqiqot materiallari va usullari. Tadqiqot uchun tanlangan bug'doy va javdar donlarining texnologik hamda ulardan tortilgan unlar aralashmalarining sifati baholash uchun mavjud standart: GOST 10847-74 bo'yicha bug'doy va javdardonlarining kuldorligi, GOST 23586.1-68 bo'yicha bug'doy donining kleykovina miqdori va sifati, GOST 27676-88 bo'yicha bug'doy va javdardonlarining tushish soni, AFNOR/ CEN/ISO standarti (ISO 27971:2015) bo'yicha bug'doy va javdardonlarining unboplik xossalari, GOST 26361-84 bo'yicha un oqligi, GOST 27676-88 va GOST ISO 3093-2016 bo'yicha javdar un namunalarining tushish soni [17-20] shuningdek, olingan natijalarni to'liq omilli eksperiment uslubi yordamida qayta ishlash usullarini qo'llagan holda regression tenglamalar ishlab chiqish hamda ularning adekvatligini tekshirish, natijalarni grafo-analitik tahlil etish usullaridan usullardan foydalanildi.

Natijalar va muhokama. Tadqiq uchun tanlangan bug'doy va javdar donlarining yuzasiga quruq ishlov berish jarayonlarini o'rganish uchun laboratoriya oqlash mashinasidan foydalanildi. Bug'doy va javdar donlarining va ularning qobiqlarini tozalash bo'yicha tadqiqotlar 1-rasmda ko'rsatilgan

quvvati 6-10 kg/soat (sutkasiga 240 kg gacha) bo'lgan LShU laboratoriya uskunasi olib borildi. Mazkur laboratoriya uskunasi texnik tavsifi:

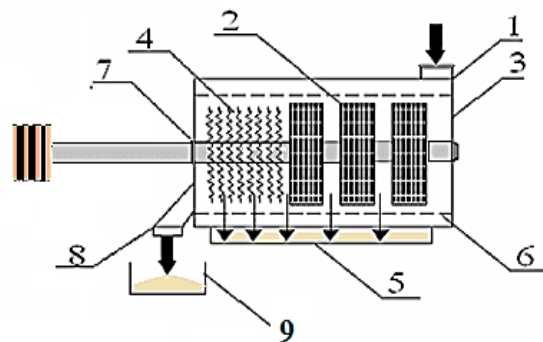
quvvati - 10 kg / soat;

donni oqlash qurilmasida islov berish muddati 50 – 70 va 90 sekund;

elak tsilindri va metall cho'tkalar orasidagi ishchi masofa - 10 mm, uzunligi - 620 mm;

temir cho'tka barabanining aylanish chastotasi - 600, 800 va 1000 aylanish/minut.

Ushbu tadqiqotlarda olingan natijalar quyidagi 1-5 jadvallarda keltirilgan. Bug'doy va javdar donlari aralashmasining sinuvchanlik ko'rsatkichi ularni alohida oqlash namunalarga nisbatan biroz kamni tashkil etgan. Bunda xulosa qilish mumkinki ushbu laboratoriya uskunasi oqlashning boshqa ko'rsatkichlarga ta'sirini xam tajribaviy tahlil etish maqsadga muvofiq. Buning uchun dastlab uskunaning kinematik parametrining va oqlash davomiyligining samaradorlik mezonlariga ta'sirini tahlil etish rejalashtirildi. Bug'doy va javdar donlarining turli nisbatdagi aralashmalarining oqlash davomiyligiga, namlikka va rotorning aylanish chastotasiga (600, 800 va 1000 ayl/min) bog'liqligi taklif etilayotgan uskunasi tajribaviy o'rganildi.



1-rasm. Laboratoriya sharoitida donlarni oqlash jarayonini o'rganish uchun laboratoriya qurilmasi.

1 - donni qabul qilish; 2 - oqlovchi disk; 3 – korpus; 4 - chotka disk; 5 - chiqindilar uchun bunker; 6 - oqlangan donlarni elash uchun elak; 7 – don chiqishini tartibga soluvchi to'siq; 8 - oqlangan don chiqish kanali; 9 - oqlangan don uchun sig'im;

1 - jadval.

Bug'doy va javdar donlarini oqlash uskunasi kinematik parametrining va oqlash davomiyligining samaradorlik mezonlariga ta'sirini tahlili (50 soniya)

№	Aylanish tezligi, t/min	Namlik, %	Donli aralashmasi, (4,5:05) nisbatta			Donli aralashmasi, % (4:1) nisbatta			Donli aralashmasi, % (3,5:1,5) nisbatta		
			Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,
1	600	9	0,27	0,34	3,8	0,275	0,36	3,9	0,29	0,39	4,2
	800		0,29	0,38	4	0,31	0,44	4,2	0,33	0,50	4,3
	1000		0,30	0,46	4,1	0,32	0,52	4,4	0,36	0,61	4,8
2	600	10	0,28	0,35	3,7	0,29	0,37	3,7	0,30	0,38	3,40
	800		0,27	0,34	3,28	0,27	0,341	3,282	0,29	0,37	3,9
	1000		0,29	0,36	3,9	0,30	0,44	3,41	0,33	0,55	3,6
3	600	11	0,29	0,35	3,9	0,32	0,37	4,2	0,35	0,45	4,7
	800		0,295	0,39	3,12	0,31	0,43	3,4	0,35	0,49	3,9
	1000		0,31	0,41	3,18	0,34	0,45	3,27	0,36	0,62	3,33
4	600	14	0,29	0,40	3,14	0,35	0,44	3,19	0,37	0,49	3,21
	800		0,31	0,43	3,15	0,37	0,46	3,25	0,38	0,51	3,28
	1000		0,33	0,48	3,18	0,38	0,51	3,27	0,4	0,58	3,35

2-jadval.

Bug'doy va javdar donlarini oqlash uskunasiining kinematik parametrining va oqlash davomiyligining samaradorlik mezonlariga ta'sirini tahlili (70 soniya)

№	Aylanish tezligi, t/min	Namlilik, %	Donli aralashmasi, (4,5:05) nisbatta			Donli aralashmasi, % (4:1) nisbatta			Donli aralashmasi, % (3,5:1,5) nisbatta		
			Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish, %	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,
1	600	9	0,28	0,36	3,9	0,28	0,39	3,9	0,29	0,40	4,5
	800		0,30	0,39	4,8	0,34	0,45	4,4	0,35	0,53	4,4
	1000		0,31	0,47	4,2	0,33	0,54	4,7	0,37	0,65	4,9
2	600	10	0,29	0,35	3,7	0,29	0,35	4,0	0,32	0,59	3,45
	800		0,27	0,35	3,27	0,27	0,33	3,27	0,3	0,36	3,8
	1000		0,30	0,37	4,2	0,34	0,47	3,46	0,35	0,57	3,7
3	600	11	0,32	0,39	4,4	0,36	0,39	4,8	0,37	0,56	4,8
	800		0,29	0,39	3,15	0,35	0,44	3,4	0,34	0,49	3,9
	1000		0,34	0,41	3,19	0,36	0,46	3,3	0,37	0,61	3,6
4	600	14	0,32	0,42	3,16	0,37	0,47	3,4	0,38	0,57	3,7
	800		0,33	0,46	3,18	0,38	0,48	3,5	0,39	0,59	3,6
	1000		0,35	0,49	3,19	0,39	0,51	3,7	0,42	0,70	3,39

3-jadval

Bug'doy va javdar donlarini oqlash uskunasiining kinematik parametrining va oqlash davomiyligining samaradorlik mezonlariga ta'sirini tahlili (90 soniya)

№	Aylanish tezligi, t/min	Namlilik, %	Donli aralashmasi, (4,5:05) nisbatta			Donli aralashmasi, % (4:1) nisbatta			Donli aralashmasi, % (3,5:1,5) nisbatta		
			Kul miqdorini kamaytirish,	Singav donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish,	Singav donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish,	Singav donlar,	Ajralgan qobiq,
1	600	9	0,29	0,37	3,9	0,285	0,4	4	0,31	0,40	4,6
	800		0,32	0,4	4,6	0,34	0,44	4,6	0,36	0,53	4,7
	1000		0,34	0,48	4,4	0,33	0,55	4,9	0,38	0,65	5
2	600	10	0,32	0,36	3,8	0,29	0,35	4,1	0,32	0,59	3,9
	800		0,31	0,37	3,28	0,28	0,34	3,3	0,31	0,37	4
	1000		0,33	0,39	4,4	0,33	0,37	3,46	0,33	0,52	4,1
3	600	11	0,335	0,4	4,5	0,37	0,39	4,9	0,35	0,57	4,6
	800		0,32	0,42	3,2	0,39	0,45	3,9	0,36	0,58	4,3
	1000		0,35	0,45	3,3	0,40	0,47	3,7	0,38	0,65	3,9
4	600	14	0,33	0,43	3,14	0,38	0,48	3,8	0,39	0,58	3,9
	800		0,35	0,47	3,17	0,39	0,49	3,9	0,4	0,60	4,5
	1000		0,37	0,5	3,2	0,41	0,53	4,1	0,42	0,72	4,8

1-3 - jadvallarda keltirilgan tajribalar natijalaridan ko'rinadiki, bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmasining 10% namlikda va taklif etilayotgan oqlovchi uskuna rotori tezligining 800 ayl/daqiqada ishlov berishda sinuvchanlik hamda kuldorlik ko'rsatkichlari pasayishini ko'rsatadi. Bundan xulosa qilish mumkinki, bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmasi hamda uning 10% namlikda taklif etilayotgan oqlovchi uskuna rotori tezligining 800 ayl/daqiqada maksimal samaradorlikka erishiladi. Ammo donlar aralashmasi yuzasiga quruq ishlov berishda samaradorlikning ishlov berish vaqt davomiligiga ta'sirini qiyosiy tahlil etish uchun oqlovchi uskuna rotori tezligining 800 /mn va 10% namlikdagi natijalarni 4-jadvalga keltirildi.

