

ISSN 2520-2227

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

1 (57) 2022



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Инженерные исследования

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Engineering studies

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҶҚИҚОТҶОИ МУҶАНДИСИ

ISSN
2520-2227

1 (57)
2022



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

<http://vp-es.ttu.tj/> E-mail: vestnik_politech@ttu.tj

Published since January 2008

Ба рӯйхати нашрияҳои тақризи КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дохил карда шудааст.
Включен в Перечень рецензируемых изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст
№ 0261 / ЖР аз 18 январи соли 2017
Индекси обуна 77762

РАВИЯИ ИЛМИИ МАҶАЛЛА	НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА	SCIENTIFIC DIRECTION
05.14.00 Энергетика 05.16.00 Металлургия ва маводшиносӣ 05.17.00 Технологияи кимиёвӣ 05.22.00 Нақлиёт 05.23.00 Сохтмон ва меъморӣ	05.14.00 Энергетика 05.16.00 Металлургия и материаловедение 05.17.00 Химическая технология 05.22.00 Транспорт 05.23.00 Строительство и архитектура	05.14.00 Energy 05.16.00 Metallurgy and materials science 05.17.00 Chemical technology 05.22.00 Transport 05.23.00 Construction and architecture

Муассис ва ношир	Учредитель и издатель	Founder and publisher
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi
Ҳар семоҳа нашр мешавад	Издається ежеквартально	Published quarterly
Маҷалла дар шохиси иқтибосоварии Россия қайд гардидаст	Журнал включен в РИНЦ	The journal is included in the Russian Science Citation Index

Нишонӣ	Адрес редакции	Editorial office address
734042, г. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10А Тел.: (+992 37) 227-04-67	734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10А Тел.: (+992 37) 227-04-67	734042, Dushanbe, Avenue of Academics Radjabovs, 10A Tel.: (+992 37) 227-04-67

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

POLYTECHNIC BULLETIN
SERIES: ENGINEERING STUDIES

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ

САРДАБИР

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА

доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

М.А. АБДУЛЛО

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

А.Ч. РАҲМОНЗОДА

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

Ф.М. РАҲИМОВ

саркотиб

АЪЗОЁН

А.И. СИДОРОВ

д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

А.Г. ФИШОВ

д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

Л.С. КАСОБОВ

н.и.т., дотсент

А.К.КИРГИЗОВ

н.и.т., и.в. дотсент

И.Н. ГАНИЕВ

академики АМИТ, д.и.х., профессор

Х.О. ОДИНАЗОДА

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

Т.Ҷ. ЧУРАЕВ

д.и.т., профессор

ММ. ХАҚДОД

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

А.Б. БАДАЛОВ

узви вобастаи АМИТ, д.и.х., профессор

Фохаков А.С.

д.и.т., дотсент

В.В.СИЛЯНОВ

д.и.т., профессор (Федерацияи Россия)

Р.А. ДАВЛАТШОЕВ

н.и.т., дотсент

М.Ю. ЮНУСОВ

н.и.т., и.в. дотсент

Р.САЛОМЗОДА

н.и.т., дотсент

Д.Н. НИЗОМОВ

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

И КАЛАНДАРБЕКОВ

д.и.т., и.в. профессора

А. Г ГИЯСОВ

д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

Н.Н. ХАСАНОВ

доктори меъморӣ, и.в. профессор

Р.С. МУКИМОВ

доктори меъморӣ, профессор

Ҷ.Ҳ. САИДЗОДА

доктори илмҳои техникаӣ, профессор

А.А. ҲОҶИБОЕВ

доктори фанҳои техникаӣ, доцент

[А.Р. РУЗИЕВ]

н.и.т., дотсент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

К.К. ДАВЛАТЗОДА

д.э.н., профессор

М.А. АБДУЛЛО

к.т.н., доцент, зам. главного редактора

А.Дж. РАҲМОНЗОДА

к.т.н., доцент, зам. главного редактора

Ф. М. РАҲИМОВ

главный секретарь

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

А.И. СИДОРОВ

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

А.Г. ФИШОВ

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Л.С. КАСОБОВ

к.т.н., доцент

А.К.КИРГИЗОВ

к.т.н., и.о. доцента

И.Н. ГАНИЕВ

академик АН РТ, д.х.н. профессор

Х.О. ОДИНАЗОДА

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

Т.Дж. ДЖУРАЕВ

д.т.н., профессор

М.М. ХАҚДОД

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

А.Б. БАДАЛОВ

член-корр. АН РТ, д.х.н., профессор

А.С.ФОХАКОВ

д.т.н., доцент

В.В.СИЛЯНОВ

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Р.А. ДАВЛАТШОЕВ

к.т.н., доцент

М.Ю. ЮНУСОВ

к.т.н., и.о. доцента

Р.САЛОМЗОДА

к.т.н., доцент

Д.Н. НИЗОМОВ

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

И.КАЛАНДАРБЕКОВ

д.т.н., и.о. профессора

А. Г. ГИЯСОВ

д.т.н., профессор (Российская Федерация)

Н.Н. ХАСАНОВ

доктор архитектуры, и.о. профессора

Р.С. МУКИМОВ

доктор архитектуры, профессор

Дж.Х. САИДЗОДА

д.т.н., профессор

А.А. ХОҶИБОЕВ

д.т.н., доцент

[А.Р. РУЗИЕВ]

к.т.н., доцент

Материалы публикуются в авторской редакции, авторы опубликованных работ несут ответственность за оригинальность и научно-теоретический уровень публикуемого материала, точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений. Редакция не несет ответственность за достоверность информации, приводимой авторами.

Автор, направляя рукопись в Редакцию, принимает личную ответственность за оригинальность исследования, поручает Редакции обнародовать произведение посредством его опубликования в печати.

МУНДАРИҶА – ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY	5
<u>ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ</u> У. Бумцэнд, Дж.С. Ахъёев, М.Х. Сафаралиев, П.В. Матренин, Саъдуллозода Ш.С., Диёрзода Р.Х.	
<u>ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ХАТЛОНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</u> Р.Х. Диёрров, О.М. Сайфуллоева, Ф.К. Шарипов	12
<u>МОМЕНТНО-СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ОТСУТСТВИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛА РАЗВОРОТА ЛОПАСТЕЙ</u> Р.А. Джалилов	19
<u>АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАМИРА С УЧЕТОМ РОСТА ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ</u> Худжасаидов Дж. Х.	26
<u>РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ</u> Ф.Х. Насруллоев	35
<u>КОНСТРУКТИВНО- КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОСВОЕНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТЬЮ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ</u> Ахророва А.Д., Саидов М.Х., Камилова Н.М.	40
МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE	47
<u>ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАГРЯЗНЁННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ</u> Расулов О. У.	47
<u>ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА ХЛОРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СУЛЬФИДНОСУРЬМЯНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ХЛОРИДОМ НАТРИЯ</u> Х.Ш. Рахимов	54
<u>ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ 0.3Mg0.25 В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3,0%- НОГО NaCl</u> Ганиев И.Н., Саидов Н.Б., Раджабаев С.С., Давлатзода Ф.С.	59
<u>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК10Ц10, МОДИФИЦИРОВАННОГО СТРОНЦИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3,0%-НОГО NaCl</u> Ганиев И.Н., Гулов С.С., Абдулхамиди Дж., Сафаров А.М.....	65
<u>СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$</u> С.О. Убайдов.....	71
<u>УСУЛҲОИ ТАҶРИБАВИИ ҲИСОБКУНИИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ТЕХНОЛОҒӢ ВА НЕРУАФЗОЯНДАИ РАВАНДИ ВАРАҚАСОЗИИ ҚАДДИИ ТАСМАҲОИ БАЛАНД ДАР НАВАРДҲОИ ПЕЧДАРПЕЧ</u> Ш.А. Бозоров, Д.А. Шарифов, Саидаи Ч.	75
<u>ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ, ГАЛТОВКИ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ</u> Мирзоалиев А.И.	82
ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY	87
<u>КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СЕРЕБРА С 1,2,3-БЕНЗТРИАЗОЛОМ И 1-ФУРФУРИЛИДЕНАМИНО-1,3,4-ТРИАЗОЛОМ</u> Мабаткадамзода К.С.....	87

<u>THE CONTRIBUTION OF ROCK WEATHERING ON UPSTREAM TO THE FORMATION OF THE PYANJ RIVER TRIBUTARIES HYDROCHEMISTRY</u>	
D.S. Azimov, A.O. Muminov, B.H. Abdurakhimov, I. Sh. Normatov	92
<u>СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ МАТРИЧНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ ПОКРЫТИЙ</u>	
Щербаков И.Н., Гасанов Б.Г.	98
<u>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕТРГИДРИДОАЛЮМИНАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕСТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА</u>	
Д.Т.Исозода	102
<u>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕОЧИЩЕННОГО КОАГУЛЯНТА ИЗ КАОЛИНИТСОДЕРЖАЩИХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЗИДДИ»</u>	
Н.А. Наимов	107
НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT	111
<u>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА В ТРАНСМИССИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ</u>	
Султонов Х. Н.	111
<u>DIGITALIZATION AS ONE OF THE MOST IMPORTANT TOOLS TO SIMPLIFY INTERNATIONAL TRANSPORTATION OF GOODS BY ROAD</u>	
Shodiev Sorbon. M., Abdulloev M. A.	115
СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE.....	121
<u>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ С УЧЁТОМ РАБОТЫ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР</u>	
Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков, И.К. Каландарбеков	121
<u>ТАҲҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ СЕМЕНТОБЕТОНИ ДАР АСОСИ СЕМЕНТҲОИ ОМЕХТА БО ИЛОВАГИҲОИ МИНЕРАЛӢ ВА ОРГАНИКӢ БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ КОНСТРУКСИЯҲОИ ЗЕРИРЕЛСИИ РОҲИ ОҲАН</u>	
Ш.Р. Маҳмадов	128
<u>ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЯ С ОСНОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ</u>	
И.К.Каландарбеков, У.М.Махмадиев, И.И.Каландарбеков.....	132
<u>О НЕКОТОРЫХ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА</u>	
И.И. Каландарбеков.....	142
<u>ТАВСИЯҲО ОИДИ ЛОИҲАКУНИИ БИНОҲОИ ЭНЕРГОСАМАРАНОКИ ПАССИВӢ ДАР ШАРОИТИ ШАҲРИ ХУЧАНДИ ЧУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</u>	
Ф.З. Мирзоева, Н.О. Олимова	149
<u>МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА ЗОЛОЙ УГЛЯ ФАН-ЯГНОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА</u>	
А.Шарифов, А.Муминов, А.А.Акрамов, М.Ф.Ахмедов, Я.Г.Назиров.....	157
<u>ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ТОПОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПЕРЕМЕННЫМ ОБЪЕМОМ ТОПКИ ПРИ СЖИГАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ</u>	
Хужаев П.С.	164

ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

У. Бумцэнд¹, Дж.С. Ахъёев², М.Х. Сафаралиев³, П.В. Матренин⁴, Саъдуллозода Ш.С.², Диёрзода Р.Х.²

Монгольский Государственный Университет Науки и Технологии, Дарханский институт технологий, г. Дархан, Монголия¹

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан²

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург³

Новосибирский государственный технический университет, г Новосибирск⁴

В работе рассмотрена оценка статической устойчивости электроэнергетической системы при утяжелении режима из-за подключения новых тяговых железнодорожных подстанций и возможности повышения статической устойчивости за счет применения установок компенсации реактивной мощности. Показано, что подключение дополнительных компенсирующих устройств необходимо не только для снижения потерь, но и для повышения запаса статической устойчивости электроэнергетической системы по напряжению.

Ключевые слова: энергосистема, железнодорожная магистраль, тяговая нагрузка, активная мощность, статическая устойчивость.

STATIC STABILITY ASSESSMENT OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM DURING THE COURSE OF RAILWAY ELECTRIFICATION

U. Bumtsend, J.S.Ahyoev, M.Kh. Safaraliev, P.V. Matrenin, Shahriyor S. Sadullozoda, Diyorov R.H.

The paper considers the assessment of the static stability of the electric power system when the regime becomes heavier due to the connection of new traction railway substations; and the possibility of increasing the static stability by using reactive power compensation units. It is shown that the installation of additional compensating devices is necessary not only to reduce losses, but also to increase the static voltage stability margin of the electric power system.

Key words: power system, main railway, traction load, active power, static stability.

БАҶОДИҶӢ БА УСТУВОРИИ СТАТИКӢ СИСТЕМАӢ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКӢ БО НАЗАРДОШТИ ЭЛЕКТРИКУНОНИИ РОҶИ ОҶАН

У. Бумтсэнд, Ҷ.С. Аҳъёев, М.Х. Сафаралиев, П.В. Матренин, Ш.С. Саъдуллозода, Р.Х. Диёров

Дар мақола арзёбии устувории статикӣ системаи энергетикӣ хангоми вазнин кардани реча аз ҳисоби пайваст кардани зеристгоҳҳои нави фаръии тақвият ва имкони баланд бардоштани устувории статикӣ тавассути истифодаи дастгоҳҳои ҷуброни тавоноии ғайрифайол баррасӣ карда мешавад. Нишон дода шудааст, ки пайваст кардани асбобҳои иловагии ҷубронкунанда на танҳо барои кам кардани талафот, балки барои зиёд кардани захираи устувории статикӣ системаи энергетикӣ аз рӯи шиддат зарур аст.

Калимаҳои калидӣ: системаи энергетикӣ, шохроҳи оҳан, бори кашиш, тавоноии файол, устувории статикӣ.

Введение

Обоснование электрификации железной дороги состоит из трёх основных условий: развитие сотрудничества с соседними странами, увеличение рентабельности транспортного коридора, соединяющего Азию и Европу, проходящего по территории Монголии, а также создание экономически эффективной железнодорожной перевозки с современными технико-технологическими решениями [1].

Огромная территория (1,6 млн.кв.км) и низкая плотность населения Монголии, децентрализация сельского хозяйства и промышленных центров, огромные запасы природных ресурсов, растущий с каждым годом торговый оборот соседних двух стран России и Китая, требуют от Монгольского государства иметь структуру транспорта, ускоряющую пассажирские и грузовые перевозки, а также современные экологически чистые и конкурентоспособные перевозки грузов с низкой стоимостью транспортировки [2].

Электрическая тяга имеет более высокий коэффициент полезного действия (к.п.д.) по сравнению с тепловозной тягой. Средний эксплуатационный к.п.д. тепловоза около 21% и у электрической тяги около 24%. При питании электровоза от старых тепловых электрических станций к.п.д. электрической тяги составляет от 16%-19%, при к.п.д. самого электровоза порядка 85%. Такой низкий к.п.д. системы получается вследствие больших потерь энергии в топках, котлах и турбинах электрической станции, к.п.д. которых составляет 25-26% [3].

Только электрическая тяга обладает свойствами перерабатывать запасенную в поезде механическую энергию в электрическую и отдавать ее при рекуперативном торможении в контактную

сеть. Все это дает возможность снизить себестоимость перевозок и сделать процесс перевозки грузов более эффективным. За счёт технической реконструкции тяги на железнодорожном транспорте можно сэкономить огромное количество топлива [4].

Себестоимость перевозок на электрифицированных линиях на 10-15% ниже, чем при тепловозной тяге. Уланбаторская железная дорога (УБЖД) является единственной железнодорожной компанией в Монголии - общая эксплуатационная длина дороги – 1844 км, включая линию Баянтумэн. Крупнейшей линией Монголии является магистраль Сухэ-Батор - Уланбатор - Замын-Удэ, ее протяженность - 1111 км. Благодаря постройке этой магистрали железнодорожный путь из Европы в Центральную Азию сократился на 1025 км. От этой дороги в различные направления в настоящее время отходят несколько веток [5].

В 2014 году поток грузовых перевозок составил 21,1 млн.т и увеличился по сравнению с 2013 годом на 1,4%. При этом транзитные грузы увеличились на 35,3%. В 2014 году через территорию Монголии по АО “УБЖД” перевозимый транзитный груз увеличился на 17% по сравнению с грузом прошлого года. Большинство, то есть 84% от всего транзитного груза направлено из России в Китай. При этом 48% от направленного груза составил лесоматериал. Электрификация железнодорожного коридора из Китая в Россию необходима, так как экспорт из Китая в Россию непрерывно растёт и ежегодный прирост составляет 5,6%. [6,7].

Объект исследования

Объектом исследования работы является Монгольская электроэнергетическая система (ЭЭС), которая состоит из взаимосвязанных подсистем: Западный регион, Алтай-Улиастай, Восточный регион, Центральный регион и Южный регион. В настоящее время установленная мощность энергетической системы составляет около 1150 МВт. По данным Министерства энергетики в 2014 году выработано электроэнергии 5392 млн.кВт·ч, импортировано 1396,9 млн.кВт·ч, располагаемая электроэнергия 4285,2 млн.кВт·ч. Ежегодный рост электропотребления в стране составляет 7-10% [8].

Таблица 1

Структура производства электроэнергии в Монгольской энергосистеме

Источники	млн кВт·ч	%
Тепловая электростанция	5191,3	76,47
Дизельная станция	8,3	0,12
Гидроэлектростанция	66,3	0,98
Солнечно-ветровая электростанция	126,0	1,85
Импорт	1396,9	20,58
Итого:	6788,7	100,00

Около 70% покрытия нагрузки зависит от энергосистемы центрального региона, которая состоит из 5 теплоэлектростанций, подстанций и ЛЭП напряжением 220 кВ и 110 кВ, находящихся в местах: Гусиное озеро России, Уланбатор, Дархан, Эрдэнэт, Сайншанд. По аналитическим данным потребление электроэнергии Монголии по 2020 году 1400 МВт·ч. После 2020 года тенденция в балансе электроэнергии энергосистемы изменится и установленная мощность будет больше потребляемой.

Для достижения поставленной цели электрификации железнодорожной магистрали Монголии необходимо решить следующие задачи:

1. Ввести новые источники генерации активной и реактивной мощности.
2. Обеспечить качество электроэнергии в системе тягового электроснабжения, а именно:
 - обеспечить симметрию в питающих линиях Монгольской энергосистемы, так как тяговая нагрузка является несимметричной [9];
 - подавлять высшие гармоники, возникающей от преобразователей при электровозной тяге [10,11];
 - обеспечить надежность питания тяговых подстанций за счёт питания от двух независимых источников.

Расчет установившихся режимов электроэнергетической системы.

Для определения условий электрификации железной дороги необходимо осуществить расчет установившихся режимов (УР). Расчеты установившегося режима являются основными при решении задач, связанных с проектированием и эксплуатацией электроэнергетических систем. Результаты этих расчетов используются при планировании режимов и оперативном управлении ЭЭС, а также служат базой для выполнения оптимизации, анализа устойчивости и надежности.

Нелинейные уравнения узловых напряжений описывают установившийся режим электрической системы при заданных нелинейных источниках тока. В схеме замещения электрической системы нелинейным источникам тока соответствуют генераторы с постоянной мощностью либо нагрузки потребителей, заданные статическими характеристиками или постоянной мощностью [12]. Нелинейные

уравнения узловых напряжений при постоянной мощности нагрузок и генераторов в узлах для системы переменного тока в матричной форме

$$Y_y \underline{U} = \sqrt{3} \underline{I}(\underline{U}) - Y_{\delta} \underline{U}_{\delta}$$

где Y_y - комплексная матрица собственных и взаимных узловых проводимостей;

Y_{δ} - проводимость ветвей балансирующего узла;

$\underline{I}(\underline{U})$ - вектор-столбец задающих токов;

\underline{U}_{δ} - заданное напряжение балансирующего узла.

Нелинейные уравнения установившегося режима в общей форме можно записать в виде системы неявных функций

$$W(X, Y) = 0,$$

где $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ – n-мерная вектор-функция, отвечающая уравнением баланса мощностей или токов в узлах сети;

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ – независимые переменные, которые можно регулировать

$Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ – зависимые переменные, которые могут быть вычислены через независимые переменные.

В данной работе для расчета УР электрической системы использована программа RastrWin3. В программе для расчета установившихся режимов ЭЭС разработана оригинальная модификация полного метода Ньютона-Рафсона с выбором оптимального шага, учитывающая особенности уравнений узловых напряжений, в декартовых координатах [13].

В результате расчета УР определяем модули U_i и фазы (i) напряжений в узлах сети, перетоки (P_{ij}, Q_{ij}) и потери активных и реактивных мощностей, токи в линиях электропередачи, частоты f в системе.

В работе рассмотрены два сценария возможного развития Монгольской ЭЭС в зависимости от того, куда будет подключена система тягового электроснабжения. Первый сценарий состоит в том, что четыре тяговые подстанции северной части железной дороги будут подсоединены к существующим подстанциям на напряжение 110 кВ. Второй сценарий состоит в присоединении к узлам ЭЭС Монголии на напряжении 220 кВ. На рисунке 1 показан фрагмент расчетной схемы при подключении тяги на 110 кВ по первому сценарию.

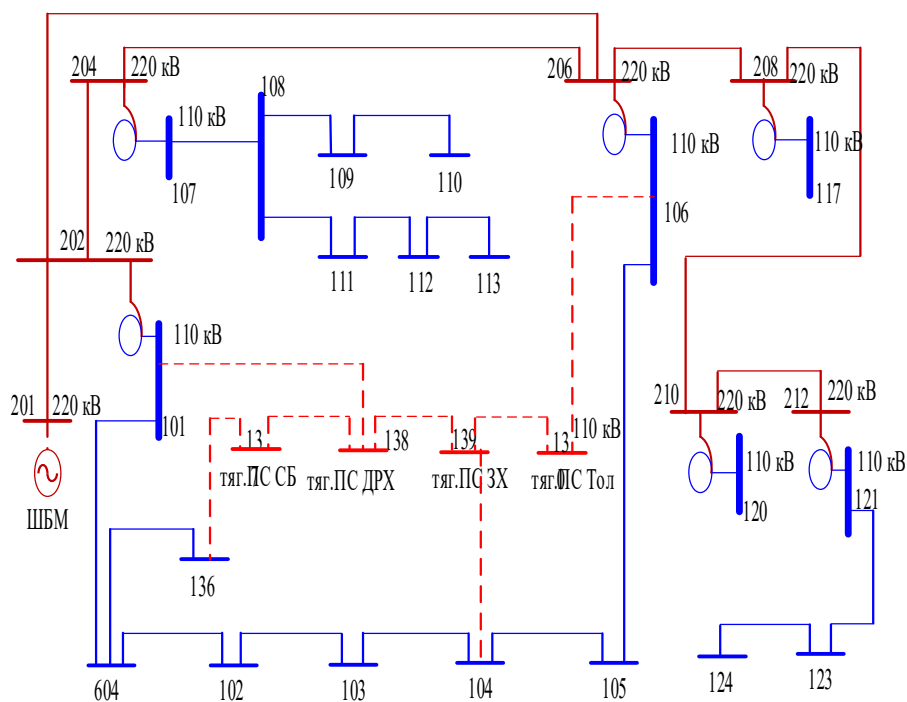


Рисунок 1. Фрагмент расчетной схемы тягового электроснабжения на 110/25 кВ

Таблица 2

Результаты балансирования режима

Баланс мощностей	P, МВт	Q, МВАр
Вырабатываемая мощность	1213,4	389,0
Импортируемая мощность	146,6	20,0
Потребляемая мощность	1360,0	389,0

Суммарные потери активной мощности составляют $\Delta P_{\Sigma} = 48,42$ МВт, а в процентах **3,29%**.

Наименьшие напряжения наблюдаются в следующих узлах сети 110 кВ, которые в дальнейшем выбраны в качестве приоритетных узлов для установки источника реактивной мощности.

Таблица 3.

Приоритетные узлы для установки КУ

Номер узла	Напряжение U, кВ
103	103,05
104	100,68
109	99,23
110	95,20
111	101,56
112	96,37
113	91,80
123	105,49
124	102,55
139	100,07

Для второго сценария развития при подключении тяговых нагрузок к сети 220 кВ выбрана схема, представленная на рисунке 2.

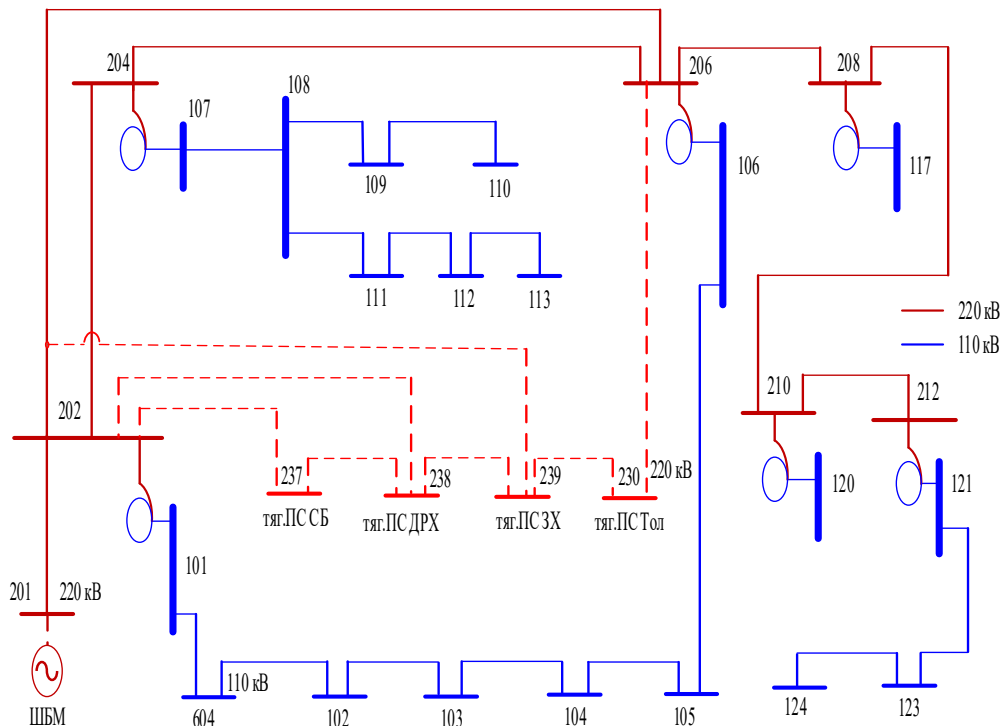


Рисунок 2. Фрагмент расчетной схемы тягового электроснабжения на 220/25 кВ

Таблица 4

Результаты балансирования режима

Баланс мощностей	P, МВт	Q, МВАр
Вырабатываемая мощность	1213,4	314,1
Импортируемая мощность	136,6	26,2
Потребляемая мощность	1350,0	342,0

Суммарные потери активной мощности составляют $\Delta P_{\Sigma} = 38,53$ МВт, а в процентах **2,85 %**.

Для этой схемы выбраны следующие узлы с заниженными напряжениями для дальнейшей оптимизации.

Таблица 5

Приоритетные узлы для установки КУ

Номер узла	Напряжение U, кВ
110	94,31
111	100,96
112	95,67
113	91,01
120	103,62
122	106,51
123	100,82
124	97,49

Оценка статической устойчивости электроэнергетической системы при электрификации железной дороги

Величина запаса статической устойчивости имеет существенное практическое значение. При изменениях режима системы он может приближаться к режиму, предельному по статической устойчивости. Такое приближение режима к предельному называется ухудшением или утяжелением режима. Имеющийся в данном режиме запас статической устойчивости определяет меру возможности ухудшения режима до нарушения статической устойчивости [14, 15].

До подключения тяговых нагрузок коэффициент запаса активной мощности в сечении по линии 220 кВ между шиной бесконечной мощности - Селендум и Дарханской подстанции:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{\text{ск}})}{P_{np}} \cdot 100\% = \frac{282,74 - (69,96 + 22)}{282,74} \cdot 100\% = 67,47\%$$

Коэффициент запаса по напряжению в точке утяжеления:

$$K_U = \frac{U - U_{\text{кр}}}{U} \cdot 100\% = \frac{116,62 - 74,31}{116,62} \cdot 100\% = 36,28\%$$

Коэффициент запаса активной мощности и коэффициент запаса по напряжению в точке утяжеления в том же сечении после подключения по первому сценарию схемы к сети 110 кВ:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{\text{ск}})}{P_{np}} \cdot 100\% = \frac{354,65 - (144,35 + 28)}{354,65} \cdot 100\% = 51,40\%$$

$$K_U = \frac{U - U_{\text{кр}}}{U} \cdot 100\% = \frac{110,34 - 96,59}{110,34} \cdot 100\% = 12,46\%$$

После подключения тяговых нагрузок по второму сценарию к сети 220 кВ:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{\text{ск}})}{P_{np}} \cdot 100\% = \frac{364,50 - (135,42 + 28)}{364,50} \cdot 100\% = 55,16\%$$

$$K_U = \frac{U - U_{\text{кр}}}{U} \cdot 100\% = \frac{110,43 - 93,05}{110,43} \cdot 100\% = 15,73\%$$

Обсуждение результатов

Расчеты статической устойчивости ЭЭС показали, что подключение тягового электроснабжения снижает коэффициент запаса статической устойчивости в нормальном режиме примерно на 15%. При этом снижение статической устойчивости при подключении тяги по первому сценарию больше. Тем не менее, коэффициент запаса статической устойчивости по мощности остается достаточно большим и превышает нормируемые 20%.

Однако коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в точке утяжеления снижается до 12% для первого сценария и до 15% для второго сценария подключения тяги. Эти значения напряжения уже являются предельными для утяжеленных режимов и приближаются к предельно допустимым коэффициентам запаса предаварийного режима по статической устойчивости ЭЭС. Это подтверждает необходимость повышения напряжения в тяговых узлах за счет подключения дополнительных компенсирующих устройств, выбор которых ранее осуществлялся по соображениям снижения потери активной мощности в электрической сети.

Заключение

В связи с подключением системы тягового электроснабжения произошло утяжеление нормальных режимов ЭЭС. Выполненные в данной работе исследования показали, для выбранного сечения по линии 220 кВ между Россией и Монголией коэффициент запаса статической устойчивости по мощности остается более 20%, что соответствует рекомендуемому значению коэффициента запаса по статической устойчивости. Наряду с этим коэффициент запаса устойчивости по напряжению недостаточен. Таким образом, подключение дополнительных компенсирующих устройств необходимо не только для снижения потерь, но и для повышения запаса статической устойчивости ЭЭС по напряжению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта №20-38-51007.

Литература

1. Анализ электроэнергетической системы после электрификации железной дороги / У. Бумцэнд, С. Таванхошуу, Ш.М. Султонов, Д.Б. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. № 1 (45). С. 79-84.
2. Источник: Правительство Монголии Министерство энергетики. 2017 (июль). <https://eneken.ieej.or.jp/data/7391.pdf> .
3. Манусов, В. З. Оценка потерь мощности из-за несимметрии по напряжению для систем электроснабжения скоростных железных дорог переменного тока / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 331-333.
4. U. Bumtsend, M. Safaraliev, A. Ghulomzoda, B. Ghoziev, J. Ahyoev and G. Ghulomabdolov, "The Unbalanced Modes Analyze Of Traction Loads Network," 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT), Yekaterinburg, Russia, 2020, pp. 0456-0459, doi: 10.1109/USBEREIT48449.2020.9117758.
5. Монголии: Углублённый обзор по инвестиционному климату и структуре рынка в электроэнергетическом секторе [Электронный ресурс]. URL: https://energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/ICMS/ICMSMongolia_2013_ru.pdf
6. Э. Энхсайхан, А. Г. Фишов. Анализ режимов и устойчивости электрической сети с распределенной малой генерацией южного региона Монголии // “Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика”: Р 154. Двадцать четвертая междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16марта 2018 г., Москва): Тез. докл.;
7. Bumtsend U., Manusov V., Kokin S., Safaraliev M., and Ahyoev J. “The Development of the Electric Power System After Railway Electrification.” Lecture Notes in Civil Engineering, vol 190, 2022, 217-230
8. Р.Ю.Семендяев, А. Г. Фишов, Э. Энхсайхан. Восстановление нормального режима в системах энергоснабжения, работающих автономно или параллельно с региональными электрическими сетями Р. Ю.Семендяев, А. Г. Фишов, Э. Энхсайхан // Новое в российской электроэнергетике: науч.-техн. электрон. журн.. - 2018. – № 11. – С. 50–61.
9. Манусов, В. З. Моделирование электромагнитного влияния скоростных железных дорог на системы электроснабжения / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 323-327.
10. Применение трансформаторов Скотта на тяговых подстанциях электрических железных дорог / Г. Н. Ворфоломеев, С. А. Евдокимов, П. В. Морозов, В. И. Сопов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 1. – С. 273-276.
11. Развитие электроэнергетической системы после электрификации железной дороги / У. Бумцэнд, Д.Д. Давлатшоев, Дж.С. Ахъев [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 1(53). – С. 24-30.
12. S. Kokin, et.al., "Optimization of electric power system modes by methods of artificial intelligence," 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/EPE51172.2020.9269195
13. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем: [учебник] / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 399 с
14. Манусов, В. З. Метод уравнивания мощностей на вторичных обмотках трансформаторов Скотта / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 4. – С. 62-67.
15. Распределенный расчет установившихся режимов электрических сетей / Т. А. Волкова, А. В. Лыкин, А. Г. Фишов, Э. Энхсайхан // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 44-49.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Бумцэнд Уянгасайхан	Бумсенд Уянгасайхан	Bumtsend Uyangasaikhan
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи давлатии илм ва технологияи Муғулистон, донишқадаи технологии Дархан	Монгольский государственный университет науки и технологии, Дарханский институт технологий	Mongolian State University of Science and Technology, Darkhan Institute of Technology
TJ	RU	EN
Ахъёев Чавод Саламшоевич	Ахъёев Джавод Саламшоевич	Ahyoev Javod Salamshoevich
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
javod@ttu.tj		
https://orcid.org/0000-0002-9869-288X		
TJ	RU	EN
Сафаралиев Муродбек Холмуродович	Сафаралиев Муродбек Холмуродович	Safaraliyev Murodbek Kholmurodovich
аспирант	аспирант	post-graduate student
Донишгоҳи Федералии Урал ба номи президенти якуми Россия Б.Н. Елсин	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина	Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
TJ	RU	EN
Матренин Павел Викторович	Матренин Павел Викторович	Matrenin Pavel Victorovich
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи давлатии техникии Новосибирск	Новосибирский государственный технический университет	Novosibirsk State Technical University
TJ	RU	EN
Саъдуллозода Шахриёр Саъдулло	Саъдуллозода Шахриёр Саъдулло	Shahriyor S. Sadullozoda
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Диёров (Диёрзода) Рустам Ҳакималиевич	Диёров (Диёрзода) Рустам Ҳакималиевич	Diyorov (Diyorzoda) Rustam Hakimalievich
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
diyorzoda@gmail.com +992907086969		
https://orcid.org/0000-0001-8513-9404		

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ХАТЛОНСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Р.Х. Диёров, О.М. Сайфуллоева, Ф.К. Шарипов

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Был произведен обзор и анализ ветроэнергетического потенциала Хатлонской области. На основе полученных материалов предложена наиболее подходящая ветротурбина.

Ключевые слова: дехканско-фермерские хозяйства, ветроэнергетический потенциал, ветроустановка, возобновляемые источники энергии, скорость ветра, ветротурбина.

ИҚТИДОРИ ЭНЕРГЕТИКАИ БОДИИ ҚИСМИ ВИЛОЯТИ ХАТЛОН ҚУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Диёров Р.Х., Сайфуллоева О.М., Шарипов Ф.К

Дар мақола баррасӣ ва таҳлили иқтидори энергетикаи бодии вилояти Хатлон сурат мегирад. Дар асоси маълумотҳои ба даст овардашуда турбинаи бодии мувофиқ ба вилояти Хатлон пешниҳод карда шуд.

Калимаҳои асосӣ: хоҷагиҳои дехқонӣ-фермерӣ, иқтидори энергетикаи бодӣ, дастгоҳҳои бодӣ, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, суръати шамол, турбинаи бодӣ.

WIND POWER POTENTIAL OF THE KHATLON REGION OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Diyorov R.H., Saifulloeva O. M., Sharipov F.K.

A review and analysis of the wind energy potential of the Khatlon region was made. Based on the materials obtained, the most suitable wind turbine was proposed.

Key words: dekhkan farms, wind energy potential, wind turbine, renewable energy sources, wind speed, wind turbine.

ВВЕДЕНИЕ

Мир не стоит на месте и постоянно развивается большими темпами. За последние два года наш мир столкнулся с глобальными проблемами, которые объединили все государства для их устранения.

Первая и не последняя пандемия COVID – 19, которая выявила множество проблем в мировой экономике, с последствиями, с которыми мы будем встречаться в ближайшие десять лет.

После пандемии страны пытаются вернуться до пандемийного периода, при этом сталкиваются с основной проблемой - энергетическим кризисом. После пандемии вырос спрос на нефтепродукты, уголь и электричество, что привело к быстрому росту цен, т.к. данные ресурсы невозможно быстро восполнить.

С увеличением спроса на электроэнергию, для восстановления экономики, с приходом зимы и чрезвычайно большим расходом электроэнергии, что привело к энергокризису, руководство большинства стран пошло на крайние меры, ввело веерное отключение электропотребителей.

Данная проблема подталкивает государства и ученое сообщество на изучение и разработку новых источников энергоресурсов.

Республика Таджикистан (РТ), как и большинство государств, столкнулась с дефицитом энергоресурсов. Для обеспечения электроэнергией отдаленных населенных пунктов и дехканско-фермерских хозяйств, которые находятся в труднодоступной горной местности, и дороговизны прокладки линий электропередач, необходимо развивать выработку электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии (ВЭИ).

Данная статья посвящена одному из направлений ВИЭ - определению ветроэнергетического потенциала Хатлонской области (ХО) РТ, для дехканско-фермерских хозяйств и возможности установки крупных ветроэнергетических установок.

В этой работе проанализированы данные 20 населенных пунктов Хатлонской области РТ за последние 12 лет. Для четырех населенных пунктов приведены графики изменения скорости ветра за один год и двенадцать лет (н.п. Дангара, н.п. Московский, н.п. Пяндж, н.п. Вахш (рисунки 1-8)) [1].

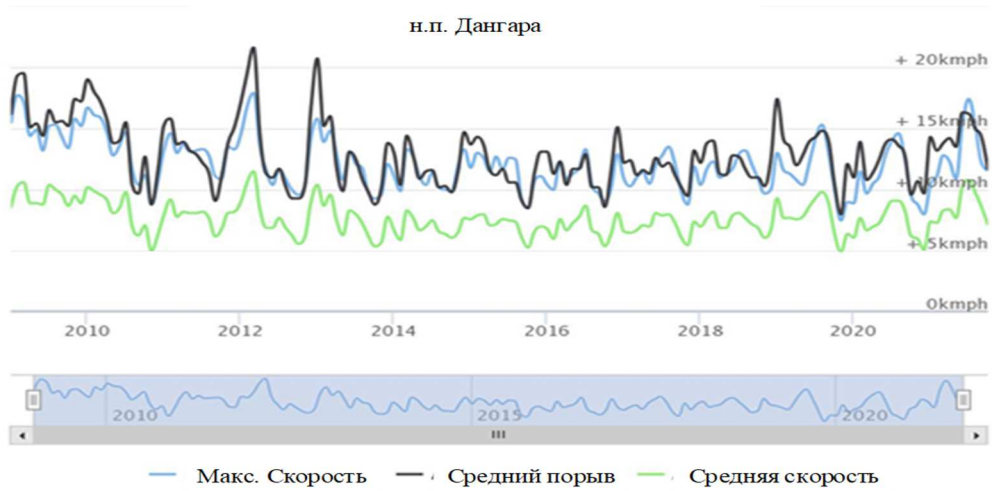


Рисунок 1. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Дангара.

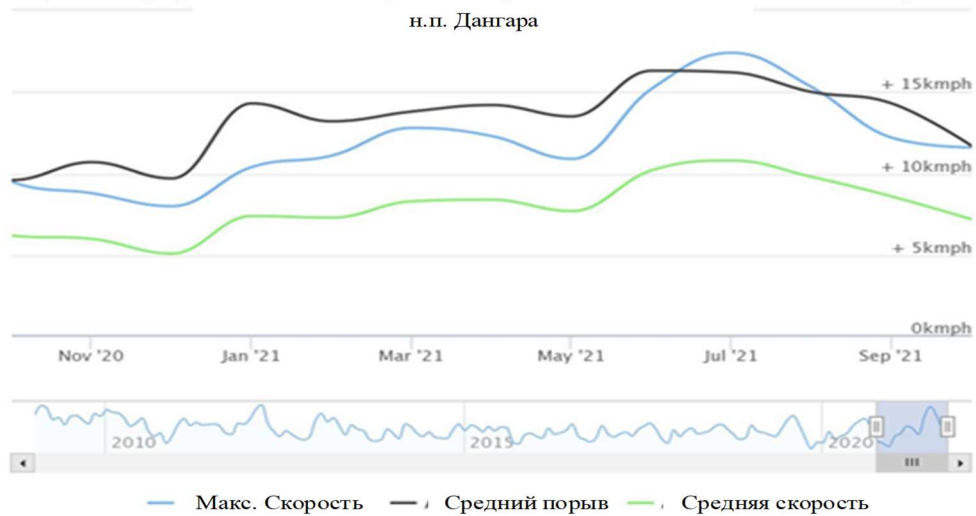


Рисунок 2. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Дангара.

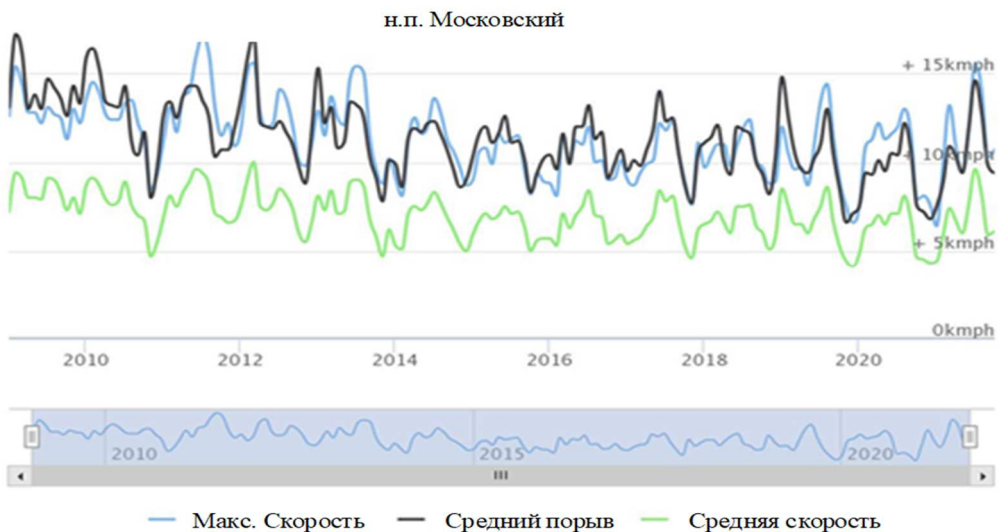


Рисунок 3. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Московский.

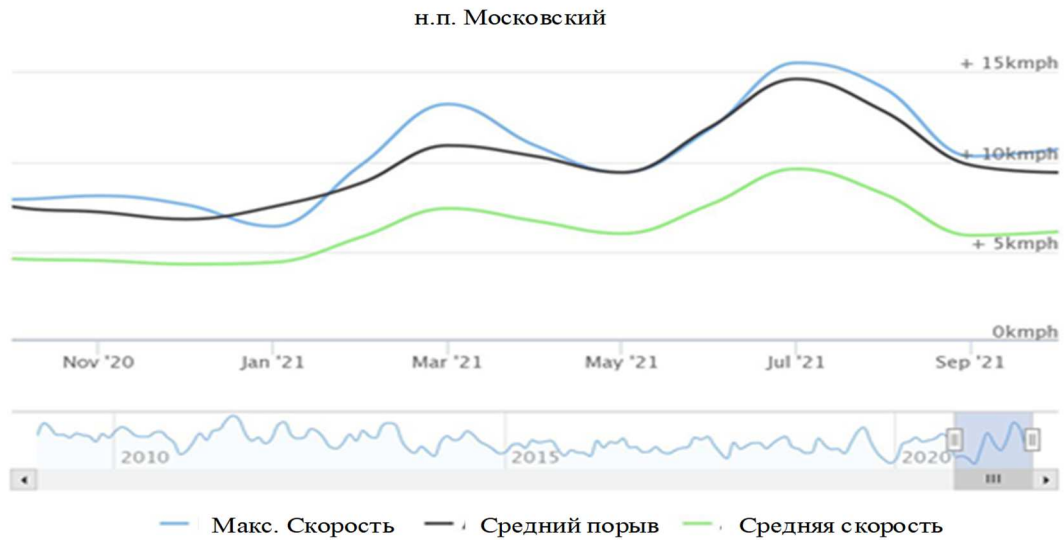


Рисунок 4. График изменения скорости ветра за последний год н.п. Московский.