4 - jadval

Bug'doy va javdar donlarini namligining oqlash samaradorligiga ta'siri
(800/min 50-90 soniyalar orasidagi farq)

№	soniyalar orasidagi farq	Namlik, %	Donli aralashmasi, (4,5:05) nisbatta			Donli aralashmasi, % (4:1) nisbatta			Donli aralashmasi, % (3,5:1,5) nisbatta		
			Kul miqdorini kamaytirish,	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish,	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,	Kul miqdorini kamaytirish,	Singan donlar,	Ajralgan qobiq,
1	50	10	0,27	0,34	3,28	0,28	0,34	3,28	0,29	0,37	3,9
2	70	10	0,27	0,35	3,27	0,27	0,33	3,27	0,3	0,36	3,8
3	90	10	0,31	0,37	3,28	0,29	0,35	3,3	0,31	0,37	4

4 - jadvalda keltirilgan natijalardan ko'rinadiki, bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmasiga taklif etilayotgan oqlovchi uskuna rotori tezligining 800 ayl/daqiqada va 70 soniya davomida uning yuzasiga quruq ishlov berish maksimal samaradorlikka erishishi imkoniyatini bergan. Shuning uchun ushbu tajriba natijalarining maydalash jarayoniga ta'sirini tajribaviy tahlil etish, uning bug'doy va javdar donlari aralashmasini navli un tortishga tayyorlashdagi ahamiyatini yanada oshirishi sababli, tadqiqot davomida un tortishga ta'sirini xam tajribaviy o'rganishni taqazo etdi. Bug'doy donini oddiy va navli un tortishga tayyorlash shuningdek, javdar donini navli un tortishga tayyorlashda urib-sidiruvchi mashinalar gidrotermik ishlov berishdan oldin o'rnatiladi. Bug'doy donidan navli un tortishda urib-sidiruvchi mashinalar gidrotermik ishlov berishdan oldin va keyin ham o'rnatiladi.

Respublikamizda faoliyat yuritayotgan "Don xalq-rizqi" AJ korxonasida tadqiqot uchun tanlangan bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalari yuzasiga quruq ishlov berish uchun gorizont va vertikal turlaridagi oqlash uskunalarining pasportida keltirilgan yuklama asosida hamda laboratoriya sharoitida taklif etilayotgan uskunada tajribalar olib borilib, oqlash samaradorligining un chiqish unumiga va sifatiga ta'siri o'rganildi. Tajribalardan olingan natijalar 5 - jadvalda keltirilgan.

5 - jadval

Mahalliy bug'doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalari yuzasiga quruq ishlov berishning donning sinishiga, kuldorligiga, un unumi va sifatiga ta'siri

Don yuzasiga quruq ishlov beruchi uskuna rusmi	Ko'rsatkichlari					
	Donni dastlabki namlik va kuldorligi, %	Singan don miqdori, %	Kuldorlligi, %	Un chiqishi, %	Un rang birligi	Un kuldorligi, %
RZ-BMO-6	W-8,9%, Z-1,93	1,64	1,84	75,3	52	0,59
RZ-BGO-6	W-8,9%, Z-1,93	1,42	1,82	76,1	53	0,56
Taklif etilgan uskuna	W-8,9 %, Z-1,93	1,28	1,79	76,6	54	0,53

5 - jadvaldan ko‘rinadiki, mahalliy bug‘doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlashda taklif etilgan don yuzasiga ishlov beruvchi uskunada singan don miqdori RZ-BMO-6 va RZ-BGO-6 uskunalarinikiga nisbatan mos ravishda 0,05 va 0,12 % ga, kuldorligi esa 0,03 va 0,06 % ga kamaygan. birlikka yaxshilanganligi kuzatildi.

Xulosa. Bug‘doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmasini navli un tortishga tayyorlash uchun uning yuzasiga ishlov berishning gidrotermik ishlov berishga ta’siri o‘rganilganda ma’lum bo‘ldiki, don kuldorligining pasayishi suvning sorbsiyalanishini oshirib, singan donning kamayishini va donlararo namlikning bir xilligini ta’minlaydi. Shunday qilib, tajribadan xulosa qilish mumkinki, taklif etilgan don yuzasiga ishlov beruvchi uskuna quruq iqlim sharoitida etishtirilgan mahalliy bug‘doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlash uchun gidrotermik ishlov berish jarayonini jadalashtirish natijasida un chiqish unumi va sifatining ortishiga olib kelishi aniqlandi. Ushbu tadqiqotlar natijalari taklif etilayotgan don yuzasiga quruq ishlov berish uskunasi bug‘doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlashda samaraliroq hamda texnologik jihatdan muhim ahamiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Shuning uchun keying tadqiqotlarda bug‘doy va javdar donlarining 4:1 nisbatdagi aralashmalarini navli un tortishga tayyorlashda ularning yuzasiga quruq ishlov berishning tayor mahsulotning novvoylik xossalariga ta’sirini tahlil etish maqsadga muvofiqligi o‘rganildi.

Adabiyotlar

- [1]. Ravshanov S., Ismatov N., Yo‘ldasheva Sh. Un va yorma ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyalari. Toshkent.: “Navro‘z”. 2018. 363 b.
- [2]. Kandrov R., Begeulov, M. & Tkach, A. & Igonin, V. & Porechnaya, E.. (2021). New varieties of wheat, triticale and spelt grains: Comparative characteristics of milling properties. Vestnik MGTU. 24. 299-305. 10.21443/1560-9278-2021-24-3-299-305.
- [3]. Berezina, Natalia & Kusova, Irina & Kandrov R. & Ryndin, Aleksandr & Alekseevich, Aleksandr. (2021). Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. Bi-omed. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. 39. 10.26717/BJSTR.2021.39.006305.
- [4]. Miranda N Smit, Xun Zhou, José L Landero, Malachy G Young, Eduardo Beltranena, Increasing hybrid rye level substituting wheat grain with or without enzyme on growth performance and carcass traits of growing-finishing barrows and gilts, *Translational Animal Science*, Volume 3, Issue 4, July 2019, Pages 1561–1574, <https://doi.org/10.1093/tas/txz141>.
- [5]. Zaynobiddinov, Muhammad-Zaxiriddin; Dodaev, Kuchkor; and Ravshanov, Suvonkul (2024) "Comparative analysis of the chemical composition and technological properties of local rye grain," chemistry and chemical engineering: Vol. 2022: No. 3, Article 11. DOI: 10.34920/cce2022311. 75-81 p.
- [6]. Кучерявенко И.М. Использование муки, полученной из семян тыквы, в производстве ржано-пшеничных сортов хлеба / И.М. Кучерявенко, О.Л. Вершинина, Е.Н. Киктенко // Сб. студ. научных работ, отмеченных наградами на конкурсах, выпуск 13, часть 1, Краснодар, 2012. - С. 6-7.
- [7]. Кучерявенко И.М. Влияние тыквенного жмыха на качество ржано-пшеничного хлеба / И.М. Кучерявенко, О.Л. Вершинина, Е.Н. Киктенко // Известия вузов. Пищевая технология, - 2012. - №1. - С. 39-40.
- [8]. Иунихина, Е.В. Комплексный подход к управлению качеством хлеба / О.А. Ильина, А.С. Баландина, Е.В. Иунихина // Пищевая промышленность, 2013. - № 2 - С. 14-17.
- [9]. Gómez, Manuel & Pardo, Jose & Oliete, Bonastre & Caballero, P.A.. (2009). Effect of the milling process on quality characteristics of rye flour. Journal of the Science of Food and Agriculture. 89. 470 - 476. 10.1002/jsfa.3475.
- [10]. Sluková M., Jurkaninová L., Švec I., Skřivan P. (2021): Rye – the nutritional and technological evaluation in Czech cereal technology – A review: Grain and flours. Czech J. Food. Sci., 39: 03-08. Czech Journal of Food Sciences, 39, 2021 (1): 03–08 Review <https://doi.org/10.17221/203/2020-CJFS>.
- [11]. Бочкарева Зенфира Альбертовна, Пчелинцева Ольга Николаевна, Белякова Карина Николаевна, и Сагандыкова Сабина Кудайбергеновна. "Сравнительная оценка показателей ржаного хлеба на заквасках спонтанного брожения" Ползуновский вестник, no. 1, 2022, pp. 23-30.
- [12]. Дерканосова, Н.М. Исследование влияния хлебопекарных свойств ржаной муки на динамику накопления усвояемых Сахаров в ЖРЗ [Текст] / Малютина Т. Н // Вестник Белгородского университета потребительской кооперации. - 2005. - X «1. - С. 247 – 250.
- [13]. Sukhostavets, E.N., Bidyuk, D.O. & Chernysh, L.N. (2016). Theoretical aspects of the production of rye products with the addition of starter cultures of spontaneous fermentation. In the collection: Modern problems of commodity science, economics and industry. Materials of the I correspondence International Scientific and Practical Conference. Saratov, November 30, 2016, pp. 262-266.
- [14]. Иванова Е.П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения Диссертация к.с.н. Мичуринск –

- Научкоград РФ, 2016. 152 с.
- [15]. Tegirmonlarda texnologik jarayonlarni tashkillashtirish va yuritish Qoidalari. O'zbekiston Respublikasi qonunchilik to'plami, 2006 y., 22-son, 191 bet.
- [16]. MI Prospects. Early Bird Survey. HGCA. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.hgca.com/media/280544/mi_prospects_vol_7-12-1-.pdf. (Дата обращения 06.06.2020).
- [17]. GOST 10847-74 don. Kuldorligini aniqlash usullari. (1 o'zg).
- [18]. GOST 23586.1-68 don. Bug'doyda kleykovina miqdori va sifatini aniqlash usullari.
- [19]. GOST 26361-84 Un. Oqligini aniqlash usullari.
- [20]. GOCT 27676-88. Bug'doy javdar donlari va ulardan tortilgan novvoylik unlarning tushish sonini aniqlash usullari.

TABIIY GAZ TARKIBIDAN BUTADIYEN-1,3 NI REKTIFIKASIYA VA EKSTRAKSIYA USULIDA AJRATIB OLISH JARAYONINI JADALASHTIRISH

M.X. Ibdullayev¹, O.R. Abdurahmonov², O.Sh. Kodirov³, F.R. Abdulayev¹, Q.A. Jo'rayev

¹Qarshi davlat texnika universiteti

²Buxoro davlat texnika universiteti

³Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universiteti
([Qabul qilindi 22.09.2025 y.](#))

Anatasiya. Kimyo va neft-gaz sanoatida tabiiy gaz asosiy xomashyolardan biri hisoblandi. Tabiiy gazni qayta ishlash orqali qo'shimcha qimmatbaho mahsulotlar olishning iqtisodiy jihatdan tejamkor texnologiya va qurilmalarini ishlab chiqish asosiy maqsad hisoblandi. Rektifikatsiya va ekstraksiya-rektifikatsiya usulida tabiiy gazdan butadiyen-1,3 xomashyosini olish texnologiyasi taklif etilgan. Bu texnologiyaning boshqa texnologiyalardan farqi dastlab rektifikatsiya va ekstraksiya-rektifikatsiya jarayoni amalga oshiriladi. Butadien 1,3 ajratib olish jarayoning yangi usuli va qurilmalari real ishlab chiqarish jarayonida sinovdan o'tkazilgan. Bu jarayonda butadiyen-1,3 xomashyosi hosil qilish tajriba tadqiqotlari amalga oshirilgan.