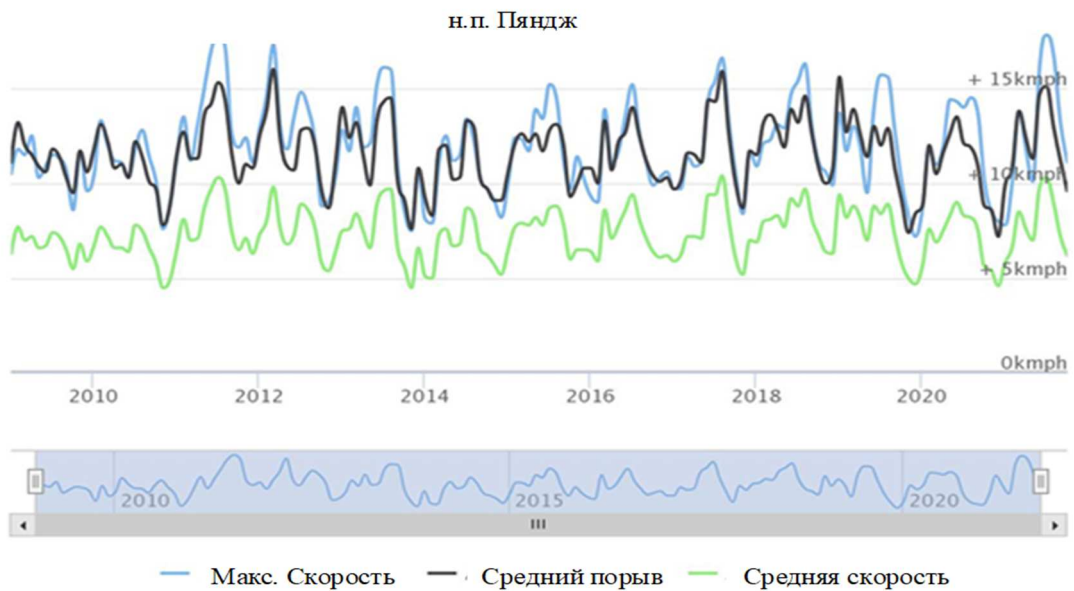


Рисунок 5. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Пяндж.

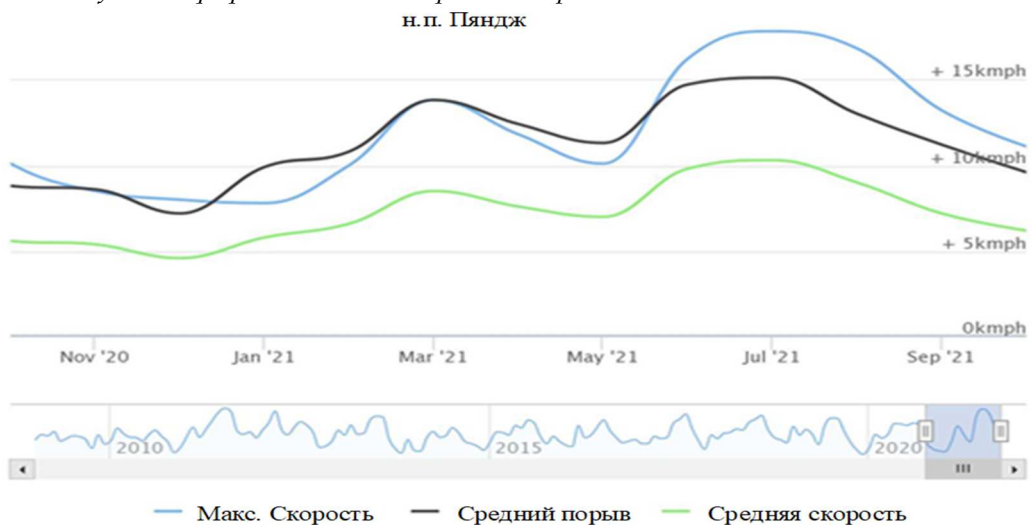


Рисунок 6. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Пяндж.

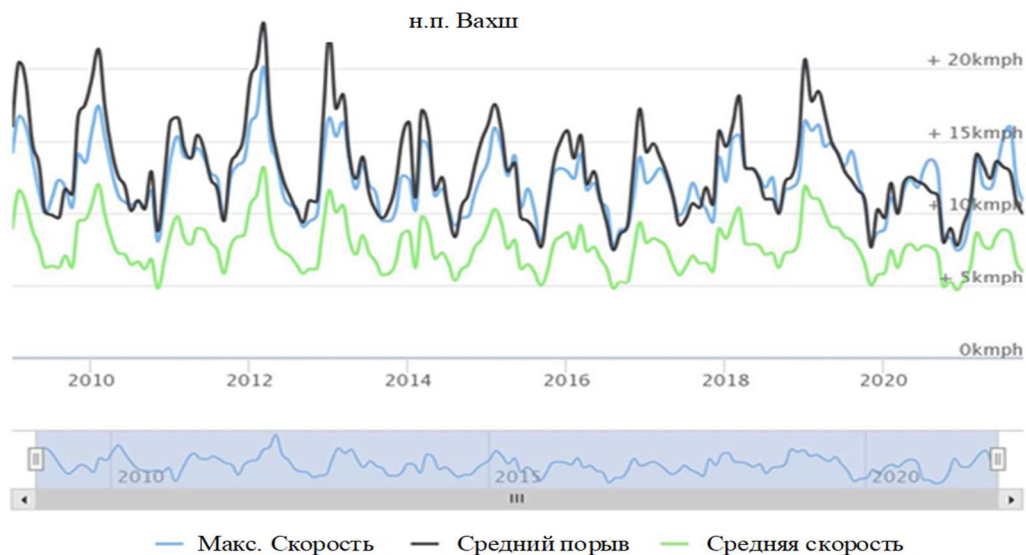


Рисунок 7. График изменения скорости ветра за последние 12 лет в н.п. Вахи.

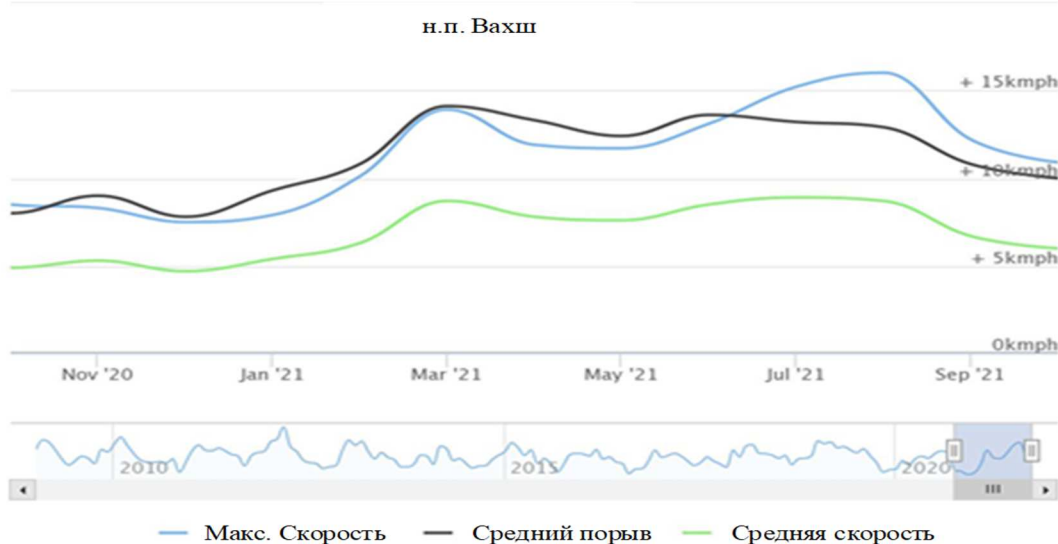


Рисунок 8. График изменения скорости ветра за последний год в н.п. Вахи.

На рисунках 1-8 приведены графики трех цветов - зелёный, голубой и черный.

Черным цветом показаны порывы ветра, голубым цветом - максимальная скорость ветра и зеленым цветом - средняя скорость ветра.

Как видно из приведенных графиков и таблицы 1 для двадцати районов Хатлонской области Республики Таджикистан, средняя скорость по Хатлонской области составляет 2,3 м/с, а средняя максимальная скорость по Хатлонской области составляет 3,56 м/с. По Хатлонской области можно выделить населенные пункты с более благоприятными скоростями ветра: г. Нурек средняя скорость ветра составила 2,9 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,45 м/с; н.п. Дангара средняя скорость ветра составила 2,8 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 3,35 м/с; район Дусти средняя скорость ветра составила 2,7 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 3,3 м/с; н.п. Шаартуз средняя скорость ветра составила 2,63 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,2 м/с; н.п. Джиликул средняя скорость ветра составила 2,68 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,22 м/с; село Пахтаобод Шахритузский район средняя скорость ветра составила 2,64 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,21 м/с; Село имени Сергея Кирова район Кушониён средняя скорость ветра составила 2,62 м/с, а средняя максимальная скорость ветра составила 4,28 м/с,.

Таблица 1.

Средняя скорость ветра в населенных пунктах Хатлонской области.

№	Название населенного пункта	Средняя скорость ветра м/с	Средняя макс. скорость ветра м/с	№	Название населенного пункта	Средняя скорость ветра м/с	Средняя макс. скорость ветра м/с
1	Бустонкала район Кушониён	2,2	3,45	11	Посёлок Муминабад	2,09	3,48
2	Село Чубек район Мир Сайид Алии Хамадони	1,9	3,12	12	Поселок Московский район Мир Сайид Алии Хамадони	1,94	3,11
3	Поселок Дангара	2,8	3,35	13	г. Норак	2,9	4,45
4	Район Дусти	2,7	3,3	14	Посёлок городского типа Пяндж	2,03	3,35
5	Поселок Фархор Фархарский район	1,98	3,16	15	Село Тугул Пянджский район	2,03	3,4
6	Село Джиликул район Дусти	2,68	4,22	16	Поселок Вахш	2,25	3,48
7	Село имени Сергея Кирова район Кушониён	2,62	4,28	17	Посёлок городского типа Шаартуз Шахритузский район	2,63	4,2
8	Поселок Кировский район Кушониён	2,15	3,47	18	Село Пахтаобод Шахритузский район	2,64	4,21
9	Посёлок Балх района Джалолиддина Балхи	2,22	3,37	19	Посёлок Темурмалик	2,1	3,33
10	г.Куляб	2,06	3,3	20	Посёлок городского типа Яван	2,17	3,26

Основным параметром региона для получения потенциальной энергии является скорость ветра.

Проанализировав таблицу 1, Хатлонскую область разобьем условно на части, по среднегодовой скорости ветра:

– менее 2 м/с, это такие населенные пункты Село Чубек район Мир Сайид Алии Хамадони, поселок Московский район Мир Сайид Алии Хамадони, поселок Фархор Фархарский район;

– от 2 до 5 м/с, к которым относятся остальные районы, из которых можно выделить г. Нурек средняя скорость ветра составляет 2,9 м/с и н.п. Дангара средняя скорость ветра составляет 2,8 м/с;

– более 5 м/с в Хатлонской области не были выявлены.

Из таблицы 1 видно, что даже средняя максимальная скорость ветра не превышает 5 м/с.

Теперь можно с уверенностью рекомендовать ветроэнергетические установки по рабочей скорости ветра [2,3,4,5].

При этом нужно уточнить, что скорость ветра распределена неравномерно по всей территории Хатлонской области Республики Таджикистан из-за её горно-равнинных участков и времени года. Из проведенного анализа скоростей ветра для Хатлонской области чаще всего скорость ветра изменяется от 1 до 3 метров. Из полученных результатов анализа следует выбрать и рекомендовать ВЭУ, подходящую для данного региона.

Наиболее распространённые ВЭУ – лопастные агрегаты с горизонтальным расположением оси и в зависимости от скорости ветра разделяются на двух-, трех- и многолопастные турбины, рисунок 9.

ВЭУ с тремя лопастями и горизонтальным расположением оси, которые наиболее распространены в мире (рисунок 9 б), при выработке номинальной мощности имеют рабочую скорость ветра в диапазоне от 8 до 15 м/с, при этом стартовая скорость ветра составляет 2,5-4 м/с. Отсюда делаем вывод, что данный тип ветротурбин не подходит для рассматриваемых регионов из-за большой рабочей скорости [2,3,4,5].

Наиболее благоприятными характеристиками обладают многолопастные ветротурбины (рисунок 9 в). Минимальная скорость ветра данных турбин составляет 0,5-1,5 м/с, номинальную мощность можно получить при скорости ветра 3-4 м/с [6].

Данные ветротурбины способны преобразовать в полезную работу очень слабые потоки воздуха. При усилении ветра они теряют преимущество, а на сильных ветрах проигрывают трехлопастным (рисунок 9 б). Потери на трение растут вместе со скоростью.

По многолопастным ветроэнергетическим установкам опыта эксплуатации маленький, но расчетные показатели и опыт говорят о более высокой эффективности.



Рисунок 9. Основные ветроэнергетические установки

ВЫВОДЫ

Проведя двенадцатилетний обзор и анализ Хатлонской области, были получены следующие результаты: средняя скорость по всем рассмотренным районам составила 2,3 м/с, а средняя максимальная скорость составляет 3,56 м/с. По Хатлонской области можно выделить населенные пункты с более благоприятными скоростями ветра г. Нурек, н.п. Дангара, район Дусти, н.п. Шаартуз, село Пахтаобод Шахритузский район, Село имени Сергея Кирова район Кушониён.

В рассмотренных регионах применение трехлопастных ветротурбин невозможно, т.к. рабочая скорость ветра составляет от 8 до 15 м/с. Наиболее подходящие ветротурбины – это многолопастные. Минимальная скорость ветра данных турбин составляет 0,5-1,5 м/с, а номинальную мощность можно получить при скорости ветра 3-4 м/с. Многолопастные ветротурбины способны преобразовать очень слабые потоки ветра в полезную работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.worldweatheronline.com>.
2. <http://vetronet.com>.
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В., Софийский И.Ю. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии. Учебное пособие. – Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности: «Спутник», 2018. — 276 с.
4. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П., Секторов В.Р. Ветроэлектрические станции. Москва-Ленинград, Государственное энергетическое издательство, 1960. – 320 с.
5. Mario Alejandro Rosato. Small Wind Turbines for Electricity and Irrigation Design and Construction. 2019 by Taylor & Francis Group, LLC.

6. Почанин Ю.С. «Монтаж и сервис оборудования по использованию возобновляемых источников энергии. Том 3. Монтаж и сервис ветроустановок» 2020. – 230 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Диёрров (Диёрзода) Рустам Ҳакималиевич	Диёрров (Диёрзода) Рустам Хакималиевич	Diyorov (Diyorzoda) Rustam Hakimalievich
н.и.т	к.т.н.	Candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
diyorzoda@gmail.com +992907086969 https://orcid.org/0000-0001-8513-9404		
TJ	RU	EN
Сайфуллоева Олуфтами Мируллоевна	Сайфуллоева Олуфтами Мируллоевна	Saifulloeva Oluftamo Mirulloevna
ассистент	ассистент	assistant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
diyorzoda@gmail.com		
TJ	RU	EN
Шарипов Фаридун Куваталиевич	Шарипов Фаридун Куваталиевич	Sharipov Faridun Kuvatalievich
докторант PhD	докторант PhD	PhD student
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Sharifzoda.F33@gmail.com		

УДК 621.311.24

МОМЕНТНО-СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВЫХ ТУРБИН ПРИ ОТСУТСТВИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛА РАЗВОРОТА ЛОПАСТЕЙ

Р.А. Джалилов

Таджикский технический университет им. М.С. Осими

В статье рассмотрены моментно-скоростные характеристики ветровых турбин при отсутствии регулирования разворота лопастей. Рассчитаны моментно-скоростные характеристики при различном выборе расчетной скорости ветра. Показано, что ветротурбины обладают существенно нелинейными моментно-скоростными характеристиками. Во всех рабочих режимах ветроколес при отсутствии регулирования устойчивость их работы на выделенную нагрузку, мощность которой не зависит от частоты, не обеспечивается. Устойчивая работа нерегулируемых ветроагрегатов возможна лишь в случае его параллельной работы с системой или агрегатами других типов, имеющих регуляторы частоты вращения.

Ключевые слова: ветровая турбина, моментно-скоростные характеристики, скорость ветра, электромагнитный момент, устойчивость.

ТАВСИФОТҶОИ МОМЕНТ-СУРЪАТИИ ТУРБИНАҶОИ БОДӢ БЕ ТАНЗИМИ КУНЧИ ГАРДИШИ ПАРРАЧАРҲҶО

Р.А. Чалилов

Дар мақола тавсифотҳои момент-суръати турбинаҳои бодӣ бе танзими кунчи гардиши паррачарҳҳо таҳқиқ карда шудаанд. Тавсифотҳои момент-суръатӣ барои интиҳоби гуногуни суръати ҳисобии бод сохта шудаанд. Нишон дода шудааст, ки турбинҳои бодӣ дорой тавсифотҳои момент-суръатии кағзияан ғайрихаттӣ буда, дар тамоми речаҳои кори ба бори ҷудоғонае, ки иқтидори он аз басомад вобаста нест, дар ҳолати набудани танзими кунчи гардиши паррачарҳҳо устувории кори онҳо таъмин карда намешавад. Кори устувори турбинаҳои бодӣ бе танзими кунчи гардиши паррачарҳҳо танҳо дар ҳолати кори мувозӣ бо система ё агрегатҳои навҳои дигари дорой танзимгари басомади ҷарҳзанӣ имконпазир аст.

Калимаҳои калидӣ: турбинаи бодӣ, тавсифотҳои момент-суръатӣ, суръати бод, моменти электромагнитӣ, устуворӣ.

MOMENTAL-SPEED CHARACTERISTICS OF WIND TURBINES IN THE ABSENCE OF REGULATION OF THE ANGLE OF TURN OF THE BLADES

Rustam A. Dzhalilov

The following article considers the moment and speed characteristics of wind turbines in the absence of blade rotation control. The moment-speed characteristics are calculated for different choice of the wind speed. It is shown that wind turbines have significantly nonlinear moment-speed characteristics and in all operating modes of wind turbines in the absence of regulation, the stability of their operation to a dedicated load, the power of which does not depend on frequency, is not ensured. Stable operation of unregulated wind turbines is possible only in case of its parallel operation with a system or other types of units with speed controllers.

Key words: wind turbine, moment-speed characteristics, wind speed, electromagnetic moment, stability.

Введение

Моментно-скоростные характеристики типовых турбин (гидравлических, паровых турбин, дизелей и т.д.), оснащенных первичными регуляторами частоты вращения, представляют собой прямые, статизм регулирования которых мало незначительно зависит от коэффициента саморегулирования. Как было отмечено в [1], моментно-скоростные характеристики ветровых турбин имеют особенности, связанные не только с нелинейностью зависимости коэффициента использования скорости ветра от частоты вращения, но и своей существенной нестабильностью из-за непостоянства скорости ветра.

Рассмотрим эти особенности применительно к ветровым турбинам при отсутствии регулирования угла разворота лопастей.

Выбор расчетной скорости ветра ветроагрегата

Мощность ветровой турбины описывается следующим аналитическим выражением [2]:

$$P_B = \frac{\pi \rho u^3 R^2}{2} \xi(z, \varphi) \quad (1)$$

$$z = \frac{\omega R}{u}$$

где R- радиус ветроколеса, ρ - массовая плотность воздуха, u - скорость ветра, $\frac{\omega R}{u}$ – число модулей быстроходности колеса, φ - угол разворота лопастей, ξ - коэффициент использования энергии ветра, представляющий собой отношение полезной механической мощности вращающегося колеса к полной мощности воздушного потока, ометаемого ветроколесом.

Аналитическое определение коэффициента ξ , входящего в уравнение (1) для каждого конкретного ветроколеса и режима его работы достаточно сложно. В этой связи при определении ξ используют, как правило, аэродинамические характеристики, получаемые в результате продувки моделей ветроколес в аэродинамических трубах или прямых измерений турбины при её работе [3,4].

На рис.1. в качестве примера показаны аэродинамические характеристики для ветроколес с профилем лопастей NASA-230.

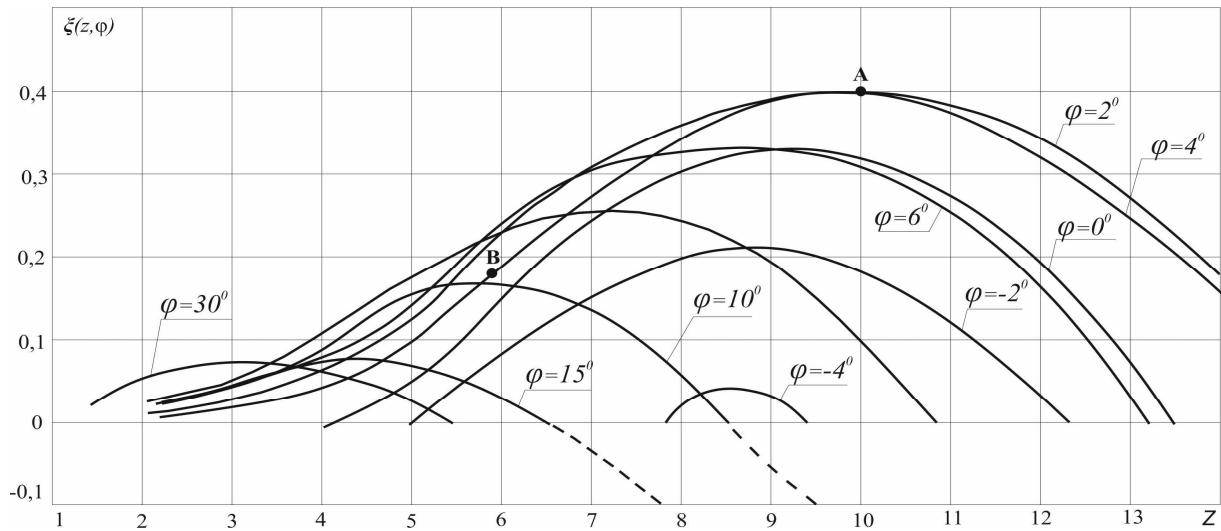


Рис.1. Аэродинамические характеристики $\xi(Z, \varphi)$ ветроколеса с профилем лопастей NASA-230

Существуют два подхода к выбору расчетной скорости ветра и отвечающей ей рабочей точки на аэродинамической характеристике ветроколеса. Согласно первому из них расчетная скорость для заданного ветроэнергетического кадастра района обосновывается технико-экономическими расчетами и отвечающая этой расчетной скорости рабочая точка на аэродинамической характеристике ветроколеса, как правило, находится вблизи точки А (рис.1), соответствующей максимальному значению коэффициента ξ . Очевидно, что при скоростях ветра, больших расчетной, в этом случае возникает необходимость ограничения мощности ветроколеса, т.е. регулирования угла φ разворота лопастей.

Анализ аэродинамических характеристик показывает, что при повышенных скоростях ветра ($z \leq z_n$, z_n - число модулей, соответствующее номинальной скорости ветроколеса) снижение мощности можно осуществить регулированием лопастей как в сторону ее флюгерного положения (в направлении увеличения угла φ), так и в противоположную сторону, т.е. в зону отрицательных углов. Первый принцип регулирования нашел применение для ветроколес средней и большой мощности, второй – для агрегатов малой мощности.

Второй подход к выбору расчетных условий ветроагрегатов заключается в использовании так называемого принципа самоограничения мощности. Этот принцип наглядно иллюстрируется зависимостью рис.2., из рассмотрения которой следует, что согласно этого принципа при достижении определенной (критической) скорости ветра $u_{кр}$ (в рассматриваемом случае $u_{кр} = u_p = 1$) в дальнейшем с её ростом развиваемая ветроколесом мощность практически не меняется.

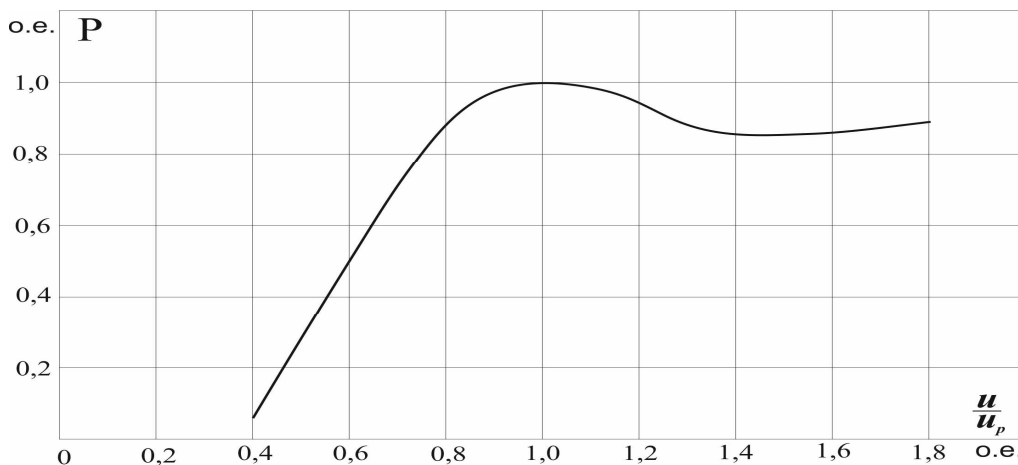


Рис.2. Зависимость мощности ветроколеса с самоограничением мощности (профиль лопастей NASA-230) от скорости ветра.

Последнее объясняется увеличением угла атаки лопасти сверх критического значения, при котором происходит резкое снижение коэффициента подъёмной силы и возрастание коэффициента профильного сопротивления крыла, и лишь при значительных превышениях скорости ветра можно наблюдать медленный рост мощности. Таким образом, выбор в качестве расчетной скорости ветра, отвечающей номинальной мощности агрегата, значения $u_{кр}$, при котором достигается максимум характеристики мощности позволяет избегать перегрузок агрегата при отсутствии средств регулирования. Последнее повышает его надежность, однако расчетная скорость ветра в этом случае может значительно превышать экономически целесообразную. Для ветроколес с профилем лопастей NASA-230 отмеченный выше характер изменения мощности в функции скорости ветра имеет место при условии, если расчетной скорости ветра будет соответствовать положение В на аэродинамической характеристике рис. 1. Величина этой расчетной скорости в 1,7-1,8 раза превышает скорость ветра, отвечающую максимуму коэффициента использования скорости ветра ξ .

Моментно-скоростные характеристики ветротурбин

Рассмотрим вначале моментно-скоростные характеристики ветротурбин при выборе рабочей точки, соответствующей расчетной скорости ветра, на максимуме аэродинамической характеристики. На рис. 3,4 приведены рассчитанные по выражению (1) моментно-скоростные характеристики ветротурбины с профилем лопастей NASA-230 при $\varphi=2^0=const$ и различных исходных скоростях ветра.

Анализ зависимостей (рис.3,4) показывает, что ветротурбины обладают существенно нелинейными статическими характеристиками. При каждом значении скорости ветра существует частота $\omega_{кр}$ вращения, при которой мощность турбины максимальна. На участке $\omega < \omega_{кр}$ мощность турбины с ростом ω увеличивается, а при $\omega > \omega_{кр}$ падает. Значительные изменения скорости ветра приводят при $\omega \cong \omega_{кр}$ (случай, когда ветроагрегат работает параллельно с системой или с агрегатами других типов, имеющих регуляторы частоты вращения) к существенным колебаниям мощности турбины. Так, при изменениях скорости ветра в диапазоне (0,7...1,5 u_p) мощность меняется от 0,4 до 2,25 P_n .

При повышенных скоростях ветра ($z \geq z_n$, z_n - число модулей, соответствующее номинальной скорости ветроколеса) снижение мощности можно осуществить регулированием лопастей как в сторону ее флюгерного положения (в направлении увеличения угла φ), так и в противоположную сторону, т.е. в зону отрицательных углов. Первый принцип регулирования нашел применение для ветроколес средней и большой мощности, второй – для агрегатов малой мощности.

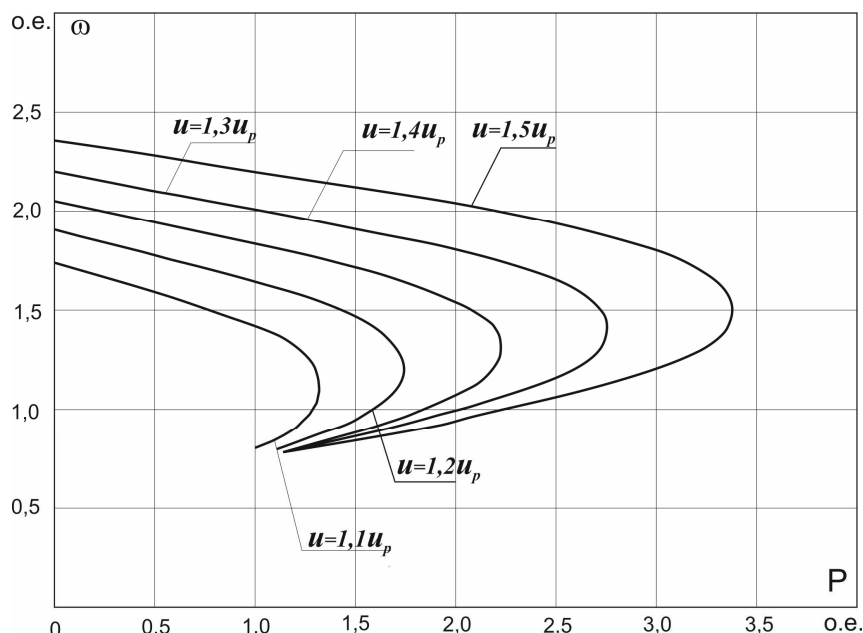


Рис. 3. Моментно-скоростные характеристики ветроколеса при $u > u_p$ и отсутствии регулирования ($\varphi=2^0=const$).

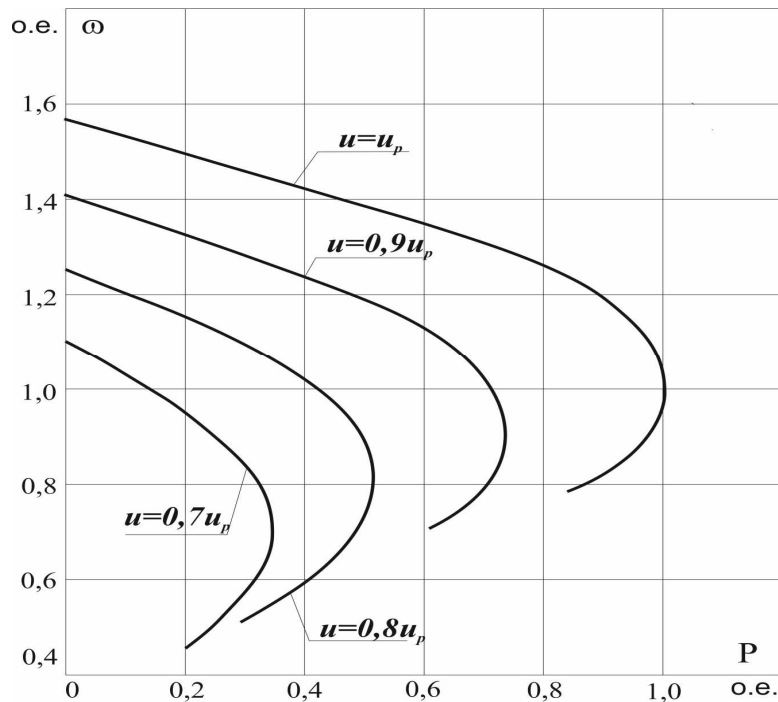


Рис. 4. Моментно-скоростные характеристики ветроколеса при $u < u_p$ и отсутствии регулирования ($\varphi = 2^\circ = \text{const}$).

Рассмотрим теперь моментно-скоростные характеристики ветротурбины с самоограничением мощности. На рис. 5 и рис. 6 показаны характеристики для ветроколес с профилем лопастей NASA-230 для различных исходных скоростей ветра.

Расчет мощности ветровой турбины $P_{\text{в}}$ производился по выражению (1), а в качестве рабочей точки, соответствующей расчетной скорости ветра, была выбрана точка на аэродинамической характеристике, для которой $\varphi = 2^\circ$, $Z_0 = 5,9$, $\xi_0 = 0,18$.

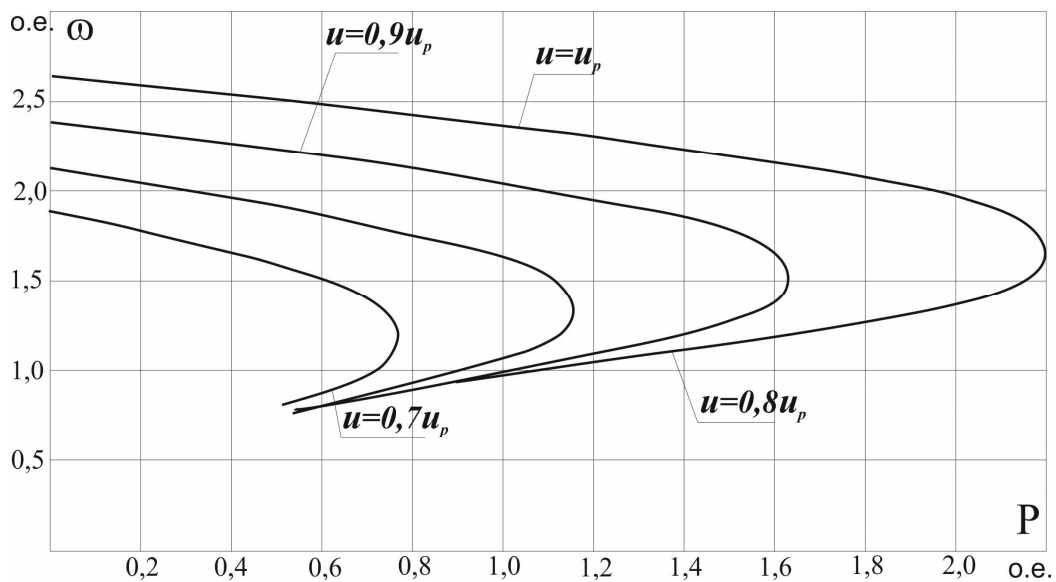


Рис. 5. Моментно-скоростные характеристики ветроколеса с самоограничением мощности при $u \leq u_p$

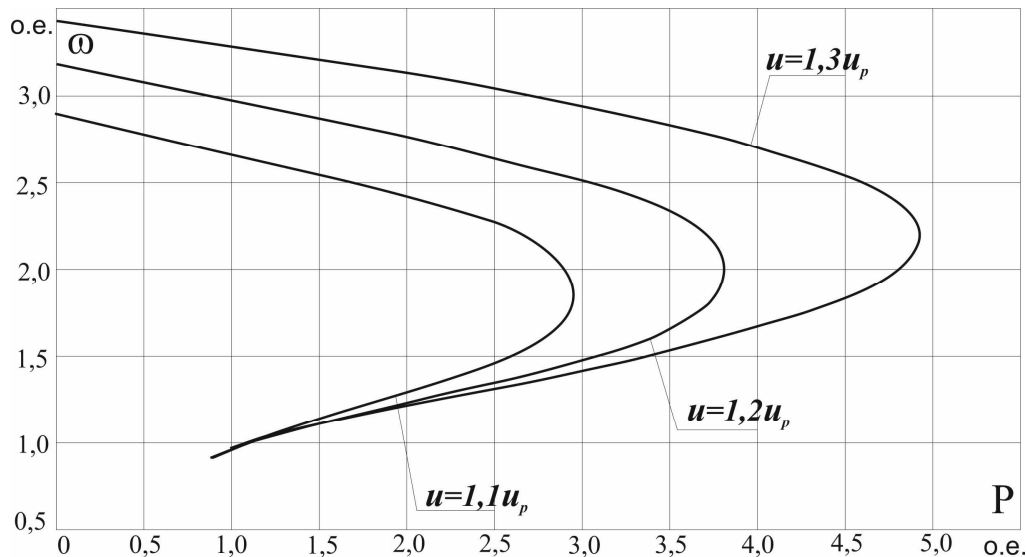


Рис.6. Моментно-скоростные характеристики ветроколеса с самоограничением мощности при $u > u_p$

Из построений, выполненных на рис.5 и рис.6, видно, что режиму работы таких ветротурбин при любых исходных скоростях ветра соответствуют нижние участки кривых $P(\omega)$, пересекающиеся с прямой $\omega=1$. Этим участкам кривых отвечает отрицательный статизм, т.е. $dP_e/d\omega > 0$. Ввиду сказанного, возникает вопрос: будет ли обеспечиваться устойчивость работы такого ветроколеса.

Рассмотрим вначале данный вопрос применительно к простейшей системе турбина – генератор – нагрузка. В этом случае уравнение движения ротора можно представить в следующем виде:

$$\frac{T_J}{\omega} p \omega = M_g - M_e, \quad (2)$$

где M_g и M_e – момент, развиваемый ветротурбиной, и электромагнитный момент генератора соответственно, T_J – инерционная постоянная агрегата, p – символ дифференцирования.

Переходя к малым возмущениям, получим:

$$\frac{T_J}{\omega_0} p \omega = \Delta M_g - \Delta M_e \quad (3)$$

Пренебрегая активными сопротивлениями фазных обмоток статора генератора, можно записать:

$$M_e = \frac{P_e}{\omega} = \frac{P}{\omega} \quad (4)$$

или

$$\Delta M_e = \frac{\frac{dP}{d\omega} \omega_0 \Delta \omega - P_0 \Delta \omega}{\omega_0^2} \quad (5)$$

где P_e , P – электромагнитная мощность на валу и электрическая мощность генератора соответственно, ω_0 – синхронная частота вращения.

Аналогично, с учетом того, что

$$M_g = \frac{P_g}{\omega}, \quad (6)$$

имеем

$$\Delta M_{\text{в}} = \frac{\frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} \omega_0 \Delta\omega - P_{\text{в}0} \Delta\omega}{\omega_0^2} \quad (7)$$

После подстановки (5) и (7) в выражение (3) приходим к следующему выражению:

$$\frac{T_J}{\omega_0} p \omega = \left(\frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} - \frac{dP}{d\omega} \right) \Delta\omega \quad (8)$$

характеристическое уравнение которого имеет вид:

$$\frac{T_J}{\omega_0} \bar{p} = \frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} - \frac{dP}{d\omega} \quad (9)$$

где \bar{p} - оператор.

Отсюда,

$$\bar{p} = \frac{\frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} - \frac{dP}{d\omega}}{T_J} \quad (10)$$

т.е. рассматриваемая система устойчива лишь при условии

$$\left(\frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} - \frac{dP}{d\omega} \right) < 0 \quad (11)$$

При задании нагрузки шунтом постоянной проводимости уравнение устойчивости (11) примет вид:

$$\frac{dP_{\text{в}}}{d\omega} < 0 \quad (12)$$

Заключение

Анализ полученных моментно-скоростных характеристик ветроколес показывает, что ветротурбины обладают существенно нелинейными статическими характеристиками.

Из характеристики $P_{\text{в}}(\omega)$, приведенных на рис.5 и рис.6, следует, что во всех рабочих режимах ветроколес с самоограничением мощности $dP_{\text{в}}/d\omega > 0$, т.е. устойчивость их работы на выделенную нагрузку, мощность которой не зависит от частоты, не обеспечивается.

Рассмотрение характеристик $P_{\text{в}}(\omega)$, приведенных на рис.3 и рис.4 показывает, что данное положение в полной мере распространяется на нерегулируемые ветроколеса, номинальному режиму которых соответствует точка на максимуме аэродинамических характеристик $\xi(z, \varphi)$.

Устойчивая работа ветроагрегата с самоограничением мощности и нерегулируемого ветроколеса, номинальному режиму которого соответствует точка на максимуме аэродинамических характеристик $\xi(z, \varphi)$, возможна лишь в случае их параллельной работы с системой или агрегатами других типов, имеющих регуляторы частоты вращения.

Литература:

1. Джалилов Р.А., Рагозин А.А. Особенности параллельной работы ветроагрегатов с регулированием угла разворота лопастей и дизель-генераторов// Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений) -1992 -№1 - С. 41-46.
2. Ahmed G. Abo-Khalil., Saeed Alyami., Khairy Sayed., Ayman Alhejji. Dynamic modeling of wind turbines based on estimated wind speed under turbulent conditions// Energies 2019, 12, 1907; doi:10.3990/en12101907.
3. Самохвалов Д.В., Джабер А.И. Математическая модель ветротурбины малой мощности с горизонтальной осью // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». -2019.-№9.- С.65-69.

4. Обухов С.Г., Сарсикеев Е.Ж. Математическая модель ветротурбины малой мощности в MATLAB SIMULINK// Альтернативная энергетика и экология: Международный научный журнал. -2012.-№2.-С.42-48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Чалилов Рустам Абдухамидович	Джалилов Рустам Абдухамидович	Dzhalilov Rustam Abduhamidovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Ph.D., associate professor
ДТТ ба номи академик М.С.Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M. Osimi
drustam@mail.ru		
ORCID Id 0000-0001-5848-9855		

АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАМИРА С УЧЕТОМ РОСТА ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ

Худжасаидов Дж. Х.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Изучены особенности энергосистемы Памира, которые возникают в связи с тем, что генерация включает исключительно ГЭС, а нагрузка преимущественно бытовая. Электроэнергетическая система Памира нуждается в оптимизации, так как на данный момент из 11 ГЭС электрически связаны лишь 3, а в перспективе планируется связать все станции и всех потребителей в единую энергосистему, а также строительство новой гидроэлектростанции Себзор. Также в дальнейшем планируется укрепление электрической связи с Афганистаном. В ходе работы изучены особенности гидроэлектростанций, работающих в каскаде, характерные свойства электроэнергетической системы Памира, а также расчет максимального режима, характерного для зимнего периода данной системы. Выявлено влияние новой станции на режимные параметры.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, режим, электрическая нагрузка, потери напряжения, потери мощности, эффективность.

ТАХЛИЛИ РЕЪАИ КОРКУНИИ СИСТЕМАИ ЭЛЕКТРИКИИ ПОМИР БО НАЗАР ГИРИФТАНИ АФЗОИШИ ИКТИДОРХОИ ИСТЕХСОЛКУНАНДА

Хучасаидов Ҷ.Х.

Хусусиятҳои системаи энергетикӣи Помир мавриди омузиш қарор доранд, ки сабаби мавҷудияташон тавлиди энергияи электрикӣ танҳо тавассути нерӯгоҳҳои барқи обӣ буда қисми зиёди бори электрикӣ бори маишӣ ташкил медиҳад. Системаи энергетикӣи Помир ба оптималикунонӣ ниёз дорад, зеро дар айни замон аз 11 нерӯгоҳи барқи обӣ танҳо 3-тоаш ба электрикӣ бо ҳам пайваست буда, дар оянда сохтмони нерӯгоҳи нави барқи обӣ Себзор ва пайваст кардани тамоми нерӯгоҳҳо ва хамаи истеъмолкунандагон ба системаи ягонаи энергетикӣ ба нақша гирифта шудааст. Қарор аст, ки дар оянда ирриботи барқи обӣ Афғонистон таҳким ёбад. Дар мақола хусусиятҳои силсилаи станцияҳои электрикӣи обӣ, хосиятҳои хоси системаи электрикӣи Помир, инчунин реҷаи максималии бори электрикӣ дар давраи зимистон омухта шуда, таъсири нерӯгоҳи Себзор ба параметрҳои реҷаи системаи энергетикӣи Помир ошкор карда шудааст.

Калидвожаҳо: нерӯгоҳҳои барқи обӣ, реҷа, бори электрикӣ, талафи шиддат, талафи барқ, самаранокӣ.

ANALYSIS OF THE OPERATION MODE OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF THE PAMIRS TAKING INTO ACCOUNT THE GROWTH OF GENERATING CAPACITIES

Khujasaidov J. Kh.

The features of the Pamir power system, which arise due to the fact that generation includes exclusively hydroelectric power stations, and the load is predominantly household, are studied. The electrical power system of the Pamirs needs to be optimized, since at the moment only 3 out of 11 hydroelectric power stations are electrically connected, and in the future it is planned to build a new 10 MW Sebzor hydroelectric power station and connect all stations and all consumers into a single energy system. It is also planned to strengthen the electrical connection with Afghanistan in the future. In the course of the work, the features of hydroelectric power plants operating in a cascade, the characteristic properties of the Pamir electric power system, as well as the calculation of the maximum mode characteristic of the winter period of this system, were studied. The influence of the new station on the regime parameters was revealed. Key words: hydroelectric power plants, mode, electrical load, voltage losses, power losses, efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетическая система Памира состоит из четырех изолированных электроэнергетических подсистем:

1. Основная сеть
2. Мургабские малые сети от малой ГЭС
3. Бартангские изолированные малые ГЭС
4. Дарвазско-Ванчская энергосистема

Компания «Памир Энерджи» эксплуатирует 11 малых ГЭС общей установленной мощностью 42 мвт. Крупнейшая ГЭС «Памир-1» с установленной мощностью 28 мвт. Кроме основной сети, остальные испытывают большой дефицит мощности и электроэнергии даже в летний период.