Kalit so'zlar: 1,3-butadiyen, ekstraktiv rektifikatsiya, piroliz, C4 fraksiyasi, modda almashinuvi, asetonitril,

Abstract. Natural gas is considered one of the main raw materials in the chemical and oil-gas industries. The primary goal was to develop economically efficient technologies and equipment for obtaining additional valuable products through the processing of natural gas. A technology for obtaining butadiene-1,3 raw material from natural gas using rectification and extraction-rectification methods has been proposed. The distinguishing feature of this technology compared to others is that the rectification and extraction-rectification processes are carried out first. New methods and devices for the extraction of butadiene-1,3 have been tested in real production conditions. Experimental studies on the production of butadiene-1,3 raw material were conducted during this process.

Keywords: 1,3-butadiene, extractive rectification, pyrolysis, C4 fraction, substance exchange, acetonitrile,

Аннотация. В химической и нефтегазовой промышленности природный газ считается одним из основных видов сырья. Основной целью является разработка экономически эффективных технологий и устройств для получения дополнительных ценных продуктов путем переработки природного газа. Предложена технология получения сырья бутадиена-1,3 из природного газа методом ректификации и экстракционной ректификации. Отличие этой технологии от других заключается в том, что сначала осуществляется процесс ректификации и экстракционной ректификации. Новый метод и установка для процесса выделения бутадиена-1,3 были испытаны в реальных производственных условиях. В ходе этого процесса были проведены экспериментальные исследования по получению сырья бутадиена-1,3.

Ключевые слова: 1,3-бутадиен, экстрактивная ректификация, пиролиз, фракция C₄, массообмен, ацетонитрил.

Kirish. Dunyo mamlakatlarida ishlab chiqarishining rivojlanishi natijasida energiya va turli xomashyoga bo'lgan talab ortib bormoqda. Yer qaridan qazib olinayotgan neft, tabiiy gaz energiya va asosiy xomashyolardan biri bo'lib qolmoda. Shunga ko'ra neft va tabiiy gazni qayta ishlash orqali tayyor mahsulot va qo'shimcha xomashyo olish jarayon va texnologiyalarni takomillashtirish muhim vazifalar hisoblandi. Ushbu sohaga tegishli sanoat korxonalarini zamonaviy texnologiya va qurilmalar bilan ta'minlash, yangi ishlab chiqarish tarmoqlarni kengatrishni talab etmoqda.

Tabiiy gazni qayta ishlash orqali olinadigan butadiyen-1,3 sentitik kovchik va rezina mahsulotlarning asosiy xomashyosi hisoblandi. Bu xomashyodan mashina shinalari va rezinasimon mahsulotlar ishlab chiqariladi. Ishlab chiqarish tarmoqlarida qo'shimcha rezinasimon mahsulotlar soning ortishi butadiyen-1,3 xomashyosiga bo'lgan ehtiyoj ortmoqda. Shuning uchun butadiyen-1,3 xomashyosini hosil qilishning zamonaviy va resurstejamkor texnologiya va qurilmalarni ishlab chiqishni talab qiladi.

Birlashgan dienlar plastmassa va sintetik kauchuk mahsulotlar olishda polimer hosil bo'lish reaksiyalarida monomer sifatida ishlatiladigan asosiy platformali birikmalar hisoblanadi. Uning asosiy sanoatda qo'llanilishi stirol-butadien kauchuk, polibutadien kauchuk, akrilonitril-butadien-stirol va polikloropren (neopren) ishlab chiqarishda. Bundan tashqari, 1,3-butadien neylon (suniy tola) ishlab chiqarishda yetaklavchi bo'lgan adiponitril ishlab chiqarishda ham rol o'ynaydi. Shuningdek butadiyen-1,3 birikmalar asosan avtomobilsozlik sanoatida ham asosiy xomashyo bo'lib, asosan shinalar, plastmassalar, qurilmalar va boshqa avtomobilning kauchuk qismlarini ishlab chiqarishda qo'llaniladi [1].

Butadien-1,3 asosan etilen va boshqa yengil olefinlarni olish uchun ishlatiladigan nafta yoki gazli bug' kreking jarayonining mahsuloti sifatida neft-kimyo yo'li bilan ishlab chiqariladi. So'nggi yillarda og'irroq fraktsiyalar o'rniga bug' kreking xomashyosi sifatida etandan foydalanish ko'paydi, bu asosiy mahsulot sifatida etilenga olib keldi. Shu sababli, 1,3-butadienning mavjud miqdori kamaygan. Shunga ko'ra, uning talab darajasi yengil va elektr transport vositalariga bo'lgan ehtiyojning ortishi tufayli avtomobil sanoatining hozirgi rivojlanishi natijasida yiliga 1-4% ga oshishda davom etmoqda. 1,3-butadienga bo'lgan bu talab hozirgi neftni qayta ishlash zavodlarining quvvati bilan qondirilmaydi. Hozirgi kunda global 1,3-butadien talabi Osiyo-Tinch okeani mintaqasiga ko'chgan bo'lib, bu mintqa dunyodagi 1,3-butadien ishlab chiqarish va iste'molining taxminan 50 foizini tashkil qilgan [2].

Shuningdek butadien-1,3 ni olishda katalizatorni qo'llashning muhim jihati 1,3-butadien selektivligini maksimal darajaga yetkazish, boshqa mahsulotlarning hosil bo'lishini kamaytirish. Shuningdek koks qatlamining to'planishi tufayli katalizatorning ishdan chiqishini minimallashtirish, optimal kislotali va asosli markazlarni taqsimlashdan iborat. So'nggi yillarda ba'zi katalizatorlar eski tijorat katalizatorlaridan ancha yuqori samaradorlik ko'rsatib, 1,3-butadien selektivligini 90% gacha oshirishga muvaffaq bo'lgan.

Jahonda kimyo va gaz-kimyosi sanoatida butadienni ajratib olish texnologik tizimlarida modda almashinuv jarayonlarini samarali tashkil etish katta ahamiyatga ega. Jarayon samaradorligini oshirish bilan bog'liq bo'lgan muammolarni hal qilish energiya sarfini kamaytirish, mahsulot sifatini yaxshilash, ishlab chiqarish quvvatlarini oshirish imkoniyatlarini beradi. Shuningdek, ekologik talablarga javob beradigan innovatsion texnologiyalarni joriy qilish, chiqindi gazlar va boshqa zararli komponentlarni kamaytirish orqali ekologik xavfsizlikni ta'minlash bugungi kunda strategik vazifa hisoblanadi. Mazkur tadqiqotning zaruriyati shundan iboratki, piroliz mahsulotlari tarkibidan butadienni samarali ajratib olish texnologik jarayonini jadallashtirish va modda almashinish jarayonlarini optimallashtirish uchun yangi usullarni ishlab chiqish sanoatda resurs tejash va yuqori samaradorlikka erishishga katta e'tibor berilmoqda. Kimyo va gaz-kimyosi sanoatining asosiy yo'nalishlaridan biri polimer materiallar hamda sintetik kauchuk mahsulotlarini ishlab chiqarish hisoblanadi. Ushbu jarayonda birlashgan dienlar ichida 1,3-butadien alohida ahamiyat kasb etib, u sintetik kauchuk, qatronlar (smolalar) va elastomerlar ishlab chiqarishda

muhim xomashyo hamda monomer sifatida keng qo'llaniladi. Shuningdek, 1,3-butadien kimyoviy qidiruv mahsulotlari sifatida polimerizatsiya jarayonlarida asosiy platformali birikma vazifasini bajaradi.

Taqiqot metodlari. Yer yuzida hududlarning geografik joylashishiga qarab yer qaridan qazib olinayotgan neft va gazning tarkibi turlicha bo'ladi. Shunga ko'ra Butadien 1,3 olish texnologiyasi qayta ishlandigan xomashyo neft va gaz tarkibiga bog'liq bo'ladi. Butadien 1,3 olishning bir qancha usullari mavjud. Butadienni maxsus sintez qilish n-butan degidrogenlash orqali, etanoldan yoki normal butenlarning katalitik degidrogenlanishi bilan amalga oshirilishi mumkin. Biroq sanoat miqyosida uning ishlab chiqarilishi deyarli to'liq etilen ishlab chiqarish jarayonida (bug'li kreking jarayoni orqali) hosil bo'ladigan qo'shimcha mahsulot sifatida amalga oshiriladi [3]. Ushbu jarayonda aralash C_4 uglevodorodlarini bug' yordamida haydash oqimi holsil bo'ladi. C_4 uglevodorodlar aralashmasi oqimidan butadienn ajratib olnadi. C_4 fraksiyasidagi komponentlarning qaynash haroratlari bir-biriga juda yaqin bo'lgani sababli, an'anaviy distillatsiya yordamida 1,3-butadienni talab qilinadigan darajada ajratish va tozalash amalda samarasiz hisoblanadi [4]. Ammo C_4 fraksiyasidagi komponentlarga N-metil-2-pirrolidon, dimetilformamid va asetonitril kabi qutbli erituvchilarni qo'shish orqali turlicha eruvchanlikka ega mahsulot oqimi hosil bo'ladi. Bu aralashmadan distillatsiya orqali butadienni samarali ajratish imkoniyatini beradi. Turli uglevodorodlarning qutbli erituvchiga moyilligi ularning to'yinmaganlik darajasiga bevosita bog'liq bo'lib, yuqori darajada to'yinmagan uglevodorodlar bunday erituvchilarda yaxshiroq eriydi [11]. To'yinmagan uglevodorodlarga kerakli ekstragent aralashtirib, distillatsiya qilinganda kerakli komponentlarni qaynash haroratida toza to'yingan holatda ajratishga imkon bo'ladi [12]. 1,3-Butadienni C_4 fraksiyasining dastlabki tarkibidan ajratish va tozalash uchun turli kompaniyalar tomonidan ishlab chiqilgan bir nechta sanoat texnologiyalari mavjud. Ushbu texnologiyalarning ko'plab umumiy jihatlari mavjud, ammo ular asosan ekstraktiv distillatsiya uchun qo'llaniladigan erituvchi – massaviy ajratuvchi modda bilan farqlanadi. Hozirgi zamonaviy butadien 1,3 N-metil-2-pirrolidon yoki dimetilformamid jarayonlari qo'llaniladi. Aynan shu ikki texnologiya C_4 fraksiyasidagi komponentlarning nisbiy uchuvchanligini samarali oshirish qobiliyati bilan ajralib turadi. Ular qo'llaydigan erituvchilar ekologik jihatdan eng qulay hisoblanadi (ekstraktiv ajratish texnologiyalari ichida) va erituvchilar uglevodorodlar bilan azeotroplar hosil qilmaydi, bu esa erituvchini qayta tiklashni osonlashtiradi [11].

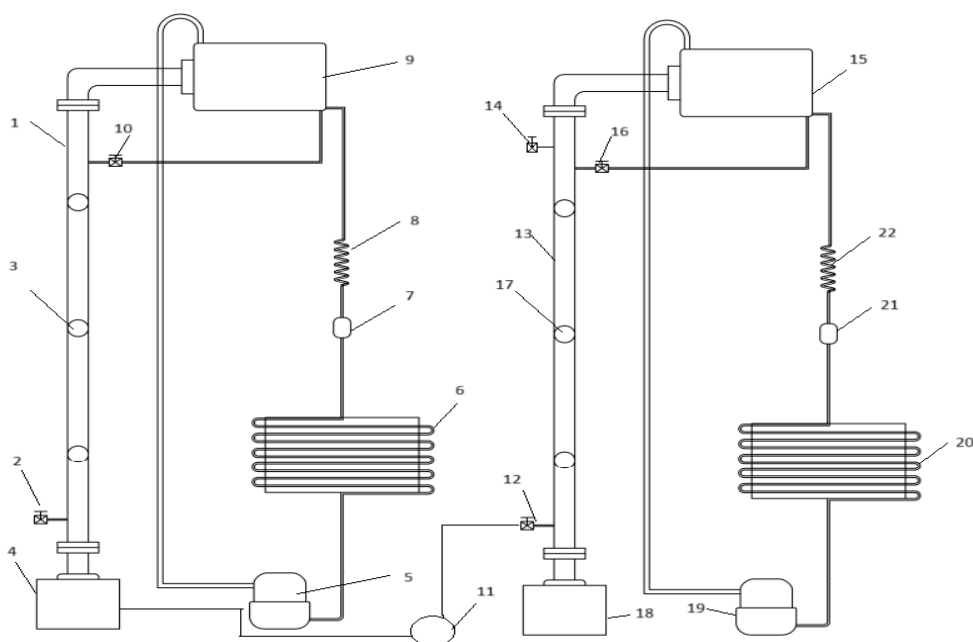
Rektifikatsiya va Ekstraksiya usulda butadien 1,3 olish turli geografik joylashiviga qarab yerdan qazib olingan neft-gaz xomashyosidan hosil bo'lgan tuyinmagan uglivodorni rektifikatsiya usulda haydab qo'shimcha yengil uchuvchi uglivodorodlardan tozalab olinadi. Bu yerda kup qoldig'i sifatida qolgan mahsulotga ekstarksiya jarayoni orqali qo'shimcha erituvchi aralashtiriladi. Erituvchi aralashtirilgan mahsulota butadien 1,3 tuyinish darajasi yuqori bo'ladi va maxsus tayyorlangan sovitish darjasi yuqori bo'lgan rektifikatsiayon kalonna yordamida ajratib olnadi. Bu taklif etilayotgan usul boshqa usullardan farqi asosiy xomashyoni dastlab rektifikatsiya va qilinib keyin ekstraktiv-rektifikatsiya qilinadi. Bu usulda 90 % gacha toza butadien 1,3 hosil qilingan.

Natijalar va Muhokama. Ushbu ilmiy ishda butadien 1,3 ni ajratib olish uchun ikki xil jarayon va qurilmalarni bir-birga kombinatsiyalashtirilgan. Bunda ikkita rektifikatsion kollonna ishtirok etadi va $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha sovitish tizimi mavjud. Rektifikatsion kolonnalarda yuqori qismidan chiqqan bug'dholatdagi moddalarni soviq haroratda suyuqlikka aylantirib ajratib olinadi.

Turli geografik hududga bog'liq yerdan qazib olinayotgan neft-gaz tarkibida butadiene 1,3 ning miqdori turlicha bo'ladi. Shunga ko'ra, biz taklif etayotgan butadien 1,3 ni ajratib olish usuli O'zbekiston Respublikasi Shurtan gaz kimyo majmuasida sinovdan o'tkazilgan. Shurtan gaz kimyo majmuasida yerdan qazib olinayotgan tabiiy gaz qayta ishlandi. Bu korxonaning etilen ishlab chiqarish bo'limida qoldiq mahsulot sifatida proliz pechidan chiqqan mahsulotdan butadien 1,3 ajratib olish maqsad qilingan. Shurtan gaz kimyo majmuasidan etilan ishlab chiqarish bo'limida proliz pechidan chiqqan mahsulot umumiy tarkibi o'rganilgan.

Dastlabki xomashyoning tarkibi

Komponentlar nomlanishi	Kimyoviy formulasi	Normal qaynash nuqtasi (°C).	Tarkibi (%)
Metan	CH ₄	-161,58	-
Etilen	C ₂ H ₄	-103,74	0.008301
Etan	C ₂ H ₆	-88,6	4.341616
Propilen	C ₃ H ₆	-47,7	17.097872
Propan	C ₃ H ₈	-42,04	4.269149
Metil-atsetilen	C ₃ H ₄	-23,21	0.601190
Propadiyen	C ₃ H ₄	-34,5	0.501976
Izobutan	C ₄ H ₁₀	-11,72	0.004040
1-butene	C ₄ H ₈	-6,24	4.859357
1,3-butadien	C ₄ H ₆	-4,41	40.069826
n-butan	C ₄ H ₁₀	-0,5	5.705214
Trans-2-butene	C ₄ H ₈	0,88	0.651501
Sis-2-butene	C ₄ H ₈	3,72	0.989694
Izobutilen	C ₄ H ₈	-6,9	1.592833
2-pentanol (C ₅ +))	C ₅ H ₁₂ O	119,05	19.307431



1-rasm Rekstifikasiya va ekstarskiaya usulda 1,3-butadien ajratib olish texnologik sxemasi. 1-rektifikatsion kalonna; 2-boshlang'ich aralashma kirishi; 3-kuzatish oynasi; 4-isitgich; 5-kompressor; 6-sovitish tizimining; 7-filtr quritgich, 8-kapliyar naycha, 9-qobiq trubali kondensator; 10-kondensatni chiqish ventili; 11-nasos; 12-ikklamchi aralashma kirish; 13-rektifikatsion kalonna; 14-erituvchining krishi; 15-qobiq trubali kondensator; 16-kondensatni chiqish ventili; 17-kuzatish oynasi; 18-isitgich; 19-kompressor; 20-sovitish tizimining; 21-filtr quritgich; 22-kapliyar naycha.

Dastlabki xomashyoni tarkibi taxlil qilinganda umumiy massa ulushining 40% ni butadien-1,3 tashkil qiladi. Undan keyin 19 % ni 2-pentanol (C₅+) tashkil qiladi. 17 % ni esa Propilen tashkil etadi. Xomashyoni tarkibida yuqori ko'rsatgichda butadien-1,3 mavjudligi bu mahsulot ajratib olish

imkon yuqorligi va iqtisodiy jihatdan foydali ekanligini aytish mumkin. Butadien-1,3 ning qaynash haroratiga yaqin boshqa mahsulotlar bo'lganligi uchun uni ajratib olish bir oz murakkab hisoblanadi. Butadien-1,3 ni ajratib olish uchun yangi usul va qurilmalari o'ylab topilgan. Butadien-1,3 ni ajratib olishda asosiy jarayon sifatida qaralayotgan rektifikatsiya va ektiraksiya jarayonini samarali olib borish uchun rektifikatsion kollonaning yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan. Butadien-1,3 ni ajratib olish jarayonida bir-birga yaqin qaynash haroratiga ega bo'lgan aralashmalarni ajratish uchun ekstraktiv rektifikatsiya jarayoni qo'llaniladi. Biz taklif etgan usulda dastlab rektifikatsiya keyin ekstraktiv-rektifikatsiya jarayoni qo'llaniladi. Bu usulning afzaligi past haroartli rektifikatsiya jarayoni orqali bir-birga yaqin komponentlar ajratib olinadi va qolgan aralashmaga rektifikatsion kalonnaning o'zida erituvchi aralashtirib ajratib olinadi. 1-rasmda butadien 1,3 ajratib olish texnologik sxemasi keltrilgan.

Shurtan gaz kimyo majmuasida etilen ishlab chiqarish bo'limida pech piroliz gazlar tarkibidan 1,3 – butadien ajratish jarayoni quydagicha ketma-ketlikda amalga oshirildi. Boshlang'ich aralashma 1-rectefikatsiya kolonnasiga yuborildi birinchi kalonnada tarelkalar soni 25 ta pastdan 5-tarelkadan aralashma yuborildi. Kalonnaning pastki harorati 25 °C kolonnaning yuqori qismida esa 15 °C da bo'ladi. Qobiq turbali kondensatorda harorat – 5 °C ma'lum bir qancha vaqt mutadil ushlab turiladi va kondesatsiya jaryoni ro'y beradi. Bu jarayonda tuyungan suyuq holatdagi mahsulot ajratib olinadi. Tuyunmagan qismi flegma sifatida birinchi kolonnaga qayta yuboriladi. Butadien 1.3 ning qaynash haroratiga yaqin bo'lgan qismi birinchi kallonada ajratib oladi. Rektifikastion kallonaning pastki qisimidan ko'p qoldiq sifatida qolgan qismi nasos yordamida 2-rectifikastion kalonnaga haydaladi. 2- rektifikastion kalonnaning yuqori qismidan erituvchi quyiladi. Erituvchi yordamida tuyungan butadien-1,3 kalonnaning yuqori qismidan chiqib kondensatorda suyuq holatga kelib ajratib olinadi. Erituvchi modda ko'p qoldiq sifatida kallonaning pastgi qismidan chiqib ketadi. Biz rekatifikatsiya va ekstiraksiya usulda olgan mahsulot tarkibi tekshirilganda unda butadien-1,3 hosil bo'lish miqdori oshgan.