Планируется строительство новой гидроэлектростанции на реке Шохдара в Себзорском районе в 20 километрах от областного центра Хорога. ГЭС будет выполнять важные системные функции: покрытие дефицита существующих генерирующих мощностей, частотное регулирование и др. По оценкам экспертов, станция должна быть построена в ближайшие три года. Это действительно трудная задача, но без строительства Себзорской ГЭС невозможно завершить более крупный гидроэнергетический проект Санободская ГЭС на реке Пяндж и другие важные и крупные проекты в ГБАО [1,2].

Опыт проектирования и строительства таких гидроэнергетических объектов в Таджикистане показывает, что проектируемая Себзорская ГЭС с учетом требований Бадахшанской энергосистемы технически целесообразна и экономически абсолютно выгодна.

Краткая характеристика объекта

Для обеспечения максимальной нагрузки энергосистемы в зимний период «Памир Энерджи» нуждается в дополнительных генерирующих мощностях.

Зона охвата проекта

Поскольку Себзорская ГЭС будет работать в составе центральной локальной энергосистемы, ее зону покрытия следует рассматривать с учетом расширения энергоснабжения этой станции и возможного подключения к Ванч-Дарвазской энергосистеме.

Известно, что в летнее время количество часов использования установленной мощности всех гидроэлектростанций резко сокращается из-за отсутствия спроса на электроэнергию.

Также необходимо провести комплексное исследование для уточнения фактического экспорта электроэнергии в афганский Бадахшан.

Потребляемая мощность и нагрузка

Как было сказано выше, электроэнергетическая система Бадахшана состоит из четырех электрически изолированных линий электропередач с собственными источниками электроэнергии. Наиболее крупной из них по величине установленной мощности является магистральная сеть, включающая пять малых ГЭС, вырабатывающих более 97% электроэнергии системы [3,4]. Следовательно, она является фундаментальной основой электроэнергетической системы Бадахшана. Ее расширение за счет строительства новых источников энергии позволит объединить все электростанции в единую систему управления, что значительно повысит эффективность и надежность электроснабжения потребителей.

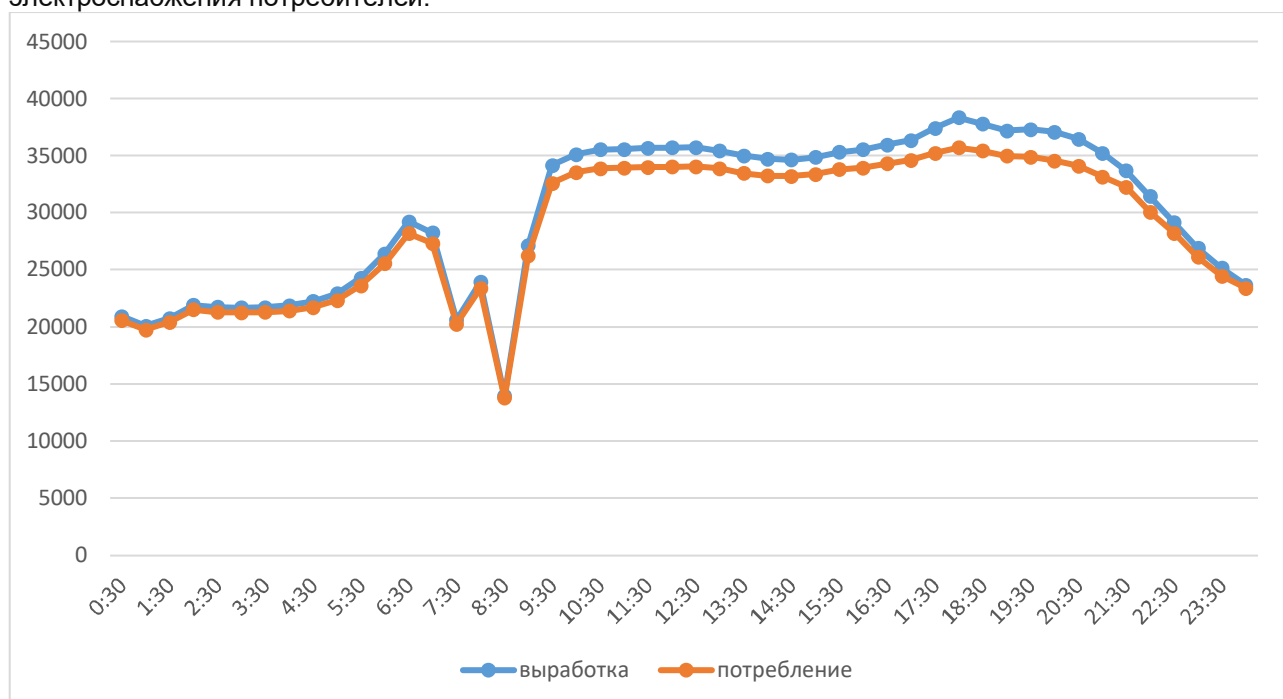


Рисунок 1. Прогнозируемая суточная потребность в зимней нагрузке

Схема распределения питания

Как упоминалось выше, строительство новой линии электропередач для распределения электроэнергии Себзорской ГЭС в местной системе не планируется, поскольку есть линия достаточной пропускной способности и соответствующего типа напряжения.

Как следует из базового проекта, установленная мощность ГЭС равна гарантированной зимней мощности реки с расчетным напором 125м. Максимальный расход воды через турбины составляет всего 25% от среднегодового расхода реки в Парзудже. Отсюда очевидно, что производственное оборудование будет работать с необычно высоким коэффициентом загрузки, т.е. около 80-90% времени станция будет работать на полную мощность.

Неиспользованный потенциал реки будет значительно выше, чем объем воды, используемый турбинами станции. 75% ресурсов реки останутся нетронутыми. Сегодня около 50% установленной мощности системы приходится останавливать из-за снижения потребности в нагрузке в летний период (6 месяцев).

Характерные особенности рассматриваемого объекта

Таджикистан по гидроэнергетическим ресурсам входит в число десяти развитых стран мира и занимает одно из первых мест в мире по потенциалу производства гидроэлектроэнергии на душу населения.

Памир, который является объектом исследования в данной работе, расположен в Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) в восточной части вышеупомянутой республики и является в ней самым крупнейшим регионом с занимаемой территорией свыше 64,2 тыс. км² (44,5 % от общей площади республики Таджикистан). Что касается населения (потенциальных потребителей нагрузки), то территория Памира заселена слабо и неравномерно: численность населения региона составляет 212,9 тыс. чел., из которых 14 % проживают в городских поселениях, а 86 % - в сельской местности.

Главной характерной особенностью Памира является то, что его энергосистема является изолированной, и в силу недостаточной производительности крупных производственных мощностей – энергообеспечение в регионе носит социальный характер.

Основными потребителями электроэнергии области являются население, государственные организации и малый бизнес. Электроэнергия в основном используется как энергоноситель для приготовления пищи, отопления, освещения и выполнения механической работы (двигательная нагрузка). Распределение расхода электроэнергии по процессам для городского населения следующее: пищеприготовление - 40 %, отопление -50%, освещение и т.д. - 10%. Для сельских же потребителей эти значения распределяются по-другому: пищеприготовление - 75%, отопление - 15 % и освещение и т.д. - 10 % [2,3,4].

Анализ процесса электропотребления показывает, что за последние годы произошли определенные количественные изменения в структуре электропотребления области, хотя доля населения в нем достаточно высокая, однако она падает, а процент участия коммерческих структур постепенно растет.

Учитывая изменчивость и неповторимость речного стока, задача управления режимами ГЭС - очень сложна. Цель ее решения – рациональное использование водных ресурсов, которая приведет к решению задачи эффективного управления режимами ГЭС.

Гидроэнергетические ресурсы изменяются в широких пределах, для многих станций до 20...30% и их рациональное управление зависит:

- от величины стока, его изменчивости, схемы его использования и гидрографа реки;
- требований энергосистемы к ГЭС;
- технологического процесса режима оборудования и многих технических особенностей ГЭС.

На величину стока и гидрографа повлиять нельзя, это природный процесс. Более того, он непредсказуем. Известно, что никогда гидрографы на реках не повторяются (факторы объективной неопределенности). Эффективность использования водно-энергетических ресурсов при различных условиях может изменяться на 10...15% [5]. Режим оборудования и технологический процесс могут изменить эффективность использования водно-энергетических ресурсов, подведенных к ГЭС, на 3...5%. Гидростанции имеют очень высокий КПД, порядка 93...95%. Таким образом, если действовать рационально, можно получить на ГЭС существенное увеличение выработки электроэнергии.

Гидростанции, работающие в энергосистеме, связаны между собой режимом электроснабжения потребителей и техническими связями по ЛЭП. Каскады ГЭС связаны используемым водотоком. Все это должно учитываться при разработке правил управления оптимальными режимами работы ГЭС. Современные условия – это компьютеризация задачи оптимизации с использованием возможностей моделирования, математических методов и информационных технологий. Поскольку гидростанции имеют разные гидроэнергетические свойства, то это серия алгоритмических блоков. Это первый этап построения общей схемы планирования на уровне ЭЭС. По значимости этот блок чрезвычайно важен для Памирской системы, поскольку она несет ответственность по надежности энергоснабжения. Планирование режима необходимо проводить в цикле непрерывной корректировки и предусматривать эти расчеты в алгоритме [5,6,7].

Если изменится бытовая приточность или режим использования водных ресурсов водохранилища, то изменится и возможность ГЭС. Степень регулирования стока гидростанции определяется соотношением объема водохранилища и величины стока реки для расчетного года.

Как было ранее отмечено, в состав основного гидроузла Памирской энергетической системы входят ГЭС «Памир-1», ГЭС «Хорог» и ГЭС «Намадгут».

Хорогская гидроэлектростанция и ГЭС Намадгут относятся к станциям без регулирования стока. На таких станциях используется только естественный расход реки, поэтому их мощность в любой момент времени определяется значениями бытовых расходов. Рассматриваемые ГЭС должны работать в базовой части суточного графика нагрузки, т.к. при таком расположении гидростанций в графике нагрузки приточность реки используется наиболее полно. При работе в пиковой части неизбежно возникают холостые сбросы излишков воды, а, следовательно, и неоправданные потери энергии. Другими словами, ГЭС без регулирования стока не может регулировать мощность, и ее режим является

вынужденным. Ее рабочая мощность не регулируется, резервов такая станция не несет, при изменении приточности меняется рабочая мощность.

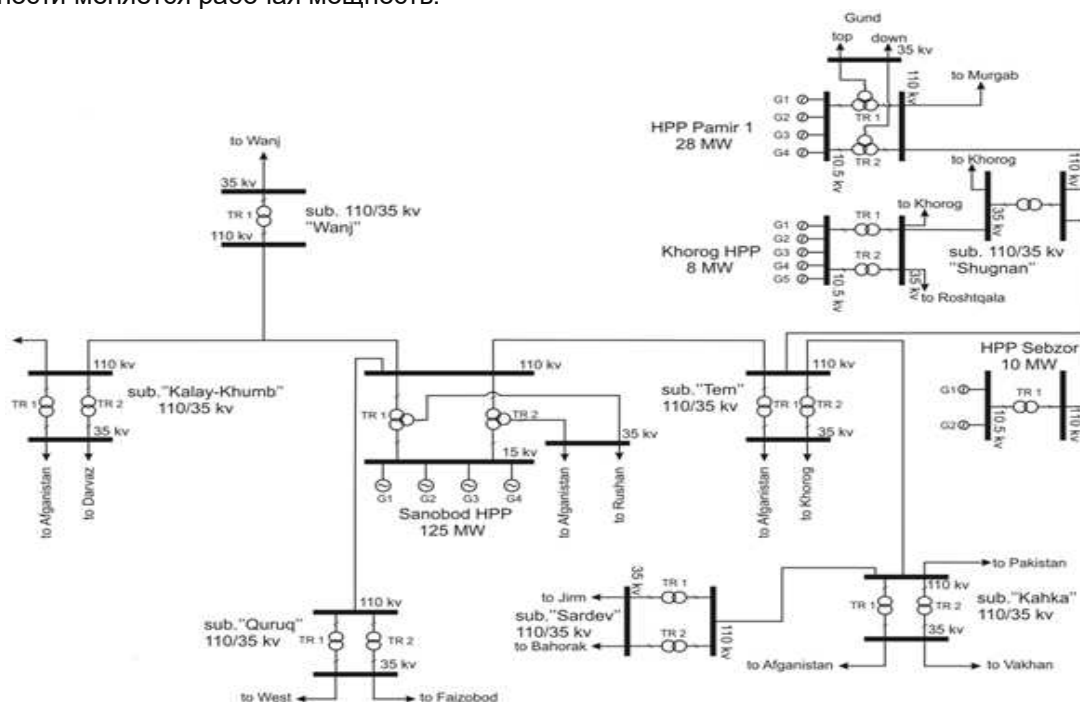


Рисунок 2. Перспективная схема электроэнергетической системы Бадахшана

На ГЭС Памир-1 ведется суточное регулирование стока. У таких ГЭС существует жесткая связь между суточным стоком, суточной выработкой электроэнергии и графиком ее мощности. Необходимо в графике нагрузки системы определять такое место ГЭС, когда ее сток за сутки используется наиболее полно. Поскольку на ГЭС с суточным регулированием водохранилище выбирается по расчетным маловодным суткам, выработка ГЭС с увеличением приточности растет, и станция перемещается в полупиковую, а затем и в базовую часть графика нагрузки системы. Такие станции могут нести нагрузочный резерв системы, если ее рабочая мощность меньше располагаемой [8].

При работе в энергосистеме от ГЭС обычно требуется не только выдача максимально возможной пиковой мощности, но и одновременно обеспечение работы системы с наилучшими технико-экономическими показателями. Так, для нерегулируемой ГЭС оба этих режима не противоречат друг другу, поскольку такая ГЭС работает в базовой части графика нагрузки. При суточном же регулировании ГЭС в таком режиме работает только в период паводков. Все остальное время наиболее выгодный режим будет определяться не только величиной бытового расхода, но и составом генерирующего оборудования, графиком нагрузки энергосистемы и относительным объемом водохранилища [9, 10].

Особенности ПВК rastrwin3

Программный комплекс rastrwin3 предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем.

Расчетные модули, заложенные в работу ПВК rastrwin3, позволяют производить:

Расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности любого напряжения (от 0.4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети);

Расчет установившихся режимов с учетом частоты;

Оптимизацию электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности;

Структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения;

Проведение серийных (многовариантных расчетов) по списку возможных аварийных ситуаций;

Анализ допустимой токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры;

Расчет сетевых коэффициентов, позволяющих оценить влияние изменения входных параметров на результаты расчета, и наоборот, проанализировать чувствительность результатов расчета к изменению входных параметров;

Анализ установившегося режима в програмном комплексе RASTRWIN

В данной работе ведется расчет нормальных режимов работы энергосистемы Памира при зимних максимальных нагрузках, а также расчет ремонтных и аварийных схем. Расчет зимнего режима работы сети выбран в силу наличия в нем более высоких нагрузок у потребителей, обусловленных включением дополнительных обогревательных механизмов, по сравнению с летним режимом. Таким образом, при переходе на зимний режим работы на подстанциях может быть включен дополнительный трансформатор, установлен более высокий коэффициент трансформации регуляторов ПБВ и т.д. Энергосистема Памира не характеризуется большим числом трансформаций на пути от источников выработки электроэнергии (ГЭС) к ее потребителям. Также данной сети не характерна большая конфигурация, т.к. В смоделированной модели насчитывается всего 44 узла и 49 ветвей. Но несмотря на все это, энергосистеме характерна такая весомая особенность, как многорежимность. Под режимностью в данном случае подразумевается не только разнообразие загрузки элементов сети в суточных и годовых графиках нагрузки при нормальном функционировании системы, вызываемое естественным изменением во времени нагрузки потребителей, но и общие режимы, возникающие при выводе различных элементов сети в ремонт или при их аварийных отключениях. В связи с этим электрическая сеть должна функционировать таким образом, чтобы была обеспечена ее работоспособность во всех возможных режимах - нормальных, ремонтных и послеаварийных. Таким образом, в перечисленных режимах будет уделено внимание параметрам ветвей сети (токам, мощностям), которые не должны превышать допустимых значений, а параметры узлов (напряжения) должны лежать в допустимых пределах и обеспечивать не только нормальную работу электрооборудования, но и их экономическую эффективность использования.

Параметры линий электропередачи

«Памир Энерджи» поставляет электроэнергию потребителям ГБАО с районом обслуживания 64000 км по 43 линиям электропередачи (ЛЭП) 35/10/0,4 кВ общей протяженностью – 2609 км. Параметры эксплуатируемых ЛЭП в рассматриваемой части энергосистемы Памира приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Сведения о линиях электропередачи ЭЭС Памира

Наименование ВЛ	U	Марка провода	L	Rл	Xл
	кВ		км	Ом	
ГЭС Памир 1 - ГЭС Хорог	35	АС 95	23	7,03	9,68
ГЭС Хорог - Рошткала	35	АС 70	40	17,12	17,28
Навобод - ПС Вир	35	АС 70	30	12,84	12,96
Бизмич - Поршинева	35	АС 70	17	7,27	7,34
Поршнева - Буни	35	АС 95	14	4,28	5,89
Буни - Пасбаджу	35	АС 70	18,5	7,91	7,99
Пастхуф - Рушан	35	АС 70	14,5	6,20	6,26
Бизмич - Вируджак	35	АС 70	12,2	5,22	5,270
Шанбедех - Багуш	35	АС 70	12	5,13	5,18
ГЭС Намадгут - Даршай	35	АС 70	25	10,7	10,8
Шитхарв - Зумудг	35	АС 70	14	5,99	6,04
Питуп - Вранг	35	АС 70	17	7,27	7,34
Намадгут - Ишкашим	35	АС 70	15	6,42	6,48

Величины R , X и Kmp , приведенные к о.е., рассчитаны с помощью базисных величин $U_б$, $S_б$ и $Z_б$ с целью формирования исходных данных для расчетной модели в ПВК Eurostag при расчете динамических процессов, протекающих в энергосистеме:

$$U_б = 35 \text{ кВ}$$

$$S_б = 100 \text{ МВА}$$

$$Z_{\bar{\sigma}} = \frac{U_{\bar{\sigma}}^2}{S_{\bar{\sigma}}} = \frac{35^2}{100} = \frac{1225}{100} = 12,25 \text{ Ом}$$

$$R_{o.e.} = \frac{R_{Л}}{Z_{\bar{\sigma}}}$$

$$X_{o.e.} = \frac{X_{Л}}{Z_{\bar{\sigma}}}$$

$$B_{o.e.} = B_{Л} \cdot Z_{\bar{\sigma}} = \frac{B_{o.e.}}{2}$$

Параметры нагрузок. Исходными величинами для формирования параметров нагрузочных узлов являются значения P и $\cos\varphi$, с помощью которых представляется возможным вычислить величины Q и S :

$$\begin{aligned} \cos\varphi &= 0,95 \\ \operatorname{tg}\varphi &= \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1} = \sqrt{\frac{1}{0,95^2} - 1} = 0,32868 \\ Q &= P \cdot \operatorname{tg}\varphi \\ S &= \frac{P}{\cos\varphi} \end{aligned}$$

Рассчитанные величины потребляемой мощности каждого из узлов рассматриваемой части энергосистемы Памира сведем в таблицу 2.

Таблица 2.