2-jadival

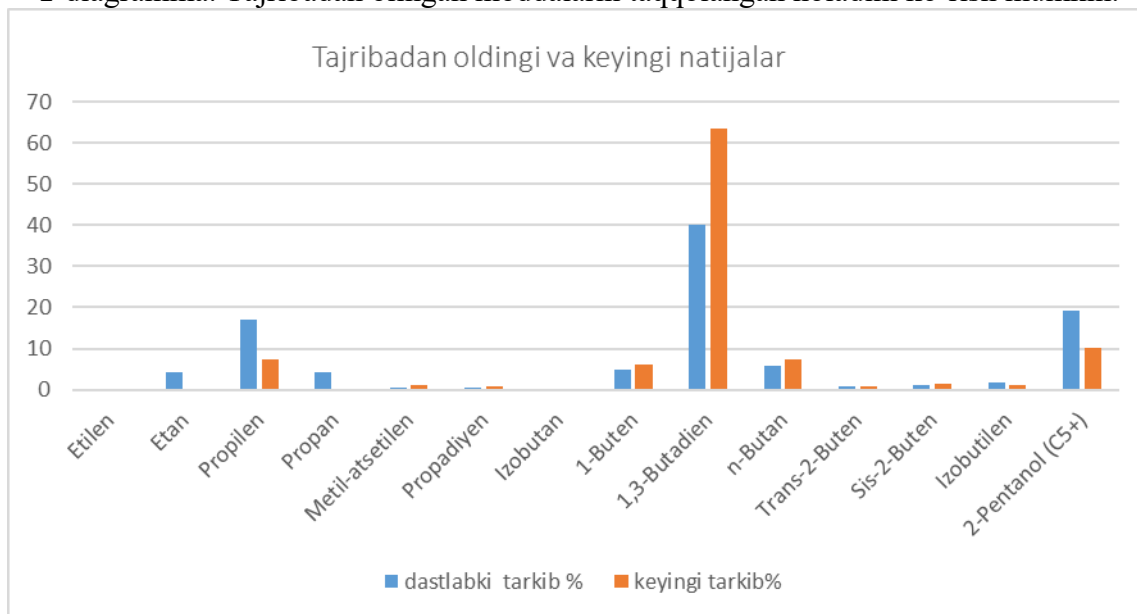
Tajriba qurilmasida hosil qilingan mahsulot tarkibi

Komponentlar nomlanishi	Kimyoviy formulasi	Normal qaynash nuqtasi (°C).	Tarkibi (%)
Metan	CH ₄	-161,58	-
Etilen	C ₂ H ₄	-103,74	-
Etan	C ₂ H ₆	-88,6	0.005615
Propilen	C ₃ H ₆	-47,7	7.306644
Propan	C ₃ H ₈	-42,04	0.301094
Metil-atsetilen	C ₃ H ₄	-23,21	1.189720
Propadiyen	C ₃ H ₄	-34,5	0.710680
Izobutan	C ₄ H ₁₀	-11,72	0.002153
1-butene	C ₄ H ₈	-6,24	6.247611
1,3-butadien	C ₄ H ₆	-4,41	63.635630
n-butan	C ₄ H ₁₀	-0,5	7.260894
Trans-2-butene	C ₄ H ₈	0,88	0.802690
Sis-2-butene	C ₄ H ₈	3,72	1.375119
Izobutilen	C ₄ H ₈	-6,9	1.118658
2-pentanol (C ₅₊)	C ₅ H ₁₂ O	119,05	10.043389

Tajriba asosida olingan ma'lumotlarni tekshirish natijasida butadiene-1,3 ning hosil bo'lish darajasi 63% ni tashkil qiladi. Metan va Etan to'liq ajratib olingan. Aralashmada 2-pentanol (C₅₊) ni miqdori ko'p bo'lganligi sababli uning ajaralish darajasi 10 % ni tashkil qilgan. Propilen, 1-

butene va n-butan kamroq bo'lgan 6-7 % mabjud bo'lib va qolgan moddalar juda kam miqdorda hosil bo'lgan.

1-diagramma. Tajribadan olingan moddalarni taqqolangan holadini ko'rish mumkin.



Ushbu tadqiqot jarayonida olib borilgan kuzatuv va tahlillarga ko'ra, boshlang'ich aralashma ekstraktiv rektifikatsiya qurilmasidan o'tkazilgandan so'ng, piroliz gazlari tarkibidagi 1,3-butadienning miqdoriy foiz ulushi sezilarli darajada ortgani aniqlandi. Dastlabki (kirish) holatda 1,3-butadienning aralashmadagi massaviy konsentratsiyasi 40,07% ni tashkil etgan bo'lsa, ekstraktiv rektifikatsiya jarayonidan keyingi distillat oqimida uning konsentratsiyasi 63,64% gacha oshgan.

Mazkur ajratish jarayoni "Shurtan gaz kimyo majmuasi" hududida real sanoat sharoitida joylashtirilgan bir bosqichli ekstraktiv rektifikatsiya qurilmasida amalga oshirilgan. Rektifikatsiya jarayoni davomida qutbli erituvchi sifatida atsetonitril (CH_3CN) qo'llanilgan bo'lib, u aralashmadagi to'yinmagan uglevodorodlar - xususan, 1,3-butadienni selektiv ravishda ajratib olishda yuqori samaradorlik ko'rsatgan.

Ushbu texnologik yechim modda almashinuvi samaradorligini oshirish, shuningdek, butadienning ajralish darajasini yaxshilashga xizmat qiladi. Jarayonning optimal parametrlarida - bosim, harorat va kontakt bosqichlari (tarelka soni) - aniqlik bilan nazorat qilingan. Natijada, 1,3-butadienning distillat tarkibidagi foiz ulushi taxminan 1,6 barobar oshirilgan, bu esa sanoat miqyosidagi ajratish jarayonining yuqori darajada samarali tashkil etilganligini ko'rsatadi.

Xulosalar. Yerdan gazib olinayotgan neft-gaz olinayotgan xomashyolarni qimmatbaho mahsulotga aylantirish borasida ilmiy izlanishlar olib borilgan. Shunga ko'ra, butadiene-1,3 ni ajratib olish maqsad asosida O'zbekiston Respublikasi Shurtan gaz kimyo majmuasida ishlab chiqarish jarayonida sinovga quyilgan. Butadien-1,3 ni mavjud xomashyo tarkibidan ajratib olishning yangi usul va qurilmalar yordamida ajratib olishga erishilgan. Komponentlarning qaynash haroratlari bir-biriga juda yaqin bo'gan suyuq aralashmalarni ajratish juda qiyin vazifa hisoblanadi. Butadien-1,3 ajratib olishining bu usulda boshqa usullardan farqi haqiqiy real ishlab chiqarish jarayonida yangi kombinatsiyalangan jarayon va qurilmalar qo'llanilgan. Boshlang'ich aralashmani dastlab rektifikatsiya keyingi bosqichda esa ekstraktiv-rektifikatsiya jarayoni orqali 63 % butadiene-1,3 ajratib olishga erishilgan.

Adabiyotlar

- [1]. S.M.Turobjonov., O.G'. Azimov., B.O.Obidov., M.A.Eshmuhamedov., U.A.Ziyomuhamedov. // Neftkimyoviy sintez // "Fan va texnologiya" 2015, 160 bet
- [2]. E. V. Makshina, M. Dusselier, W. Janssens, J. Degre've, P.A. Jacobs, B.F. Sels, Review of old chemistry and new catalytic advances in the on-purpose synthesis of butadiene, Chem. Soc. Rev. 43 (2014) 7917–7953. doi:10.1039/C4CS00105B.

- [3]. D. Cespi, F. Passarini, I. Vassura, F. Cavani, Butadiene from biomass, a life cycle perspective to address sustainability in the chemical industry, *Green Chem.* 18 (2016) 1625–1638. doi:10.1039/C5GC02148K.
- [4]. S. Farzad, M.A. Mandegari, J.F. Görgens, Integrated techno-economic and environmental analysis of butadiene production from biomass, *Bioresour. Technol.* 239 (2017) 37–48. doi:10.1016/j.biortech.2017.04.130.
- [5]. R.E.N. Members, Renewables 2019 Global Status Report, 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN> 2019.
- [6]. G. Pomalaza, M. Capron, V. Ordonsky, F. Dumeignil, Recent Breakthroughs in the Conversion of Ethanol to Butadiene, *Catalysts*. 6 (2016) 203. doi:10.3390/catal6120203.
- [7]. European Commission, A clean planet for all. A European strategic longterm vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy., (2018).
- [8]. S. Shylesh, A.A. Gokhale, C.D. Scown, D. Kim, C.R. Ho, A.T. Bell, From Sugars to Wheels: The Conversion of Ethanol to 1,3-Butadiene over MetalPromoted Magnesia-Silicate Catalysts, *ChemSusChem*. 9 (2016) 1462–1472. doi:10.1002/cssc.201600195.
- [9]. G. Pomalaza, M. Capron, V. Ordonsky, F. Dumeignil, Recent Breakthroughs in the Conversion of Ethanol to Butadiene, *Catalysts*. 6 (2016) 203. doi:10.3390/catal6120203.
- [10]. Q. Zhu, B. Wang, T. Tan, Conversion of Ethanol and Acetaldehyde to Butadiene over MgO–SiO₂ Catalysts: Effect of Reaction Parameters and Interaction between MgO and SiO₂ on Catalytic Performance, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 5 (2017) 722–733. doi:10.1021/acssuschemeng.6b02060.
- [11]. M. Zhang, X. Tan, T. Zhang, Z. Han, H. Jiang, The deactivation of a ZnO doped ZrO₂–SiO₂ catalyst in the conversion of ethanol/acetaldehyde to 1,3- butadiene, *RSC Adv.* (2018). doi:10.1039/C8RA06757K.

ОҚҚАН ДАРЁ ОҚАВЕРАДИ

И. Тўхтаров

Фарғона давлат техника университети
(Қабул қилинди 28.08.2025 й.)

Аннотация. Мақолада илм-фан ва маънавиятнинг жамият тараққиётининг муҳим омилларидан бири сифатидаги ўрни ва аҳамияти тўғрисида фикр юритилган. Хусусан, бугунги кунда Марказий Осиё тараққиётида кенг эътироф этилган Биринчи ва Иккинчи Ренессанс даври вакилларининг жаҳон илм-фани тараққиётига қўшган буюк ҳиссалари ва уларни пухта ўрганиш юртимизда Учинчи Ренессанс пойдеворини яратишнинг замини эканлиги асослаб берилган. Ушбу мантиқ ёрдамида муаллиф ўқувчида оққан дарё доимо оқаверишига ишонч уйғота олган.

Калим сўзлар. Ренессанс, Янги Ўзбекистон, фан ва маданият, маънавият, тараққиёт стратегияси, мустақиллик, Учинчи Ренессанс ва Ўзбекистон истиқболи.

Аннотация. В статье речь идет о роли науки и духовности, как об одном из важнейших факторов развития общества. В частности, в ней обосновано всестороннее изучение бесценного духовного наследия представителей эпох Первого и Второго Ренессансов как основа возрождения Третьего Ренессанса в Новом Узбекистане. На основе этой логики автор статьи хочет убедить читателя в том, что живые реки никогда не перестанут течь.

Ключевые слова. Ренессанс, Новый Узбекистан, наука и культура, духовность, стратегия развития, независимость, Третий Ренессанс и будущее Узбекистана.

Abstract. The article discusses the role of science and spirituality as one of the most important factors in the development of society. In particular, it substantiates the comprehensive study of the priceless spiritual heritage of the representatives of the First and Second Renaissance eras as the foundation for the revival of the Third Renaissance in New Uzbekistan. Based on this logic, the author seeks to convince the reader that living rivers will never cease to flow.

Keywords: Renaissance, New Uzbekistan, science and culture, spirituality, development strategy, independence, Third Renaissance, the future of Uzbekistan.

Жамият тараққиёти муаммолари одамзотни қадим-қадимдан қизиқтириб келган. Зеро, муаммалликка интилиш инсон зотида хос энг муҳим ва ҳаётий зарурият. Одам зоти борки, ҳар қачон бугунги кундан кўра эртага яхшироқ яшагиси, тўкинроқ умргузаронлик қилгиси келади. Шу боис бунга эришиш йўллари ва муаммолари одамзотни бутун тарихи давомида ҳамиша ўйлантириб келган азалий ташвишларидан биридир. Табиийки, турли даврларда ушбу муаммо бўйича турлича ечимлар топиш учун уринишлар ҳам беҳисоб бўлган. Бу уринишларнинг умумий мақсад учун қанчалик даражада хизмат қилганлигидан кўра, одамзот учун энг муҳими ўтаётган умридан қоникмаслик ва шунинг учун бунинг энг самарали ечимини топиш учун астойдил уринганлиги бўлган, дейиш тўғрироқ бўлади. Кекса тарих худди ана шундан гувоҳлик беради. У билан яқиндан танишиш тараққиётни тезлаштириш учун шахсларнинг ролини кўтаришдан тортиб, инқилобий саъй-ҳаракатлар ёрдамида кескин ўзгаришларни амалга оширишгача бўлган хилма-хил ёндашувларни инсоният кўп марталаб бошдан ўтказганлигини яққол тасдиқлайди.

Гарчи, жамият тараққиётига таъсир эта олган омиллар амалда жуда кўп бўлса-да, уларнинг орасида инсониятни илгариланма ривож ва равнақи учун мислсиз аҳамият касб этадиган бир омил борки, уни эътибордан соқит қилиш маълум маънода бу тараққиётни анчайин жўн тушунишдан бошқа нарса эмас. Бу ўринда гап инсон ақли ва тафаккури ёрдамида яратиладиган илмий ғоя ва назарияларнинг жамият тараққиётидаги роли ҳақида бормоқда. Чунки “айни бир халқ салоҳиятининг улкан натижаси бўлган бу каби оламшумул ютуқлар...инсоният тарихининг ёрқин саҳифаларига айланади, дунё цивилизацияси тараққиётига катта туртки беради” [1;5]. Мамлакатимиз раҳбари бугунги кунда Янги Ўзбекистон тараққиётида Учинчи Ренессанс пойдеворини яратиш зарурлигини кун тартибига жиддий тарзда қўйишаётганлиги ҳам худди шу ана шунда.

Узоқ мозийга назар ташлаш, бизнингча, фикримизни тасдиқлаш учун кўплаб ёрқин мисолларни келтириш имконини беради. Хусусан, Архимеднинг чўмилиш баҳонасида топган бирон идишга тўлдирилган суюқликка ботирилган жисмнинг ўз ҳажмига тенг бўлган суюқликни сиқиб чиқариши тўғрисидаги қонуни асрлар мобайнида инсоният тараққиёти учун беминнат хизмат қилиб келмоқда. Пифагор ўзининг тўғри бурчакли учбурчак учун машхур теоремасини кашф қилмаганида бугунги замонавий қурувчи ҳам қурган биносининг томини ёпа олмасдан бошини чангаллаб юриши тайин эди. Антик даврдаёқ Аристотель кашф қилган тафаккурнинг тўрт қонуни ҳамон инсонларни изчил мантикий фикрлаш ва сўзлашга ўргатиб келаётганлиги ушбу “Биринчи муаллим” даҳосидан ҳайратланмаслик мумкин эмаслигига яққол далил.

Не бахтки, дунё тамаддунига бешик бўла олишга даъвогар заминимиздан етишиб чиқиб, илм-фан ривожига буюк ҳисса қўшган мутафаккирлар бизнинг она юртимизда ҳам тарихнинг барча даврларида фаолият кўрсатиб келганлиги бугунги авлод учун ниҳоятда фахрлидир. Чунончи, бугун дунёда Алфраганус номи билан машхур бўлган Аҳмад Фарғоний (797-861 йй.) нинг фалакиётшунослик бобидаги илмий қарашлари фақат назарий мушоҳадалар маҳсулигига бўлиб қолмасдан, балки бевосита тадқиқот ва кузатувлар олиб борилиши натижасида, қайта-қайта синов ва солиштиришлар оқибатида ҳосил қилинган оламнинг илмий манзараси тўғрисидаги ғоят ишончли маълумотларидан ҳам иборат бўлиб, ҳамон дунё олимларининг катта қизиқишини уйғотиб келмоқда.

Шунингдек, Аҳмад Фарғонийнинг Нил дарёси узра сув сатҳини ўлчаш мақсадидаги «Нилометр»ни лойиҳалаш ва уни қуриш билан боғлиқ фаолияти, ундан амалда фойдаланишни йўлга қўйишдаги саъй-ҳаракатлари, бу йўлда сарфлаган илмий салоҳияти ва билими ҳам бекиёс таҳсинга сазовор бўлиб, буюк мерос бўлиб қолган ушбу ўта мукаммал сув ўлчаш иншооти айни кунда нафақат араб халқи, балки бутун инсоният ўтмиш маданиятининг қадимий ноёб ёдгорлиги сифатида авайлаб асраб сақлаб келинмоқда. Фан ва маданият тарихида бундай ўчмас из қолдирган ватандошимиз шаънига миннатдорлик рамзи сифатида ҳозир Миср пойтахтида “Ўзбекия” деб номланган мавзенинг борлиги, Қоҳирада юртдошимиз Аҳмад Фарғонийга ўрнатилган улуғвор ҳайкал салобат тўкиб турганлиги Биринчи Ренессанс даврининг бу буюк вакилига нисбатан чуқур эътироф ва эҳтиром белгисидир.

Шуни алоҳида таъкидлаш жоизки, ватанимиз тарихида муносиб ўрин эгаллаган маънавий уйғониш даврлари фан ва маданият тараққиётига улкан ҳисса қўшган олиму мутафаккирларнинг катта бир сулоласи етишиб чиққанлиги билан эътиборга лойиқдир. Биринчи Ренессанс даврида Муҳаммад Хоразмий, Форобий, Беруний, Ибн Сино кабилар фалсафа, мантиқ, математика, география, фалакиётшунослик, тарих, тиббиёт, доришунослик каби дунёвий илмлар ривожига бекиёс ҳисса қўшганлар. Жумладан, замонавий алгебра фани юртдошимиз Хоразмий номи билан бевосита боғлиқ бўлса, Форобий антик давр фалсафаси ва мантиқ илмини мукаммал ўрганиш, юнон файласуфларининг асарларини таржима қилиш орқали шарқ халқларини батафсил хабардор қилиш билан бирга оригинал асарлар яратиш, ўз даври фанларини янада ривожлантириш соҳалари ривожига қўшган катта ҳиссаси эвазига “Иккинчи устоз” дея ном қозонди. Айнан шу даврда Абу Райҳон Берунийнинг илмий ҳулосаси туфайли бутун инсоният Ернинг шар шаклида эканлигидан бохабар бўлди. Христофор Колумбдан беш аср олдин одамзотга номаълум бўлган янги китъа борлигини башорат қилган ҳам Беруний бобомиз бўлиб тарихга кирди. Абу Али Ибн Сино эса тиббиёт фани ривожини, ҳеч шубҳасиз, барча даврлар учун энг баланд чўққига олиб чиқдики, бугунги кунда дунёнинг барча тиббиёт йўналишидаги таълим муассасалари унинг асарларидан дарслик сифатида фойдаланмоқда. Юртдошимиз Замахшарий эса, ҳаттоки, араблар учун ўз она тилларини ўрганишнинг тизимли грамматикасини яратиб берди.

Шуни ҳам қайд этиш жоизки, бу давр тараққиёти фақатгина дунёвий илмлар ривожига билангина чекланиб қолмайди, балки тасаввуф илми тараққиёти ҳам кўп жиҳатлари билан ана шу даврда янада такомиллашди. Бошқача қилиб айтганда, биз ўрта асрлардан буён ислом динини қабул қилиб, унинг таълимотига оддийгина эътиқод этиб келаётган халқ эмасмиз,

балки ўтган даврлар мобайнида ислом асосларини назарий ривожлантириш борасида ҳам муносиб ҳисса қўшган халқмиз. Ҳаким Термизий, Имом Бухорий сингари буюк ватандош уламоларимиз ислом таълимотида Ҳадис илми соҳасини юксак даражада ривожлантиришган бўлса, Нажмиддин Кубро, Аҳмад Яссавий, Баҳовуддин Нақшбандий кабилар эса тариқат илмини янги ва мукаммал бўлган ўзига хос сулуклар билан бойитдиларки, ҳали-ҳануз бутун мусулмон олами уларнинг қарашларини катта ҳурмат билан эъзозлаган ҳолда эътиқод қўйиб келишмоқда.