Сведения о нагрузочных узлах ЭЭС Памира

Объект	P	Q	Объект	P	Q	Объект	P	Q
<i>Шугнан</i>	кВт	кВАр	<i>Ишкашим</i>	кВт	кВАр	Хорог	кВт	кВАр
Нишусп	202,00	66,39	Андароб	340	112	Бизмич	5155	1694
Поршнев	1094,1	359,61	Намадгут	196	64,4	Джоми	954	313
Навобод	834,00	274,12	Ишкашим	738	242,7	Хорог	2698,6	886,9
Буни	367	120,63	Питуп	335	110,1	Танг	15657,2	5146,2
Рушан	1829	601,16	Вранг	314	103,2	Поршнев	1094,1	359,6
Вир	973	319,81	Шитхарв	84,4	27,7	Навобод	834	274,1

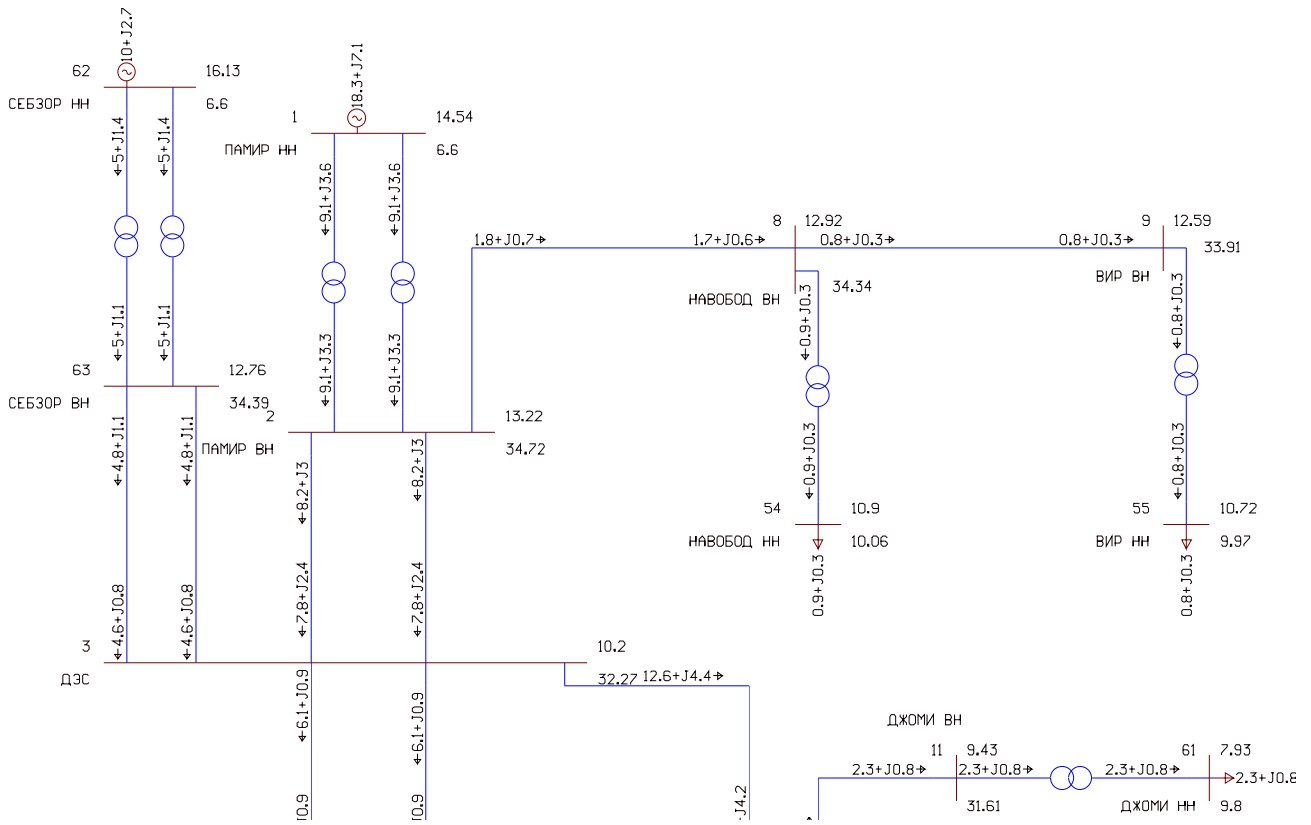


Рисунок 3. Расчетная схема

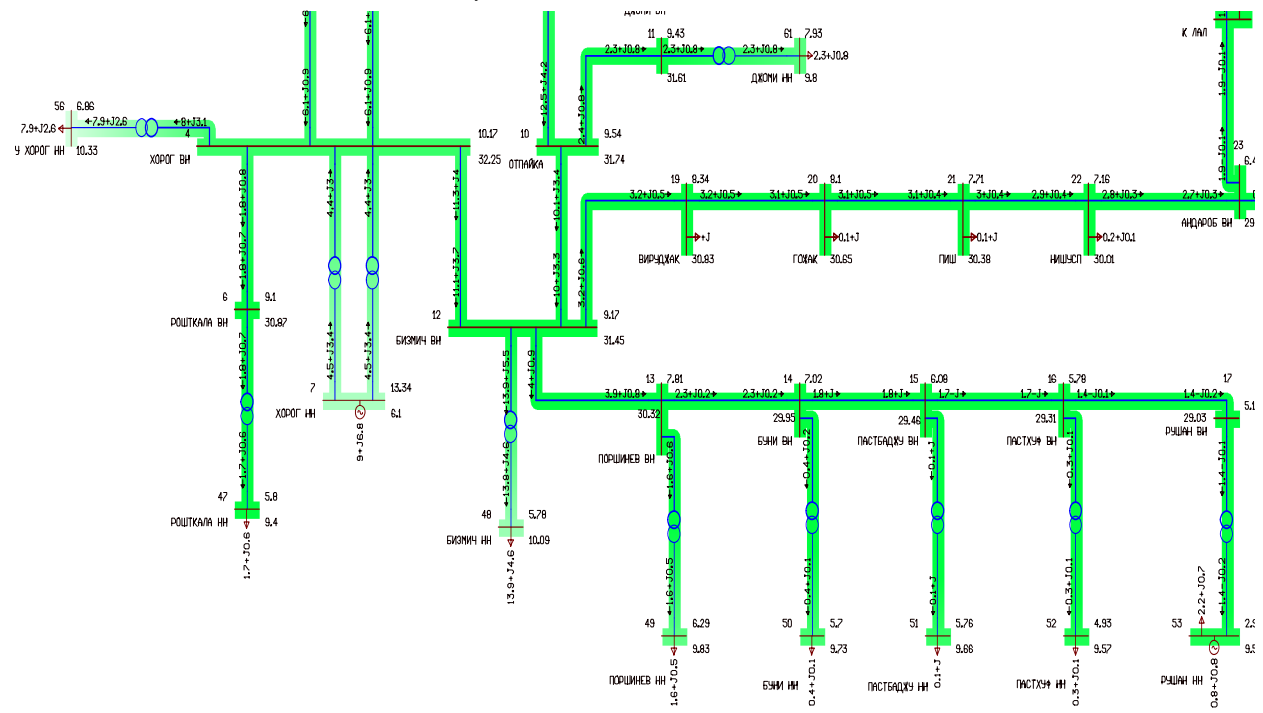


Рисунок 4. Отклонение напряжения от номинального градиентным отображением

Таблица 3.

Результаты параметров установившегося режима при зимнем максимуме нагрузок

Тип	Название	P_нач	P_кон	Q_нач	Q_кон	U_нач	U_кон
ЛЭП	Пастхуф - Рушан	-1,055	-1,048	-0,193	-0,225	30,195	32,851
ЛЭП	Пастбаджу - Пастхуф	-1,344	-1,339	-0,232	-0,224	29,32	33,085
ЛЭП	Буни - Пастбаджу	-1,471	-1,455	0,023	-0,012	29,675	33,208
ЛЭП	Поршнев - Буни	-1,863	-1,849	-0,044	-0,035	31,922	33,615
ЛЭП	Хорог - Рошткала	-1,797	-1,742	-0,761	-0,672	31,925	33,796
ЛЭП	Бизмич - Поршнев	-3,014	-2,955	-0,291	-0,281	31,637	33,911
ЛЭП	Нишусп - Андароб	-0,217	-0,217	0,027	-0,002	31,417	33,934

В рамках данной статьи невозможно отобразить все режимные параметры в табличном виде из-за ограничений по объему представления работы. Нужно отметить, что все параметры в полном объеме были введены в программный комплекс и был рассчитан максимальный режим для зимнего периода. Результаты показали, что в среднем с введением в эксплуатацию ГЭС Себзор наблюдается улучшение режимных параметров, а именно отклонение по напряжению в узлах нагрузки в среднем уменьшается на 10 %.

ВЫВОД

В рамках данной диссертационной работы рассмотрены вопросы рационального функционирования энергосистемы Памира с единственным источником выработки в виде ГЭС. Гидроузлы в данной энергосистеме распределены определяющим образом - изолированно друг от друга, за исключением каскада ГЭС, функционирование которого зависит как от электрических, так и от гидрологических связей. Результаты, полученные в рамках данной работы, позволяют сделать следующие выводы:

Исследовано современное состояние энергетики Таджикистана, в частности энергосистемы Памира с последующим определением основных проблем и узких мест, характерных для данной местности. Также выявлено, что наиболее актуальной проблемой является существующий дефицит электроэнергии в горных местностях. В работе также смоделирована энергосистема Памира с целью проведения анализа установившихся режимов и оценки ее статической устойчивости. Расчет электрических режимов выполнялся для энергорайона, образованного ГЭС Памир-1, ГЭС Хорог, ГЭС Ишкашим и связывающей их электрической сетью 35 кВ. В качестве характерного режима в работе был выбран зимний максимум, что объясняется тем, что в режиме минимальных нагрузок в энергосистеме достаточно гидроресурсов в водохранилище ГЭС. Результаты анализа установившихся режимов показали, что аварийное отключение любой из ВЛ 35 кВ на участке от ПС 35 кВ Бизмич до ПС 35 кВ Яшхвол приводит к нарушению статической устойчивости выделяющегося энергорайона, питающегося от ГЭС Ишкашим. В связи с вышесказанным, можно отметить что, новая станция Себзор, безусловно, сыграет свою роль в улучшении электроснабжения данной области как с режимной точки зрения, так и с экономической, поскольку ЭЭС Памира обеспечивает приграничные районы соседней республики и в будущем с ростом генерирующих мощностей компании «Памир Энерджи» данная связь может укрепиться и расширяться в плане территориального электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русина А.Г., Худжасаидов Д.Х., Русин Г.Л. Особенности управления режимами гидроэнергетической системы Памира Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2015. № 6. С. 41.
2. Худжасаидов Д.Х., Русина А.Г., Матренин П. В., Дмитриев С.А., Сафаралиев М.Х. Разработка моделей прогнозирования электропотребления на основе временных рядов в изолированных энергосистемах. Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 3 (48). С. 23-27.
3. Худжасаидов Д.Х. Анализ и планирование режимов электроэнергетической системы с каскадом гидроэлектростанций (на примере электроэнергетической системы Памира). Автореферат диссертации

- на соискание ученой степени кандидата технических наук / Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск, 2018
4. Митрофанов С.В., Русина А.Г., Арестова А.Ю., Калинин А.Е. Разработка имитационной модели работы каскада ГЭС, вестник казанского государственного энергетического университета, г. Казань. 2019. Т. 11. № 2. С. 116.
 5. Надобная Е.А., Русина А.Г., Арестова А.Ю., Митрофанов С.В. Разработка математической модели каскада гидроэлектростанций для расчёта режимов электроэнергетической системы. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи - 2018. Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах. Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. С. 168-171.
 6. Котиков Е.С., Самсонова Е.С., Русина А.Г., Филимонов В.А. Прогнозирование нагрузок в узлах энергосистемы в экспериментальном программном комплексе. Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). С. 60-65.
 7. Русина А.Г., Прибыльский И.В., Арестова А.Ю., Митрофанов С.В. Создание имитационной модели для анализа водно-энергетических режимов работы каскада ГЭС на базе программного продукта ANYLOGIC. Электрические станции. 2022. № 1 (1086). С. 13-24.
 8. Митрофанов С.В., Светличная А.Е., Арестова А.Ю., Русина А.Г. Разработка программного модуля внутростанционной оптимизации для целей краткосрочного планирования режима работы ГЭС. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 3 (51). С. 156-167.
 9. Filippova T. Economic options of demand side management in electrical utility planning. В сборнике: KORUS-98. The second Russian-Korean international symposium on Science and Technology, proceedings. 1998. С. 176-179.
 10. Филиппова Т.А., Русина А.Г., Останин А.Ю. Особенности расчётов режимов электрических сетей при перспективном развитии объединённой энергосистемы. Электрические станции. 2009. № 10. С. 28-32.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Хучасаидов Чахонгир Хучасаидович	Худжасаидов Джахонгир Худжасаидович	Khujasaidov Jahongir Khujasaidovich
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимй	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
jahon_nstu@mail.ru		
ORCID Id: 0000-0003-2322-5985		

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАСТИНЧАТЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Ф.Х. Насруллоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье рассматриваются пути повышения эффективности тепловых сетей, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и экономного использования электрической и тепловой энергии за счет снижения температуры воды в системах отопления и системах автономного водоснабжения с использованием пластинчатых нагревателей. Рабочая жидкость, т.е. вода, проходящая через пластинчатый нагреватель, нагревается за счет высокой температуры воды в системе отопления. В результате снижается температура обратной воды тепловых сетей, что приводит к снижению эффективности тепловых сетей, снижению давления теплофикационного отбора паровых турбин, увеличению выработки электроэнергии за счет энергоэффективности и экономии топлива на станции, а также ведет к экономии тепловой и электрической энергии у потребителей.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), тепловые сети, энергосбережение, оборотная сетевая вода, пластинчатый нагреватель, КПД.

БОЗСОЗИИ СИСТЕМАИ ОБИ ГАРМ ТАЪМИНКУНИИ АВТОНОМӢ БО ИСТИФОДАИ ГАРМКУНАҚҶОИ ЛАВҲАГӢ АЗ ХИСОБИ СИСТЕМАМ ГАРМИДИҲӢ

Ф.Х. Насруллоев

Дар ин мақола роҳҳои баланд бардоштани самаранокии шабақаҳои гармидиҳӣ, МБГ ва сарфакорона истифода бурдани энергияи барқ ва гармӣ тавассути паст кардани ҳарорати об дар системаҳои гармидиҳӣ ва системаҳои автономии оби гармтаъминкунии бо истифода аз гармкунакҳои лавҳагӣ баррасӣ карда мешавад. Чисми қорӣ, яъне обе, ки аз гармкунаки лавҳагӣ мегузарад, аз ҳисоби ҳарорати баланди оби системаи гармидиҳӣ гарм мешавад. Дар нагиҷа ҳарорати оби бозгашти шабақаҳои гармидиҳӣ паст шуда, боиси паст шудани самаранокии шабақаҳои гармидиҳӣ, паст шудани фишори буғи гирифтаи теплофикасионии турбинаҳои буғӣ, зиёд шудани истеҳсоли нерӯи барқ аз ҳисоби сарфаи энергия ва сӯзишворӣ мегардад.

Калидвожаҳо: маркази барқу гармидиҳӣ (МБГ), шабақаҳои гармидиҳӣ, энергиясарфанамоӣ, шабақаи гардиши об, гармкунаки лавҳагӣ, КАФ.

RECONSTRUCTION OF THE SYSTEM OF AUTONOMOUS HOT WATER SUPPLY WITH THE USE OF PLASTIC HEATERS DUE TO THE HEATING SYSTEM

F.Kh. Nasrulloev

This article discusses ways to improve the efficiency of heating networks, combined heat and power plants (CHP) and the economical use of electrical and thermal energy by lowering the water temperature in heating systems and autonomous water supply systems using plastic heaters. Working fluid, i.e. the water passing through the plastic heater is heated by the high temperature of the water in the heating system. As a result, the temperature of the return water of heating networks decreased, which led to a decrease in the efficiency of heating networks, a decrease in the pressure of heat extraction of steam turbines, an increase in electricity generation due to energy efficiency and fuel savings at the station, as well as a number of effective ones that lead to savings in heat and electricity for consumers.

Key words: combined heat and power plant (CHP), heat networks, energy-saving, circulating network water, plastic heater, efficiency.

Введение

Энергосбережение – это рациональное использование и снижение потерь в процессе производства, возобновления, передачи и потребления энергии, что на сегодняшний день является одним из важнейших стратегических вопросов Республики Таджикистан и требует серьезного и бережного подхода. В рамках Стратегии и развития энергетического сектора Таджикистан наряду с созданием новых источников энергии также уделяет особое внимание энергоэффективности. В связи с этим в данном направлении приняты Законы Республики Таджикистан «Об энергосбережении и энергоэффективности» и «Об использовании возобновляемых источников энергии». В условиях рыночной экономики для повышения конкурентоспособности и реализации требований законов и стратегий по энергоэффективности необходимо искать пути повышения эффективности ТЭЦ.

Цель настоящей работы заключается в разработке теплотехнической системы на основе передачи тепла системы централизованного городского теплоснабжения посредством пластинчатых теплообменников, повышающих КПД системы горячего водоснабжения без расхода исходного дорогостоящего энергоносителя и загрязнения окружающей атмосферы вредными выбросами.

Одним из таких способов является снижение температуры обратной воды системы отопления, это повысит КПД систем отопления, снизит тепловое давление паровой турбины, увеличит выработку электроэнергии за счет эффективного использования тепла и топлива в электростанции, а также экономии тепла и электроэнергии для потребителей.

Материалы и методы

Пластинчатый теплообменник — это теплообменник поверхностного типа, предназначенный для осуществления теплообмена между различными средами: жидкость - жидкость, пар - жидкость. Теплопередающая поверхность пластинчатого теплообменника образована из тонких штампованных гофрированных пластин. Рабочие среды в теплообменнике движутся в щелевых каналах сложной формы между соседними пластинами. Каналы для греющего и нагреваемого теплоносителей

чередуются между собой [1]. Схема распределения потока теплоносителя по каналу теплообменника представлена на рис. 1. Теплообменник состоит из следующих частей: 1- вход теплоносителя из городской теплосети; 2- выход теплоносителя в городскую теплосеть; 3- вход холодной воды в теплообменник; 4- выход горячей воды из пластинчатого теплообменника в автономную систему горячего водоснабжения. Высокая эффективность теплопередачи достигается за счет применения тонких гофрированных пластин, которые являются естественными турбулизаторами потока и, вследствие своей малой толщины, обладают малым термическим сопротивлением. Герметичность каналов и распределение теплоносителей по каналам обеспечивается с помощью резиновых уплотнений, расположенных по диаметру пластины. Уплотнение крепится к пластине с помощью клипе. Уплотнение, расположенное по периметру пластины, охватывает два угловых отверстия, через которые входит поток рабочей среды в межпластинный канал и выходит из него, а через два других отверстия, изолированных дополнительно кольцевыми уплотнениями, встречный поток проходит транзитом. Вокруг этих отверстий имеется двойное уплотнение, которое гарантирует герметичность каналов [2].

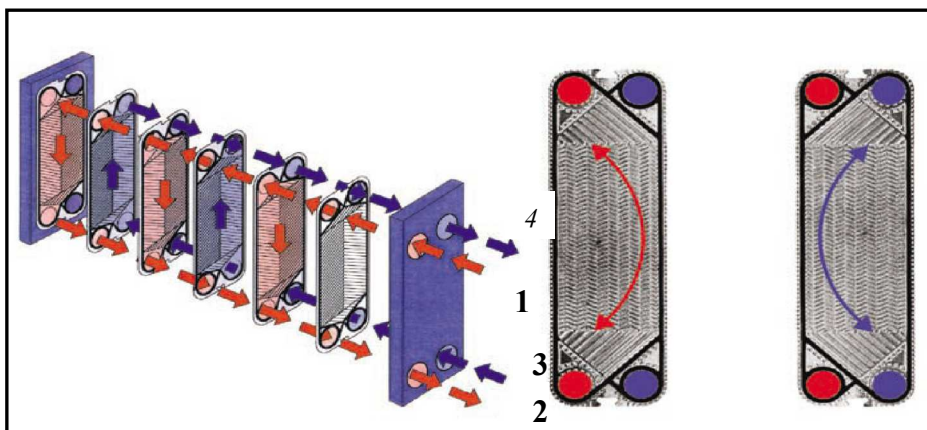


Рис.1. Схема распределения потока теплоносителя по каналу в пластинчатом теплообменнике.

Уплотнительные прокладки крепятся к пластине таким образом, что после сборки и сжатия пластины в аппарате образуют две системы герметичных каналов - одна для греющей среды, другая для нагреваемой. Каждая последующая пластина повернута на 180° в плоскости ее поверхности относительно предыдущей, что создает равномерную сетку пересечения взаимных точек опор вершин гофр и обеспечивает жесткость пакета пластин.

Обе системы межпластинных каналов соединены со своими коллекторами и далее с соединениями для входа и выхода рабочих сред на неподвижной плите теплообменника [3].

Пакет пластин размещается на раме теплообменника. Конструкция пластинчатого теплообменника представлена на рис.2.

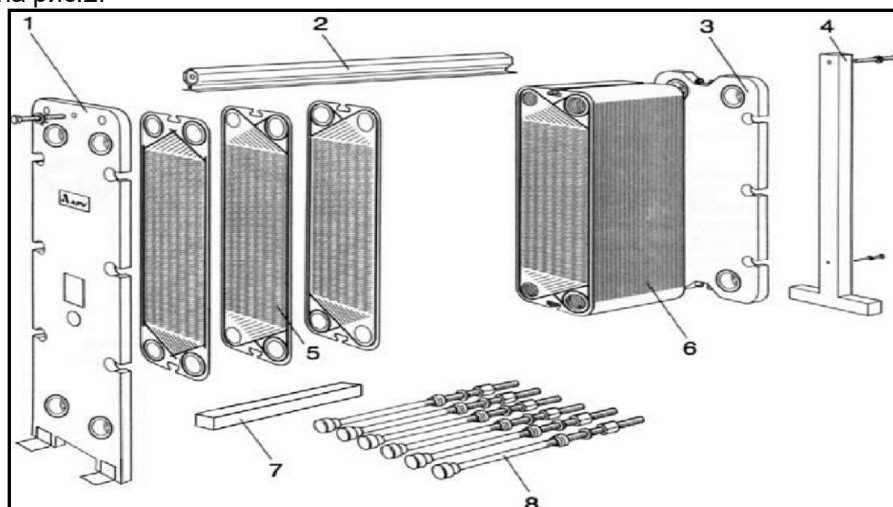


Рис. 2. Конструкция пластинчатого теплообменника.

Рама теплообменника состоит из неподвижной плиты (1), штатива (4), верхней (2) и нижней (7) направляющих, подвижной плиты (3) и комплекта стяжных болтов (8). Верхняя и нижняя направляющие крепятся к неподвижной плите и к штативу. На направляющие навешивается пакет пластин (5, 6) и подвижная плита (3). Неподвижная и подвижная плиты стягиваются болтами [4].

Результаты

В Государственном учреждении “Комплекс здоровья Истиклол” установлено 19 электрических котлов для горячего водоснабжения, 7 из которых находятся в рабочем режиме и 12 в резерве. Электрическая мощность каждого из водогрейных котлов равна 240 кВт и в общем случае составляет $240 \times 7 = 1680$ кВт·ч. В связи с высоким КПД водогрейных котлов, находящихся в рабочем режиме 18 часов в сутки, получаем $1680 \times 18 = 30240$ кВт·ч а в месяц $30240 \times 30 = 907200$ кВт·ч и в отопительный сезон, т.е. 6 месяцев $907200 \times 6 = 5443200$ кВт·ч.

По нормам отопительный сезон в Душанбе составляет 107-110 дней. Согласно нормам, начало отопительного сезона обуславливают температурные условия – когда температура ниже $+8$ °С держится 3 дня подряд. По приблизительным подсчетам отопительный сезон в 2020-2021 годах в зависимости от требований потребности и погодных условий стартовал в начале октября и завершился в начале апреля, что составляет примерно 180 дней, что равно 6 месяцам, это составляет $205571 \times 6 = 1455511$ сомони, и именно в этот период мы проводили свои исследования [7,8].

В Комплексе всего 28 насосов для водоснабжения, 14 из которых всегда в рабочем режиме. Мощность всех насосов составляет 126 кВт, а 14 агрегатов – 63 кВт. В связи с тем, что трубопроводы горячего водоснабжения, водогрейных котлов оборудуются теплоизоляционными материалами, а также в связи с необходимостью производства, насосы водоснабжения находятся в постоянной работе, т.е. 24 часа в сутки.

Мощность насосов водоснабжения в сутки, кВт·ч;
 $\Sigma = 63 \times 24 = 1512$ кВт·ч

Мощность насосов водоснабжения в месяц, кВт·ч;
 $\Sigma = 1512 \times 30 = 45360$ кВт·ч

Мощность насосов водоснабжения за 6 месяцев, кВт·ч;
 $\Sigma = 45360 \times 6 = 272160$ кВт·ч

Общая сумма, сэкономленная за счет энергосбережения насосов и потраченная на один сезон, сомони:

$$\Sigma = 272160 \times 0,2674 = 72776 \text{ сомони}$$

Таблица 1.