Бобомиз Амир Темур ҳукмронлик қилган даврда асос солинган Иккинчи Ренессанс ҳам илм-фан ривожини учун муносиб ҳисса қўшган тафаккур эгаларини етказиб берди. Бунда, албатта, Соҳибқироннинг ўлкамизда фан ва маданият, шаҳарсозлик ва хунармандчилик каби соҳаларни ривожлантириш йўлида қилган катта ҳомийлиги ҳам ҳал қилувчи роль ўйнади. Самарқанд, Бухоро, Хива, Шаҳрисабз каби шаҳарлар улкан маданият марказлари сифатида гуллаб яшнади ва хорижлик сайёҳларнинг кенг эътиборини қозонди. Осиёни Европа билан боғлаган Буюк Ипак Йўлининг мавқеини мустаҳкамлаш учун барча шароитлар яратиб берилди. Натижада бу даврга келиб темурийлар давлатининг кучи ва қудрати туфайли муғуллар зулми остида узоқ давом этган кескин инқирозий вазият ва истилочилик даври бутунлай барҳам топди, Мовароуннаҳрда илм-фан ва маданиятнинг юксалишида янги даврнинг юзага келиши учун замин яратилди. Фаннинг тарих, фалакиётшунослик, математика, давлат бошқаруви, сиёсатшунослик, адабиёт, тилшунослик каби соҳалари гуркираб ривож топди. Мирзо Улуғбек, Али Қушчи, Алишер Навоий, Заҳириддин Муҳаммад Бобур каби буюк зотлар халқимиз тарихида янги уйғониш даврига асос солдилар.

Бобомиз Амир Темур давлат бошқаруви соҳасини санъат ва фан даражасига кўтарди. Мирзо Улуғбек темурийзодалар сулоласи шаъни ва шарафини юксакларга кўтариш учун бутун умрини бағишлади ва айни пайтда астрономия фанини назарий ва амалий жиҳатдан ривожлантириш ҳисобига жаҳон фалакиёт илми тараққиётига ўлмас ҳисса қўшди. Ломоносов номидаги МДУ астронимия факультети биноси пештоқида осмон маъбудаси бўлган Урания атрофидаги дунёнинг буюк фалакиётшунос олимлари қаторида Улуғбекнинг ҳам сурати борлиги бу давр фани ва маданиятининг нақадар юксалишга кўтарилганлигидан ёрқин далолатдир.

Ана шу даврда миллатимиз ва халқимиз маданиятини юксалтиришда ғоят улкан ва самарали таъсир кўрсатган, бадиий даҳоси маконий ва замоний ўлчамлар сарҳадидан ташқарида турадиган умрбоқий сўз санъаткорларидан бири бўлган Мир Алишер Навоийдек забардаст шоир, мутафаккир ва буюк давлат арбоби етишиб чиқди. “Агар бу улуг зотни авлиё десак, у авлиёларнинг авлиёси, мутафаккир десак, мутафаккирларнинг мутафаккири, шоир десак, шоирларнинг султонидир” [2;47]. Зеро, не-не фотиҳлар қилич билан ололмаган бу дунёни Алишер Навоий қалам билан забт этди. Ваҳоланки, бобомиз қолдирган ижодий мерос туркий ва форсийзабон халқларнинг барчаси учун бирдек қадрли бўлиб, мана беш асрдан ошибдики, бутун қалам аҳлини илҳомлантириб келмоқда, десак ҳеч муболаға бўлмайди.

Дунё тараққиётида салтанат ишларини шоирлик билан уйғун ҳолда олиб борган ижодкорлар, аслида, кўп эмас. Аммо уларнинг орасида Заҳириддин Бобурнинг муносиб ўрни борлиги ҳар биримиз учун ҳам фахр, ҳам ғурурдир. Шафқатсиз тақдир қанчадан-қанча кийинчиликлар ва синовларга дучор этган бу беназир шахс умрининг сўнгги нафасига қадар она юрт меҳри, Ватан ишқи, ота-боболарининг хоки поки қўйилган тупроқ соғинчи илинжида сермахсул ижод қилди, гўзал ғазаллар битди ва халқимиз тарихи ва қалбидан ўчмас жой эгаллади. “Бобурнома” асари эса бу буюк бобомиз тафаккурининг беҳад серкирра эканлигидан дарак берибгина қолмасдан, кейинги авлодларга мозийни ўрганиш мақсадида нодир бир манба қолдириш истагининг юксак намунаси ҳамдир. Ундан фойдаланиш бугунги авлодларга ўша давр тўғрисида энг ишончли тасаввур ҳосил қилиш имконини бермоқда.

Халқимиз жуда бой ва узоқ тарихга эга. Унинг ўтмиши гўёки оқар дарёга ўхшайди. Оқар дарё эса оқмай қолмайди, унинг ўзанлари ҳеч қачон йўқолмайди.

Мустақиллик йилларига келиб она юртимиз тараққиётида улкан имкониятлар юзага келди. Ўзбекистон дунёга қайта юз тута бошлади. Миллий тараққиётнинг ўзига хос моделини танлаган ҳолда дунё ҳамжамиятидан ўзининг муносиб ўрнини эгаллаш сари дадил одимламоқда. Айниқса, кейинги йиллар мобайнида мамлакатимиз Президенти Ш.М.Мирзиёев раҳбарлигида амалга оширилаётган кенг қамровли ислохотлар ва бунёдкорлик ишлари халқимизнинг эртанги кунга бўлган ишончини орттирмоқда ва айти пайтда жаҳон жамоатчилигининг Янги Ўзбекистонга нисбатан қизиқишини кучайтирмоқда.

Бугунги дунё тараққиёти учун эса бир қатор жиҳатлар хос бўлиб, глобаллашув жараёнлари ошиб бораётган, рақобат авж олиб кескинлашиб бораётган томонлари билан барчанинг эътиборини тортмоқда. Ривожланган давлатлар тобора кўпроқ ва сифатлироқ маҳсулот ишлаб чиқариш орқали истеъмол бозорини эгаллаш билан бирга, уни қандай ишлаб чиқариш тўғрисида жиддий бош қотирмоқда. Яъни инновацион технологияларни кенгроқ жорий қилиш, бемалол айтиш мумкинки, моддий ва маънавий ишлаб чиқаришнинг асосий омилига айланмоқда.

Табиийки, мустақил Ўзбекистон ҳам ушбу омилларсиз ривожлана олмайди. Шунинг учун мамлакатимиз раҳбари инновацион тараққиёт асоси бўлган илм-фанни янада ривожлантиришга катта эътибор қаратишмоқда. Бу тўғрида Президентимиз Ш.М.Мирзиёев ўзи алоҳида таъкидлаганидек: “Бугунги кунда ушбу йўналишдаги янгиланишлар... замон талабларини эътиборга олиш, ислохотларни амалга ошириш жараёнида жамиятимиз илм-фанининг янги қиёфасини яратиш ва ушбу соҳадаги ўзгаришлар динамикасининг самарали бўлишига эришиш масалаларига янгича қарашлар ва ёндашувларни талаб қилмоқда” [1;246].

Мамлакатимиз раҳбари уқтирганидек, Янги Ўзбекистонни барпо этиш учун Учинчи Ренессанс пойдеворини яратиш замонавий ёш авлод олдида турган масъулиятли вазифадир. Бунинг учун юртимизнинг эртанги куни ва истиқболи учун бефарқ ва лоқайд бўлмаган ҳар бир инсон замонавий илм-фан ютуқларини пухта эгаллаши, илғор технологияларни ўзлаштириши, ўзининг интеллектуал салоҳиятини тинмай юксалтириши, фундаментал тадқиқот ва изланишлар олиб бориш учун етарли билим ва салоҳиятга эга бўлиши, ҳар томонлама теран фикр юрита оладиган тафаккур эгаси бўлиши учун сабот билан интилиши лозим. Дунё тамаддунига буюк олиму уламоларни берган юртимизда янги фарғонийлар ва берунийлар, улуғбеклар ва навоийларни вояга етказиш учун барча шароитлар мавжуд.

Шу ўринда кичик бир лирик чекиниш. Қадимги Миср тарихчиси ва файласуфи, ажойиб нотик Цицеронни ўлимга маҳкум этган ҳукмдор кунлардан бир кун набираси мафкуравий душманининг китобини ўқиб турганини кўриб, уни уришиш ўрнига “Ҳа, набирам бу одам ўз юртини беҳад севарди!”, дея Цицероннинг китобини набираси қўлига қайтариб берган экан. Қиссадан ҳисса шундаки, бинобарин, ўз юрти учун фидойи бўлган инсонларни, ҳаттоки, душманлари ҳам тан бермасдан иложи йўқ экан[3;94]. .

Шундай экан, ўйлаймизки, бугунги Янги Ўзбекистон воқеилиги ҳам юртимиз равнақи учун ана шундай фидойи бўлишни тақозо этмоқда ва бинобарин, ана шундагина оққан дарё ўзанлари ҳеч қачон йўқолмасдан мангу оқаверади.

Адабиётлар

- [1]. Мирзиёев Ш. Янги Ўзбекистон стратегияси. Т., “Ўзбекистон” нашриёти. 2021
- [2]. Каримов И. Юксак маънавият – енгилмас куч. Т., “Маънавият”. 2008
- [3]. Тўхтаров И. Римни забт этган нотик.// “Тафаккур” журнали. 2001 йил, 3-сон

1. “Илмий – техника журнали” (“Научно – технический журнал”, “Scientific – Technical Journal”) саҳифаларида фундаментал ва техника фанлари соҳасида янги илмий натижаларга эга бўлган ва 50 % дан ортиқ қисми илгари эълон қилинмаган ўзбек, рус, инглиз тилларида тайёрланган мақола ва қисқа хабарлар қуйидаги бўлимлар бўйича чоп этилади: **физика-математика фанлари; механика; қурилиш; энергетика, электротехника; электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари; кимёвий технология ва экология; ижтимоий-иқтисодий фанлар; қисқа хабарлар.**

2. Мақола стандарт A4 ўлчамдаги оқ қоғознинг бир томонида чапдан 30 мм, ўнгдан 15 мм, юқоридан ва пастдан 20 мм кенгликда жой қолдириб, **Times New Roman** шрифтида, **12 pt** ўлчамда, қаторлар ораси **бир оралиқ** билан ёзилади ва икки нусхада тақдим қилинади. Мақолалар ҳажми чизмаларсиз **саккиз саҳифадан**, қисқа хабарлар эса **уч саҳифадан** ошмаслиги ва иккинчи нусхасида барча муаллифлар фамилияси, исми ва шарифларини кўрсатиб имзо чекишлари лозим.

3. Мақолага қуйидагилар илова қилинади: иш бажарилган **ташкилот йўлланмаси**; ўзбекча, русча ва инглизча **аннотациялар** (бир хил мазмунда ва 5-6 қатордан ошмаслиги зарур), **таянч сўзлар, мақола номлари; эксперт хулосаси; муаллифлар тўғрисида маълумот** (иш жойи, лавозими, телефони, e-mail). Муаллифлар орасида фан доктори бўлмаган тақдирда, шу соҳа ихтисослиги бўйича **фан докторининг тавсияси** тақдим этилади.

4. Формулалар компьютерда Word формулалар муҳаррирининг Math Type версиясида ёзилади. Чизмалар ва диаграммалар стандарт қоидаларга риоя қилинган ҳолда 10×10 см дан катта бўлмаган ўлчамда тайёрланиши, ёзувлар имкони борида сонлар ёки ҳарфлар кўринишида берилиши ва улар мақола саҳифасида ёки чизмага иловада тушунтирилиши лозим. Мақолада чизмалар сони **4** тагача, қисқа хабарларда эса **2** тагача рухсат этилади.

5. Мурожаат қилинган адабиётлар рўйхати мақола охирида қуйидаги тартибда келтирилади: муаллифнинг фамилияси, исми, шарифи, китоб (журнал)нинг номи, нашриёт (китоблар учун) йили, журнал номери, саҳифа (журнал учун). Мақола саҳифаларида адабиётларга илова рақам билан тартибли равишда квадрат қавс ичида (масалан [7] кўринишида) берилади.

6. Мақолани тайёрлашга ўта синчковлик ва ўткир диққат билан ёндошиш тавсия этилади. У илмий ва грамматик жиҳатдан юқори даражада талабчанлик билан илмий мақола мақомида таҳрирланган бўлиши лозим: саёз мазмундаги, ғализ ва узундан-узоқ жумлаларни ишлатмаслик; мақоланинг илмий йўналишига, шу куннинг ечилмаган ва долзарб муаммоларига баҳо берилиши; ишнинг асосий мақсади, қўйиладиган масалалар ва уларни ечиш услублари, олинган янги илмий натижалар ва уларнинг таҳлили ҳамда аниқ хулосалар қатъий кетма-кетликда равон тилда баён қилиниши лозим.

7. Таҳририят зарурат бўлганда тақдим этилган мақола ва қисқа хабарларни таҳрир қилиш ҳуқуқига эга. Улар сўзсиз таҳририят аъзоларига ёки бошқа тегишли мутахассисларга тақризга берилади.

8. Агар мақола муаллифга қайта ишлаш учун қайтарилса, мақоланинг охириги кўриниши олинган кундан бошлаб мақола таҳририятга тушган ҳисобланади.

Журнални чоп этишда doc. MS Word 97 (2003) таҳририда ишловчи дастурлардан фойдаланилади.

Мақолаларини ўз вақтида чоп этилишини истаган муаллифлар таҳририятга ана шу дастурдан фойдаланган ҳолда компьютерда терилган электрон вариантини тақдим этишлари мақсадга мувофиқдир.

9. **Журналнинг электрон вариантларини ФДТУ веб-сайти <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal) дан топиш мумкин.**

Кўрсатилган қоидалар асосида тайёрланмаган мақолалар таҳририят томонидан қабул қилинмайди.

1. На страницах «Научно-технического журнала» публикуются статьи и краткие сообщения в области фундаментальных и технических наук, содержащие новые или более 50 % ранее не опубликованные научные результаты, на узбекском, русском или английском языках по следующим разделам: **фундаментальные науки; механика; строительство; энергетика, электротехника; электронные устройства и информационные технологии; химическая технология и экология; социально-экономические науки; краткие сообщения.**

2. Статья представляется в двух экземплярах на белой бумаге стандартного формата А4 с полями: слева 30 мм, сверху и снизу по 20 мм, справа 1,5 мм; шрифт Times New Roman 12 pt, междустрочное расстояние один интервал. Общий объем статьи не должен превышать восьми страниц, не считая рисунков, кратких сообщений же не более трёх страниц. Второй экземпляр статьи представляется с подписями всех авторов.

3. К статье прилагаются: **направление учреждения**, в котором выполнена работа; **экспертное заключение** (для авторов из Республики Узбекистан); на узбекском, русском и английском языках **аннотация** (из 5-6 строк одинакового содержания), **ключевые слова, название статьи; сведения об авторах** (место работы, должность, телефон, e-mail). В случае отсутствия среди авторов доктора наук представляется рекомендация доктора наук в области этой специальности.

4. Для написания формул в тексте необходимо пользоваться редактором Word Math Type. Формулы нумеруются в сквозном порядке. Для обозначения физических, математических и химических величин, включая индексы, применяются исключительно латинские и греческие буквы. Нельзя обозначать различные величины одной и той же буквой. Подготовленные рисунки и диаграммы должны соответствовать стандартным требованиям и не превышать размеры более чем 10x10 см, надписи, индексы или буквенные обозначения, желательно указать и пояснить на страницах статьи или в приложениях к рисункам.

5. Список литературы представляется в конце статьи в следующем порядке: Ф.И.О. авторов, название книги (журнала), год издания (для книг), номер журнала, страницы (для журналов). На страницах статьи ссылки на цитируемую литературу представляются в порядке упоминания арабской цифрой в квадратных скобках, например: [1].

6. Внимательно относитесь к стилю своей статьи, который должен отвечать требованиям высокой степени редактирования, как в отношении научности, так и грамматики. Избегайте длинных фраз поверхностного содержания. Для лучшего восприятия большой статьи читателями рекомендуется разбить текст на разделы: например, 1. Введение, 2. Методика эксперимента, 3. Экспериментальные результаты, 4. Заключение. Следует обязательно указать основную цель работы, постановку задач, актуальность и современность проблемы, методы и способы решения, полученные новые научные результаты и их анализ, а также конкретные выводы.

7. Представленные в редакцию статьи направляются для рецензирования членам редакции или другим соответствующим специалистам. Определяются, соответствует ли статья тематике журнала, есть ли в ней четко сформулированные новые научные результаты, достаточно ли надёжно обоснованы выводы, понятно ли изложен материал. При необходимости статья может быть отредактирована.

8. В случае возврата статьи авторам для доработки срок её поступления в редакцию, считается со дня поступления последнего её варианта.

При печати материалов журнала применяется текстовый редактор doc.MS Word 97 (2003). Для своевременного опубликования статьи, авторам необходимо представить электронный вариант статьи, набранный на компьютере с использованием указанной программы.

9. Электронные версии журнала доступны на веб-сайте ФГТУ <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Статьи, не оформленные согласно вышеуказанным правилам, редакцией не принимаются.

INFORMATION TO THE AUTHORS !

1. On pages “Scientific – Technical Journal” are published articles and short messages in the field of the fundamental and technical science, containing new or more than 50% earlier not published scientific results, in Uzbek, Russian or English languages according to the following sections: fundamental sciences; mechanics; construction; power, electrical equipment; electronic devices and information technologies; chemical technology and ecology; social and economic sciences; short messages.

2. Article is submitted in duplicate on white paper of the standard A4 format with fields: at the left 30 mm, above and below on 20 mm, on the right 1,5 mm; Times New Roman 12 pt font, interlinear distance one interval. The total amount of article shouldn't exceed eight pages, apart from drawings, the short messages, no more than three pages. The second copy of article is submitted with signatures of all authors.

3. To article are applied: the direction of establishment in which work is performed; the expert opinion (for authors from the Republic of Uzbekistan); in Uzbek, Russian and English languages the summary (from 5-6 lines of the identical contents), key words, article name; data on authors (work place, position, phone, e-mail). In case of absence among authors of the doctor of science the recommendation of the doctor of science in the field of this specialty is submitted.

4. For writing of formulas in the text the Word Math Type editors need to use. Formulas are numbered in a through order. For designation of physical, mathematical and chemical quantities, including indexes, exclusively Latin and Greek letters are applied. It is impossible to designate various sizes the same letter the Prepared drawings and charts have to conform to standard requirements and not exceed the sizes more than 10x10 cm, inscriptions, indexes or alphabetic references, it is desirable to specify and explain on pages of article or in annexes to drawings.

5. The list of references is submitted at the end of article in the following order: First name, middle initial, last name authors, the name of the book (journal), year of the edition (for books), the issue of the journal, pages (for Journal). On pages of article of the link to quoted literature are represented as a mention in the Arab figure in square brackets, for example: [1].

6. Consider to the style of the article attentively which has to meet the requirements of high extent of editing as concerning scientific character, and grammar. Avoid long phrases of the superficial contents. For the best perception of big article readers recommend to break the text into sections: for example, 1. Introduction, 2. Experiment technique, 3. Experimental results, 4. Conclusion. It is necessary to specify surely a main objective of work, statement of tasks, relevance and the present of a problem, methods and ways of the decision, the received new scientific results and their analysis, and also concrete conclusions.

7. Articles presented to edition go for reviewing to members of edition or other corresponding experts. Are defined, whether there corresponds article to journal subject, whether there are accurately formulated according to new scientific results in it, whether it is enough reliably valid conclusions, whether the material is clearly stated. If necessary article can be edited.

8. In case of article return to authors for completion, the term of its receipt in edition, is considered from the date of receipt of its last option.

At the press of materials of the journal the text editor of doc.MS Word 97 (2003) is applied. For timely publication of article, authors need to present the electronic version of article gathered on the computer with use of the specified program.

9. The electronic version of the journal is available on the FSTU website, <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Articles that are not prepared based on the specified rules will not be accepted by the editorial office.

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ
ТАҲРИРИЯТИ:

Масъул муҳаррир
Мусахҳиҳ
Мусахҳиҳ
Компьютерда саҳифаловчи

Н.Х. Юлдашев
А.Ш. Нигматуллина
Д.Х. Мамажонова
С.Э. Йўлдашева

Таҳририят манзили:
150107. Фарғона шаҳри, Фарғона кўчаси, 86 уй.
Телефон: 241-13-54.
Факс: 241-12-06.
Бизнинг сайт: <http://www.fstu.uz>
E-mail: jurnalfstu@mail.ru

Ўзбекистон Республикаси Президенти администрацияси ҳузуридаги
Ахборот ва оммавий коммуникациялар агентлиги томонидан
Оммавий ахборот воситаси сифатида давлат рўйхатидан ўтказилиб,
2020 йил 6 августда № 1081 рақамли гувоҳнома олинди.

Босишга рухсат этилди: 28.10.2025 й.
Бичими: А4. Гарнитура Times New Roman.
Босма табоғи: 15,25. Адади 10 нусха. Буюртма № 3.
Баҳоси шартнома асосида.
УП «FDTU ALPHA PRINT» босмахонасида чоп этилди.
Фарғона шаҳар, Фарғона кўчаси 86 -уй.