Технико-экономические показатели реконструкции системы автономного горячего водоснабжения с применением пластинчатых нагревателей за счет системы отопления на примере “Комплекса здоровья Истиклол” за один сезон (6 месяцев)

№	Параметры оборудования	Водогрейные котлы	Насос ГВС	Всего
1	Электрическая мощность, кВт/ч	1680 (7x240)	63(14x4,5)	1743
2	Количество -в работе -в резерве	7 12	14 14	21 26
3	Экономия электроэнергии, (кВт)	5443200	272160	5715360
4	Экономия на закупку материалов	13894		13894
5	Экономия на ремонт	25000	15000	40000
6	Общая сумма, сомони	1455511	72776	1554394

Общая сумма, сэкономленная за счет энергосбережения на один сезон, составляет, сомони:
 $\Sigma = 1455511 + 72776 = 1528287$ сомони

На ремонт насосов водоснабжения (замена сальников, подшипников, уплотнений двигателя и др.) расходуется более 30 000 сомони в год, 50% из которых составляет 15 000 сомони.

На ремонт электрической части водяных насосов и электрических водогрейных котлов (замена УЗО, электрических ТЭНы, предохранителей, стартеров, электровыключателей, реле температуры, реле давления и т.д.) стоит около 50 000 сомони в год, 50% из которых составляет 25 000 сомони.

За 6 месяцев общая сумма, сэкономленная за счет энергосбережения, равна, сомони:
 $\Sigma = 1528287 + 15000 + 25000 = 1568287$ сомони

На реконструкцию этой системы на закупку материалов потрачено 13894 сомони.

Как следствие, экономическая рентабельность при использовании устройства системы автономного горячего водоснабжения с применением пластинчатых нагревателей за счет системы отопления в Государственном учреждении “Комплекс здоровья Истиклол” за шесть месяцев, составляет, сомони:

$$\Sigma = 1568287 - 13894 = 1554394 \text{ сомони}$$

Обсуждение

Предлагаемая система автономного горячего водоснабжения зданий комплексных медицинских и образовательных учреждений, жилых домов, а также промышленных зданий и сооружений включает использование тепла централизованной городской системы теплоснабжения путем последовательного подключения к системе централизованного городского теплоснабжения пластинчатый теплообменник, который не нарушает режим движения водяных теплоносителей, циркулирующих в трубопроводах по замкнутому контуру системы городского теплоснабжения. Через второй контур пластинчатого теплообменника подключают систему автономного горячего водоснабжения.

Предлагаемая система автономного горячего водоснабжения состоит из следующих узлов (Рис.3): 1-вход теплоносителя из городской теплосети; 2-задвижки; 3- коллектор подачи система отопления; 4- система отопления здания; 5- коллектор обратки систем отопления; 6- выход теплоносителя из коллектора подачи системы отопления в пластинчатый теплообменник системы горячего водоснабжения; 7- выход теплоносителя из пластинчатого теплообменника в коллектор обратки системы городского отопления; 8- выход теплоносителя из коллектора обратки в систему отопления в городскую теплосеть; 9- пластинчатый теплообменник; 10- вход холодной воды в пластинчатый теплообменник; 11- выход горячей воды из пластинчатого теплообменника в систему горячего водоснабжения [5].

Схема устройства система автономного горячего водоснабжения с применением пластинчатых нагревателей за счет системы отопления приведена на рисунке 3.

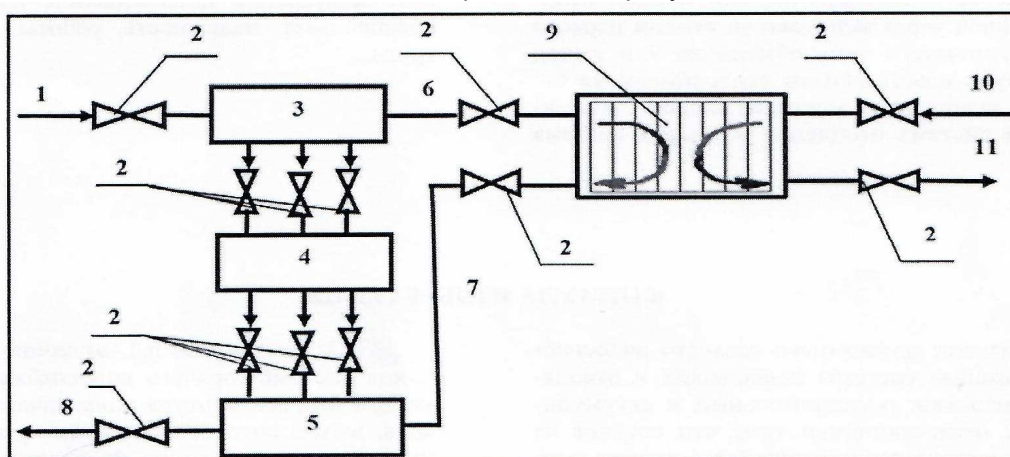


Рис. 3. Схема устройства система автономного горячего водоснабжения с применением пластинчатых нагревателей за счет системы отопления

Сущность предлагаемой системы автономного горячего водоснабжения заключается в том, что выход централизованного городского теплоснабжения соединён со входом 1 через задвижку 2 в коллектор подачи системы отопления 3, который соединён с системой отопления здания 4 через задвижки. Далее система отопления здания 4 соединена через задвижки с коллектором обратки системы отопления 5, который соединён с системой централизованной сети городского теплоснабжения 8, через задвижки. Один из выходов коллектора подачи системы отопления 6 соединён через задвижки со входом первого контура пластинчатого теплообменника 9 и выход первого контура пластинчатого теплообменника соединён через задвижки на одном из входов 7 коллектора обратки системы отопления 5. Выход системы горячего водоснабжения 10 соединён через задвижку 2 со входом второго контура пластинчатого теплообменника 9, выход которого посредством задвижки соединён с входом системы горячего водоснабжения 11. В контуре системы горячего водоснабжения включены расширительный и аккумулирующий баки, которые не указаны на рисунке [5].

С целью энергосбережения мы реализовали предложение по реконструкции системы автономного горячего водоснабжения с применением пластинчатых нагревателей за счет системы отопления [6]. Это рациональное предложение имеет следующие преимущества:

- Облегчение работы персонала
- Экономия электроэнергии
- Экономия деталей электрических котлов
- Длительное использование электрических котлов
- Экономия деталей водяных насосов
- Длительное использование водяных насосов

- Уверенность в работе
- Надежность работы
- Безопасность труда

Заклучение

Система автономного горячего водоснабжения, содержащая системы подводящих и отводящих труб, задвижки, расширительный и аккумулирующий баки, отличающаяся тем, что состоит из входного коллектора, соединяющегося с входом первого контура пластинчатого теплообменника, и выход которого соединён с входом выходного коллектора централизованной городской системы теплоснабжения посредством водоподводящих труб.

Преимущество технического решения заключается в повышении КПД системы горячего водоснабжения без расхода исходного дорогостоящего энергоносителя и загрязнения окружающей атмосферы вредными выбросами. Применение предлагаемого способа имеет следующие преимущества: облегчение работы персонала; экономия электроэнергии; экономия деталей электрических котлов; продление работоспособности электрических котлов; экономия деталей водяных насосов; обеспечивает длительное использование водяных насосов; обеспечивает надежность работы и безопасность труда.

Как следствие, экономическая рентабельность при использовании устройства системы горячего водоснабжения с применением пластинчатых подогревателей за шесть месяцев составляет 1554394 сомони.

Литература:

1. Закон Республики Таджикистан от 19 сентября 2013 года, № 1018 "Об энергосбережении и энергоэффективности".
2. Теория теплообмена. Пластинчатые теплообменники (издание Alfa Laval).
3. <http://stroystil-nsk.ru/uslugi/postavka-teploobmennikov/>
4. <https://infopedia.su/4x692d.html>
5. Свод правил внутренние системы отопления, горячего и холодного водоснабжения. Правила эксплуатации.
6. ПУЭ. Правила устройства электроустановок (7-е изд.).
7. <https://vecherka.tj/archives/47101>
8. <https://asiaplustj.info/news/tajikistan/society/20201009/v-dushanbe-nachinaetsya-otopitelnii-sezon>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Насруллоев Фарход Хучаевич	Насруллоев Фарход Худжаевич	Nasrulloev Farhod Khujaevich
Доктор PhD	Доктор PhD	Doctor PhD
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
e-mail	farhad-9393@mail.ru	
ORCID ID	0000-0002-1048-9538	

КОНСТРУКТИВНО- КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОСВОЕНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТЬЮ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ахророва А.Д.¹, Саидов М.Х.², Камилова Н.М.¹

¹Таджикский технический университет имени академика Осими М.С.

²ООО «Ормазд инжиниринг»

Аннотация. Актуальными проблемами современности являются изменение климата, сохранение экологического равновесия, сокращение потребления энергетических ресурсов. Каждая страна использует различные подходы к их решению. В Таджикистане, несмотря на его огромный потенциал возобновляемых энергетических ресурсов (ВИЭ), сохраняет свою актуальность проблема устойчивого энергетического развития отдаленных горных регионов страны, не охваченных централизованным электроснабжением. Проблема усугубляется выраженными тенденциями изменения климата, следствием которых является снижение эффективности использования установленной мощности гидроэлектростанций при одновременном увеличении спроса на электрическую энергию и водные ресурсы. Неудовлетворенный спрос на воду и энергоносители сдерживает социально-экономическое развитие этих регионов, провоцируя отток уязвимых слоев населения. В статье обоснована целесообразность диверсификации генерирующих источников энергии на основе создания гибридных моделей освоения ВИЭ. Конструктивно-компоновочные решения комплексного использования их рассмотрены как инструмент управления рыночной стоимостью гибридных электростанций. Предложенная авторами инновационная конструкция малой гидроэлектростанции предусматривает одновременное преобразование энергии воды, солнца и ветра в электричество. Использование цифровых технологий в управлении режимом работы гибридного генерирующего устройства обеспечивает надежность электроснабжения потребителей и уменьшает риски снижения его рыночной стоимости. Ключевые слова: рыночная стоимость, возобновляемые источники энергии, конструктивно-компоновочные решения, гибридная установка.

ҲАЛЛҲОИ КОНСТРУКТИВӢ ВА ТАРҲРЕЗӢ ДАР ТАҲИЯИ МАНБАӢҲОИ БАРҚАРРАВАНДАИ ЭНЕРГЕТИКА ҲАМЧУН АСБАИ ИДОРАКУНИИ АРЗИШИ БОЗОРИ СТАНСИЯИ ЭЛЕКТРИКИИ ГИБРИДӢ

Ахророва А.Д.¹, Саидов М.Х.², Камилова Н.М.¹

Аннотация. Мушкилоти актуалии замони мо ин тағйирёбии иқлим, нигоҳ доштани мувозинати экологӣ, кам кардани истеъмоли захираҳои энергетикӣ мебошанд. Ҳар як кишвар барои ҳалли онҳо усулҳои гуногунро истифода мебарад. Дар Тоҷикистон, сарфи назар аз иқтидори бузурги захираҳои барқароршавандаи энергия, мушкилоти рушди устувори энергетикӣ ноҳияҳои дурдасти кӯхистонии кишвар, ки бо таъминоти мутамаркази нерӯи барқ фаро гирифта нашудааст, ҳамчунон мубрам боқӣ мемонад. Мушкилот бо тамоюлҳои намоёни тағйирёбии иқлим, ки боиси коҳиши самаранокии истифодаи иқтидорҳои муқарраршудаи нерӯгоҳҳои барқи обӣ ва афзоиши талабот ба нерӯи барқ ва захираҳои об мегардад, боз ҳам бештар мегардад. Конёе нагардидани талабот ба обу барқ ба рушди иҷтимоию иқтисодии ин минтақаҳо монеаи шуда, боиси хуруҷи кишрҳои осебпазири аҳоли мегардад.

Дар мақола ба максад мувофиқ будани диверсификатсияи манбаъҳои тавлидкунандаи энергияро дар асоси сохтани моделҳои гибридии рушди манбаъҳои барқароршавандаи энергия асоснок мекунад. Қарорҳои сохторӣ ва тарҳрезии истифодаи маҷмӯии онҳо ҳамчун воситаи идоракунии арзиши бозории нерӯгоҳҳои гибридӣ баррасӣ карда мешаванд. Тарҳи инноватсионии нерӯгоҳи хурди барқи обӣ, ки муаллифони пешниҳод кардаанд, дар як вақт ба нерӯи барқ табдил додани энергияи об, офтоб ва шамолро пешбинӣ мекунад. Истифодаи технологияҳои рақамӣ дар идоракунии речаи кори дастгоҳи гибридии тавлидкунда эътимоднокии таъминоти барқро ба истеъмолкунандагон таъмин намуда, хатари коҳиши арзиши бозории онро коҳиш медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: арзиши бозорӣ, манбаъҳои барқароршавандаи энергия, ҳалли конструктивӣ ва тарҳрезӣ, нерӯгоҳи гибридӣ.

STRUCTURAL AND LAYOUT SOLUTIONS IN THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A TOOL FOR MANAGING THE MARKET COST OF HYBRID POWER PLANTS

Ахророва А.Д.¹, Саидов М.Х.², Камилова Н.М.¹

Annotation. Actual problems of our time are climate change, maintaining ecological balance, reducing the consumption of energy resources. Each country uses different approaches to solve them. In Tajikistan, despite its huge potential of renewable energy resources (RES), the problem of sustainable energy development of remote mountainous regions of the country that is not covered by centralized power supply remains relevant. The problem is exacerbated by pronounced trends in climate change, which result in a decrease in the efficiency of using the installed capacity of hydroelectric power plants, while increasing demand for electricity and water resources. The unsatisfied demand for water and energy carriers hinders the socio-economic development of these regions, provoking an outflow of vulnerable segments of the population.

The article substantiates the expediency of diversifying generating energy sources based on the creation of hybrid models for the development of renewable energy sources. Structural and layout solutions for their integrated use are considered as a tool for managing the market value of hybrid power plants. The innovative design of a small hydroelectric power plant proposed by the authors provides for the simultaneous conversion of water, solar and wind energy into electricity. The use of digital technologies in managing the operating mode of a hybrid generating device ensures the reliability of power supply to consumers and reduces the risks of reducing its market value.

Key words: market value, renewable energy sources, design and layout solutions, hybrid plant.

1. Введение

В мировом сообществе в связи с выраженными климатическими изменениями обостряется проблема доступа к экологически чистым источникам энергии. Гидроэнергетика представляет собой наиболее надежный и развитый способ производства возобновляемой энергии. В настоящее время около 16 % электроэнергии во всем мире вырабатывается гидроэнергетикой. При этом в большинстве регионов мира малая гидроэнергетика имеет огромный неиспользуемый потенциал. Вместе с тем современные вызовы, связанные с изменением климата, предопределяют необходимость переоценки гидроэнергетического потенциала, диверсификации источников генерации энергии. В соответствии с [1] с учетом климатических изменений и ограниченности гидроресурсов в мире к 2030 году предполагается снижение темпов развития крупной гидроэнергетики, но при этом будет поддерживаться развитие малой гидроэнергетики.

Ограниченный доступ населения отдаленных горных регионов Таджикистана к энергетическим ресурсам является серьезным барьером для индивидуального и общественного развития, создавая угрозы увеличения масштабов расслоения общества, нарушения экологического равновесия. Решением этой проблемы может явиться комплексное использование потенциала ВИЭ. Предложенное конструктивно-компоновочное решение плавучей электростанции, обеспечивая доступ к электрической энергии, способствует улучшению качества жизни, создаст возможности для организации новых рабочих мест и трудоустройства, повысит качество социальных услуг на основе надежного автономного энергоснабжения.

2. Гидроэнергетический потенциал Таджикистана.

Мировой опыт свидетельствует о тенденции максимального освоения гидроэнергетического потенциала даже при наличии альтернативных энергоресурсов. Являясь самой дешевой технологией производства электричества на основе ВИЭ, малая и средняя гидроэнергетика остаются в центре международных усилий по адаптации к климатическим изменениям и переходу к чистой энергии. Установленная мощность МГЭС в странах Центральной Азии иллюстрируется данными таблицы 1.

Таблица 1.

Установленная мощность МГЭС в Центральной Азии, Мвт. [2]

Страна	2013	2016	2019
Казахстан	78	78	200,3
Киргизстан	32	42	46,6
Таджикистан	12,18	25	26,6
Туркменистан	5	5	1,2
Узбекистан	56,32	71	75,8
Всего по ЦА	183,5	221	350,5

Республика Таджикистан обладает значительным гидроэнергетическим потенциалом, занимая лидирующие позиции в мире по запасам питьевой воды. Гидроэнергетический потенциал Таджикистана составляет 527 млрд. кВт ч. Удельные запасы его на душу населения и на единицу территории оцениваются соответственно в 57 тыс. кВт.час/чел и в 3,7 млн. кВт.час/км². Освоенность гидроэнергетического потенциала страны остается низкой, составляя около 5%, что намного ниже, чем в развитых странах и в среднем по миру.

Основу водных ресурсов Таджикистана составляют ледники, реки, озера, водохранилища и подземные воды. Общая площадь оледенения занимает около 8% территории страны. Ледники республики дают начало всем крупным рекам, гидроресурсы которых используются в экономике стран Центральной Азии. В целом среднесуточный сток рек, формирующихся на территории Таджикистана, оценивается в 64 км³/год, в том числе в бассейне реки Амударья 62,9 км³/год и в бассейне Сырдарьи 1,1 км³/год. В стране насчитывается более 25 000 рек и водостоков общей протяженностью около 90 000 км, при этом густота речной сети составляет 0,6 км/км² [3]. Общие потенциальные запасы малой гидроэнергетики составляют 184,46 млрд. кВт. час в год, т.е. 35 % совокупного гидроэнергетического потенциала.

Основой энергетики Таджикистана является гидроэнергетика, обеспечивающая 95% вырабатываемой в стране электрической энергии. Как известно, ГЭС жестко привязана к водотоку. Экономическая целесообразность освоения гидроэнергетического потенциала определяется наличием потребителей в районе сооружения ГЭС или возможностью передать энергию потребителям, расположенным на значительных расстояниях от нее.

Около 85% запасов гидроэнергетических ресурсов Таджикистана расположено в удаленных от центров нагрузок в горных районах. Принятие решения по вовлечению в хозяйственный оборот

гидроэнергетического потенциала страны обосновывается не только экономической целесообразностью, но и социальной значимостью для населения, проживающего в отдаленных горных районах.

3. Уязвимость гидроэнергетического потенциала

Результаты гидрометеорологических наблюдений и существующие прогнозы климатических изменений свидетельствуют об уязвимости гидроэнергетического потенциала и необходимости его переоценки. В бассейнах горных рек наблюдается снижение количества осадков в виде снега и таяние ледников. Ледники продолжают сокращаться со скоростью порядка 0,2% - 1% в год. Выраженные тенденции таяния ледников и уменьшения осадков и, как следствие, сокращение «питания» горных рек провоцируют угрозы энергетической безопасности Таджикистана.

Общепризнано, что изменение климата и, как следствие, изменение гидропотенциала не признают государственных границ. В этой связи особую актуальность в современных условиях приобретает региональный аспект проблемы энергетической и водной безопасности. В бассейнах рек, обеспечиваемых снеготаянием в горах, зимний сток увеличится вследствие более высокой температуры и более раннего таяния снегов. С другой стороны, сток в весенне-летний период сокращается. Эти тенденции сопровождаются ростом водопотребления, в том числе в орошаемом земледелии. Водоемкость и электроемкость (насосные станции) сельскохозяйственной продукции увеличивается. В Центральной Азии в соответствии с [4] ожидаемое сокращение водных ресурсов к 2050 году составит: в бассейне реки Амударья 10% - 15%; в бассейне реки Сырдарья 2% - 5%. Выраженная взаимозависимость стран Центральной Азии по доступу к водным и энергетическим ресурсам в условиях климатических изменений обуславливает риски и требует учета современных вызовов при разработке национальных стратегий и перехода на новый уровень сотрудничества в области использования трансграничных водных ресурсов.

Негативные последствия для энергетики и в целом для всей экономики определяют необходимость разработки мер по адаптации механизмов их использования к изменению климата. Одной из таких мер является диверсификация использования гидроэнергетического потенциала страны на основе развития малой гидроэнергетики.

4. Малая гидроэнергетика

В большинстве развитых стран малая гидроэнергетика представляет собой неотъемлемую часть энергетических стратегий, снижения выбросов парниковых газов в атмосферу и обеспечения энергетической безопасности. Несмотря на то, что малая гидроэнергетика представляет собой одно из простых и дешевых решений по обеспечению доступа к электроэнергии, потенциал ее в большинстве стран остается в значительной степени неиспользованным. В настоящее время используется только 34 % мирового потенциала малой гидроэнергетики. Удельный вес установленной мощности МГЭС (до 10 МВт) составляет около 1,5 % общей мировой установленной мощности электростанций, 4,5 % установленной мощности установок на основе ВИЭ и 7,5 % от общей установленной мощности ГЭС. Согласно [4] общая установленная мощность МГЭС в мире в 2019 г. составила 78 ГВт, что на 10% выше уровня 2013 года. Освоенный потенциал малой гидроэнергетики в Центральной Азии составляет 0,1%, или 266 МВт.

В Таджикистане в условиях значительных объемов внешнего долга, сконцентрированного в электроэнергетике, и проблематичности его обслуживания, актуальности проблемы водообеспечения крупных ГЭС в условиях изменения климата и международных водных обязательств для обеспечения устойчивого энергетического развития особую значимость приобретает диверсификация использования гидроэнергетического потенциала на основе развития малой гидроэнергетики.

С целью обеспечения доступа к электроэнергии в труднодоступных горных населенных пунктах в Таджикистане реализуется программа сооружения малых ГЭС. В настоящее время введены в эксплуатацию более 265 малых ГЭС мощностью от 5 до 2500 кВт. Доля малой гидроэнергетики на внутреннем рынке составила 0,2 % или 34 млн. кВт.час электрической энергии. Вместе с тем эффективность реализации программы развития МГЭС оказалась низкой из-за просчетов как на стадии проектно-изыскательских работ, так и на стадии эксплуатации. Выполненное исследование показало, что установленная мощность 155 малых гидроэлектростанций используется только на 38,5%. [5]. Несмотря на достигнутые успехи в развитии малой гидроэнергетики в Таджикистане в настоящее время сохраняются барьеры в освоении гидроэнергетического потенциала малых рек [6-8]. Основными из них являются:

- низкие тарифы на электроэнергию;
- отсутствие надежной информационной базы о потенциале малых рек;

- недостоверность информации о масштабах энергетического потенциала малой гидроэнергетики;
- недостаточный уровень компетенции проектировщиков и эксплуатационного персонала МГЭС;
- неразвитость инфраструктуры по техническому обслуживанию МГЭС;
- недостаточный доступ населения к информации о значимости МГЭС;
- несовершенство нормативно-правовой базы.

Уязвимость гидроэнергетического потенциала малых и средних рек в условиях современных климатических тенденций требует разработки и внедрения инновационных решений по их освоению, а также достоверной информации. К сожалению, используемые в практике проектирования МГЭС показатели валового, технического и экономического потенциала малых рек не адекватны современным условиям. В целях снижения расходов на освоение потенциала малой гидроэнергетики и повышения ее инвестиционной привлекательности в Таджикистане необходимо выполнить переоценку потенциала малой гидроэнергетики с учетом современных технологических достижений, климатических условий и законодательства, а также возможностей преобразования существующей инфраструктуры и реконструкции существующих МГЭС и создать соответствующую информационную базу с систематическим внесением изменений. Эта задача может быть решена с помощью использования современных цифровых технологий.

5. Плавающая электростанция

В качестве инструмента управления рыночной стоимостью энергетических предприятий, способствующего ее максимизации, авторами предложена конструктивно-компоновочная модель плавучей электростанции [9], которая легко адаптируется к местным условиям, включая географию размещения и инфраструктуру. Благодаря возможности адаптации к условиям локального района эта технология комплексного использования энергии воды, ветра и солнца рекомендуется для электроснабжения отдаленных труднодоступных горных районов с низкой плотностью спроса на энергию.

Плавающее комбинированное устройство для производства электрической энергии обеспечивает бесперебойное электроснабжение и эффективное использование энергии воды, солнца и ветра, позволяет регулировать выдачу мощности в соответствии со спросом на нее. Принципиальная схема предлагаемой установки приведена чертежом, изображенным на рис. 2

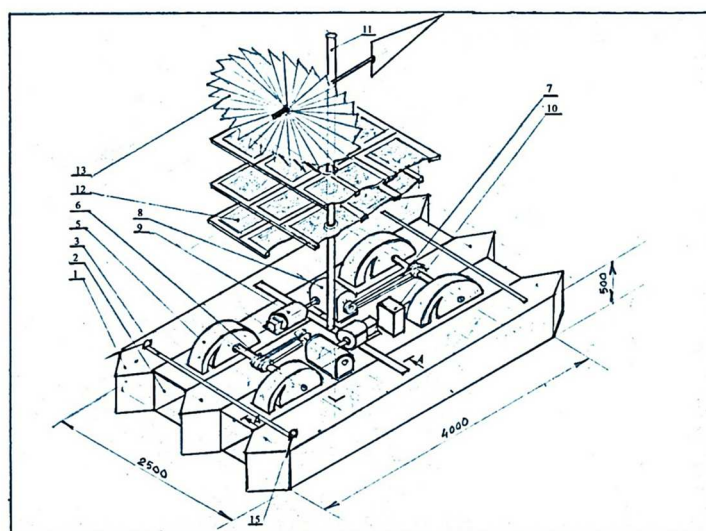


Рис. 2. Общий вид плавучей электростанции.

Плавающие корпуса – 1, расположенные по бокам и в середине, между которыми установлены – подводящие каналы-2, имеющие форму квадратного или цилиндрического короба. Подводящие каналы -2 и плавающие корпуса – 1 жестко закреплены между собой посредством планок крепления основания – 3. Над подводящими каналами – 2 установлены турбины – 4, которые защищены специальными лотками – 5. Турбины-4, соединены между собой металлическими валами, между ними жестко установлены шкивы – бна которых насажены текстуропные ремни – 7. Текстуропные ремни-7 соединены с червячными редукторами – 8 и генераторами тока – 9. В основании корпуса установлен вертикальный штырь-11, на котором закреплены солнечные панели – 12 и ветровая установка – 13.

Корпус также содержит электрический шкаф управления – 10, который регулирует производящее электричество, направлятель – 14, расположенный снизу основания корпуса, кольца для крепления троса – 15, расположенные по краям основания корпуса-1.

На рис. 3 изображен общий вид подводящего канала в разрезе сечения А-А с одновременным использованием водной, солнечной и ветровой энергии.

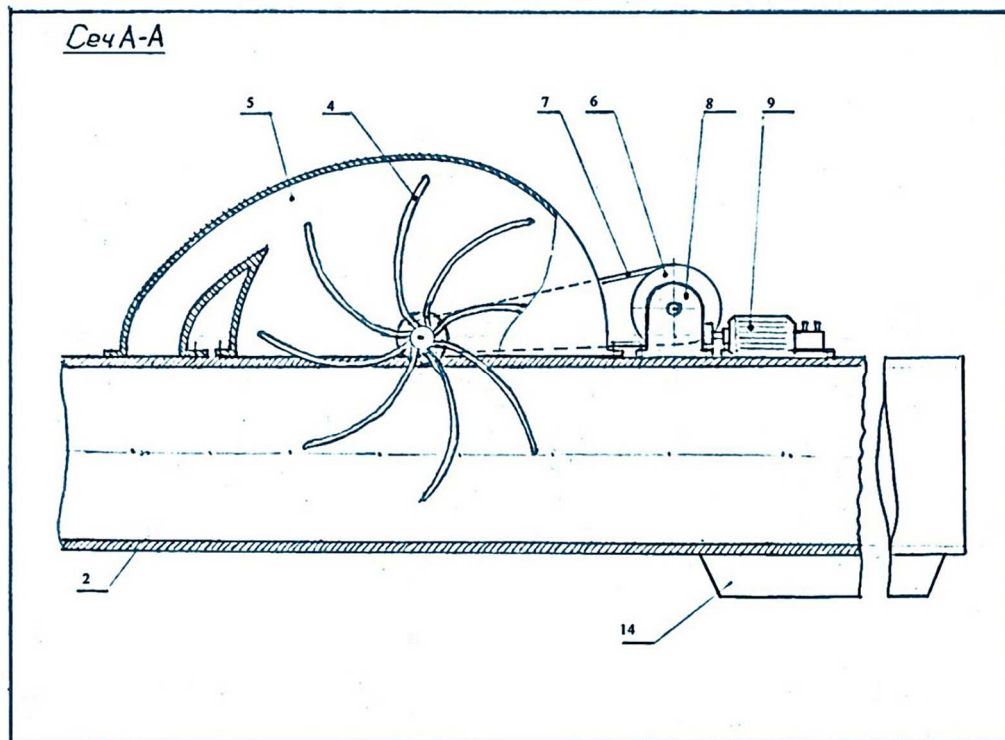


Рис. 3. Подводящий канал.

Принцип работы плавучего комбинированного устройства для получения электрической энергии: поток воды в реке со своей естественной скоростью попадает на подводящий канал-2, который имеет продолговатую форму прямоугольного или цилиндрического короба, изготовленного из легкого и прочного материала. Подводящий канал – 2 имеет сквозное отверстие для прохождения через него по всей длине её внутренней поверхности проточной воды. Также на верхней стороне подводящего канала – 2 установлена турбина – 4, таким образом, что одна вторая часть диаметра лопастей ее герметично закрепленных по краям и способных свободно вращаться, входит в подводящий канал – 2. Поступающая масса воды со своей естественной скоростью попадает в полость входного патрубка – 2, ударяется на поверхность лопаток турбины – 4, заставляя вращаться благодаря напору скорости воды. Турбина – 4 предназначена для создания силы вращательного движения, получаемого турбиной при контакте воды с лопастями турбины по горизонтали. Вращательная сила полученная от контакта течения воды с турбиной передается через валы, установленные жестко между турбинами – 4 с помощью шкивов – 6 и насаженных на них ремней – 7 передающих червячные редукторы – 8. Данные редукторы повышают мощность оборота вращения «1-11», то есть при в ходе в редуктор 100 оборотов в минуту получаем 1100 оборотов в минуту при выходе выходного вала червячного редуктора – 8, который установлен на верхней поверхности подводящих каналов устройства. Червячные редукторы – 8, соединены с генераторами тока-9, являющиеся бесщёточными, самовозбуждающимися на постоянных магнитах.

Верхняя сторона турбины-4 защищена специальными герметичными лотками– 5, имеющими форму улитки. Принятая конструкция характерна тем, что при работе турбины-4 масса воды принимает круговое вращение и во избежание потери мощности, корпус имеет специальную конструкцию в виде лотка для сброса 1/3 части объёма воды, тормозящего естественное движение ротора, как показано на рис. 2. Это позволяет избежать потерь вращательной мощности и достичь при получении скорости ротора вращения 100 оборотов в минуту при выходе вала турбины – 4, а на выходе вала редуктора – 8 получением скорости вращения турбины 1100 оборотов в минуту, необходимого для вращения вала генератора тока на для производства электрической энергии до 13 кВт*час, используя первичный природный источник – воду.

Дополнительно данное устройство содержит солнечную панель – 12 для производства электроэнергии до 1 кВт в час, которая установлена на вертикальном штиле – 11, изготовленного из прочной металлической трубы, жёстко установленной на основании корпуса-1, как показано на рис. 1.

Выполненные исследования показали, что в выбранном пилотном районе особенностью горной реки является постоянное наличие локального ветра, образованного самим течением воды. Следует отметить, что такое явление характерно для горных рек Таджикистана. В связи с этим плавучая ГЭС снабжена ветровой установкой – 13, позволяющей производить электричество 1 кВт в час. Ветровая установка насажена на вертикальный штырь – 11.

Таким образом, устройство является плавучим, находясь на поверхности реки, которая используя комплексно первичные природные источники: воду, солнце и ветер, производит электроэнергию для населения, проживающего в труднодоступных горных районах.

С изменением климата и уменьшением расхода воды в реках большие ГЭС будут терять свою мощность, что уже происходит уже сейчас. В связи с этим их рыночная стоимость будет падать. В свою очередь спрос населения горных труднодоступных регионов на малые гибридные установки, в частности на предлагаемую авторами установку будет расти. С ростом ее привлекательности будет расти и рыночная стоимость.

6 Цифровые технологии в управлении плавучей станции

Использование цифровых технологий в управлении режимом работы плавучей электростанции позволит сформировать базу данных о выработке электроэнергии каждым структурным элементом электростанции и управлять дистанционно режимом ее работы. Для цифровизации узлов и механизмов энергетической установки необходимы соответствующие технические средства [10-12]:

- Спутниковая система навигации, позволяющая получать точную информацию о местонахождении любого энергетического объекта.
- Электромагнитные, инфракрасные, ультразвуковые термодатчики (сенсоры), служащие для определения различных параметров: объем вырабатываемой электроэнергии, скорость, напор и объем воды, число оборотов узлов и механизмов привода, температура нагревания привода и генератора, скорость и направление ветра, солнечная инсоляция и т.д.
- Современный бортовой компьютер, как многофункциональная информационно-управляющая система, собирающая фиксируемую сенсорами информацию и сохраняющая ее на карте памяти, объединенная с электронными процессорами узлов и механизмов плавучей комбинированной установки.
- Географическая информационная система (ГИС), служащая для выдачи собранной с помощью сенсоров информации в доступной для чтения форме.

7 Выводы

Рекомендации обеспечения широкого использования предложенного инновационного решения в практике освоения гидроэнергетического потенциала малых рек может быть при реализации следующих мер:

- доступ к стабильным источникам финансирования на основе реализации стратегии снижения финансовых рисков для инвесторов, повышения осведомленности о малой гидроэнергетике местных частных инвесторов и микрофинансовых организаций;
- возможность производства предложенной плавучей гидроэлектростанции на отечественных промышленных предприятиях;
- введение налоговых льгот на импорт ввозимых конструктивных элементов плавучей электростанции;
- доступ проектировщиков к достоверной исходной информации;
- обучающие программы среди местного населения по приобретению компетенций и практических навыков по строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию гибридной электростанции;
- создание условий для развития соответствующей инфраструктуры микросетей и цифровых технологий;
- в целях привлечения инвестиций достоверная оценка рыночной стоимости МГЭС;
- сохранение выраженных тенденций роста потребления «зеленой» энергии обеспечит инвестиционную привлекательность предложенного решения комплексного использования энергии воды, солнца и ветра.

Литература:

1. В.А. Ясинский, А.П. Мироненков, Т.Т. Сарсембеков (2011) Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. Отраслевой обзор №14 © Евразийский банк развития. Алматы, 2011. – с. 36 ISBN 978–601–7151–24–9 http://www.cawater-info.net/library/rus/cabr_4
2. «World Small Hydropower Development», Report 2019, ISSN: 2706-7599
3. Водно-энергетический потенциал Таджикистана и его выгоды для региона. Электронный ресурс: <http://www.tajembassy.by/articles/show/alias/vodno-energeticheskiy-potentsial-tadjikistana-i-ego-vyigodyi-dlya-regiona/>
4. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. WSHPDR 2019, ООН, Нью-Йорк и Женева, 2009 год, ISBN: 978-92-1-416055-7
5. Ахророва А.Д., Саидова Ш.Н. Гидроэнергетика Таджикистана и ее уязвимость в условиях изменения климата. Политехнический вестник 1 (49) 2020 серия: интеллект. Инновации. Инвестиции. ISSN 2520-2227
6. Asia-Plus Media Group (2019). BarkiTochik. Restructuring continues, debts grow. Available from <https://news.tj/ru/news/tajikistan/economic/20190129/barki-tochik-restrukturizatsiya-prodolzhaetsya-dolgi-rastut-i-priblizhayutsya-k-25-mlrd>
7. Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. Реструктуризация электроэнергетики Таджикистана. Электронный ресурс: <https://www.mewr.tj>
8. LIU, D., LIU, H., WANG, X., and Kremere, E., eds. (2019). World Small Hydropower Development Report 2019. United Nations Industrial Development Organization; International Center on Small Hydro Power. Электронный ресурс: <https://www.smallhydroworld.org>.
9. Патент и авторское свидетельство ТД № 1249, МПК: F03B 12/12; F03B 12/20; H02S 10/00; F03D 9/00. Плавающее устройство для получения электрической энергии./ Саидов М.Х., Ахророва А.Д., Камилова Н.М., Носиров Н., Кобули З.В., Саломзода Р., Амирзода О.Х. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 5 апреля 2022 г. Заявление № 2101565.
10. Bernd W. Wirtz. (2019). Digital Business Models : Concepts, Models, and the Alphabet Case Study (Vol. 1st ed. 2019). Springer.
11. Energy Res. Soc. Sci., 13 (2016), pp. 15-23/
12. Горбатенко Н.А. Цифровизация электроэнергетики России // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ № 6 (84). Часть 2. 2020
13. Воротынцев Д.В., Карпов Н.Д., Муравицкий Я.Л., Васьков А.Г. РАЗРАБОТКА Системы электроснабжения автономного исследовательского буя // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5 (20). С. 300-303.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ–AUTHORS BACKGROUND

TJ	RU	EN
Ахророва А.Д.	Ахророва А.Д	Akhrorova A.D.
Д.и.и., профессор, мудир маркази «Энергетика» Институти таджикотии «Политехник»	д.э.н., профессор, заведующая центром «Энергетика» НИИ «Политехник»	Doctor of Economics, Professor, Head of the Center "Energy" Research Institute "Polytechnic"
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик Осимӣ М.С.	Таджикский технический университет имени академика Осими М.С.	Tajik Technical University named after academician Osimi M.S.
aalpha@mail.ru		
TJ	RU	EN
Саидов М.Х.	Саидов М.Х.	Saidov M.Kh.
директор	директор	director
ЧДММ «Ормазд Инженеринг»	ООО «Ормазд инжиниринг»	Ormazd Engineering LLC
armazd@mail.ru		
TJ	RU	EN
Камилова Н.М.	Камилова Н.М.	Kamilova N.M.
докторанти PhD	докторант PhD	PhD student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик Осимӣ М.С.	Таджикский технический университет имени академика Осими М.С.	Tajik Technical University named after academician Osimi M.S.
nk 1777@bk.ru		

МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАГРЯЗНЁННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОНАХ

Расулов О. У.

Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими

Почвы промышленных регионов более чувствительны к переносу и накоплению антропогенных загрязнений. Воздействие на окружающую среду алюминиевого завода было изучено путем определения уровня загрязнения. С использованием рентгенофлуоресцентного (XRF) спектроскопического анализа была определена концентрация 9-ти токсичных металлов в верхнем слое почвы (0–20, 20–40 см) промышленных зон. Учитывая изученные участки вокруг алюминиевого завода, экстремальные концентрации Cd (21.63 мг*кг⁻¹), Pb (173.34 мг*кг⁻¹), Cu (49.16 мг*кг⁻¹), Zn (232.06 мг*кг⁻¹), Ni (110.55 мг*кг⁻¹), Co (216.68 мг*кг⁻¹), Cr (179.44 мг*кг⁻¹), Fe (28704 мг*кг⁻¹) и Al (15203 мг*кг⁻¹) были зарегистрированы в Жяр над Гроном (Словакия). Результаты показали, что концентрация тяжелых металлов значительна в исследованном районе.

Ключевые слова: алюминиевый завод; мониторинг; тяжелые металлы; загрязнение почвы.

ENVIRONMENTAL MONITORING OF HEAVY METALS IN POLLUTED INDUSTRIAL AREAS

Soils of industrial regions are more sensitive to transfer and accumulate anthropogenic pollution. The environmental impact of an aluminum smelter has been studied by determining the level of pollution. Using X-ray fluorescence (XRF) spectroscopic analysis, the concentration of 9 toxic metals was determined in the upper soil layers (0–20, 20–40 cm) of industrial zone. Considering the studied areas around the aluminum plant, extreme concentrations of Cd (21.63 mg*kg⁻¹), Pb (173.34 mg*kg⁻¹), Cu (49.16 mg*kg⁻¹), Zn (232.06 mg*kg⁻¹), Ni (110.55 mg*kg⁻¹), Co (216.68 mg*kg⁻¹), Cr (179.44 mg*kg⁻¹), Fe (28704 mg*kg⁻¹) and Al (15203 mg*kg⁻¹) have been found in Žiar nad Hron (Slovakia). The results showed that the concentration of heavy metals is significant in the studied area.

Keywords: aluminum plant; monitoring; heavy metals; soil pollution.

НАЗОРАТИ МУХИТИ МЕТАЛЛҲОИ ВАЗИН ДАР МИНТАКАИ САНОАТИИ ИФЛОСШУДА

Хокҳои минтақаҳои санаотӣ ба олудаҷавӣ ва ҷамъҷавӣ партовҳои антропогенӣ бештар ҳассос мебошанд. Бинобар ин таъсири корхонаи алюминий ба муҳити зист бо роҳи муайян кардани дараҷаи ифлосҷавӣ омӯхта шудааст. Бо ёрии спектроскопии рентгенофлуоресцентӣ (XRF) дар қабати болоии хоки (0–20, 20–40 см) минтақаҳои санаотӣ консентратсияи 9 металли захронк муайян карда шуд. Бо назардошти омӯзиши минтақаҳои атрофи заводи алюминий, консентратсияи аз ҳама бештар барои Cd (21,63 мг*кг⁻¹), Pb (173,34 мг*кг⁻¹), Cu (49,16 мг*кг⁻¹), Zn (232,06 мг*кг⁻¹), Ni (110,55 мг*кг⁻¹), Co (216,68 мг*кг⁻¹), Cr (179,44 мг*кг⁻¹), Fe (28704 мг*кг⁻¹) ва Al (15203 мг*кг⁻¹) дар шаҳри Жяр над Грон (Словакия) муайян карда шуд. Аз натиҷаи ба дастомада хулоса кардан мумкин аст, ки консентратсияи металлҳои вазнин дар минтақаи омӯхатшуда назаррас мебошад.

Калидвожаҳо: заводи алюминий; мониторинг; металлҳои вазнин; ифлоскунондаҳои хок.

Введение

Исследованиям, связанным с тяжелыми металлами, по-прежнему уделяется все больше внимания из-за возросшего понимания их токсикологической значимости в экосистемах и воздействия на здоровье человека [1]. Обширные исследования относительно распределения и влияния тяжелых металлов были проведены на некоторых континентах, таких как Азия [2, 3, 4], Африка [5, 6, 7] и Европа [8, 9, 10]. Тяжелые металлы способствуют наиболее опасному загрязнению окружающей среды из-за их высокой токсичности и склонности (тенденции) к накоплению в почве. Они встречаются в природе в скалах и в почве, в основном в формах, которые недоступны для биоты, но когда металлы, попадающие в окружающую среду, происходят из антропогенных источников, это может сильно влиять на их видообразование и, следовательно, биодоступность [1]. Соотношение между количеством тяжелых металлов в почве тесно связано с индустриализацией. Наиболее часто встречающиеся тяжелые металлы на загрязненных участках: Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu и Ni [11]. Хорошо известно, что тяжелые металлы не являются биоразлагаемыми, и их общая концентрация в экосистеме сохраняется в течение длительного времени и имеет тенденцию к загрязнению пищевой цепи. Как только тяжелые металлы накапливаются в почве, они могут постепенно продвигаться к корням и распространяться к стеблям, листьям и другим составным частям растений, что может привести к повреждению липидных структур плазматических мембран [4]. Среди металлов, Cd и Zn являются наиболее мобильными и легко усваиваются растениями [5]. Трехвалентный Cr³⁺ может координироваться с двумя гуаниновыми основаниями из ДНК, вызывая изменения и мутации ДНК [12, 13].

Эта статья посвящена влиянию алюминиевой промышленности на окружающую среду в Жяр над Гроном в Словакии, где расположен алюминиевый завод SLOVALCO (Словацкая алюминиевая компания).

Основными целями этого исследования было изучение концентрации тяжелых металлов в почвах, собранных вокруг алюминиевого завода. Это исследование также оценивает уровень тяжелых

металлов в верхнем слое почвы на основе факторов обогащения (EF), который может указывать на некоторое антропогенное загрязнение [14]. Воздействие производства алюминия на окружающую среду зависит прежде всего от того, будет ли алюминиевый завод также производить глинозем, или импортируется ли он. В SLOVALCO, производство глинозема закончилось в 1992 году. За 40 лет его производства в Словакии более 10 миллионов тонн коричневого и красного шлама накапливалось и попало в пруд возле алюминиевого завода. Рекультивация этого пруда была завершена в 2013 году стоимостью более 53 миллионов евро, и в настоящее время хвостохранилище хорошо сохранилось.

2. Материалы и методы

Словацкая алюминиевая компания (SLOVALCO) была основана в Жиар-над-Хроном в Чехословакии 29 августа 1953 года под названием «Завод Словацкого национального восстания» (Závod Slovenského národného povstania, abbr. ZSNP). Первоначально алюминиевые заводы использовали технологию Söderberg, пока эффективные фильтры не были установлены. В 1996 году технология Söderberg была заменена новой технологией Prebake [15].

Рядом с алюминиевым заводом в Словакии были выбраны участки мониторинга (рис. 1). Образцы почвы были отобраны на расстоянии от источников выбросов в 0,2–10 км (Жьяр-над-Хроном).

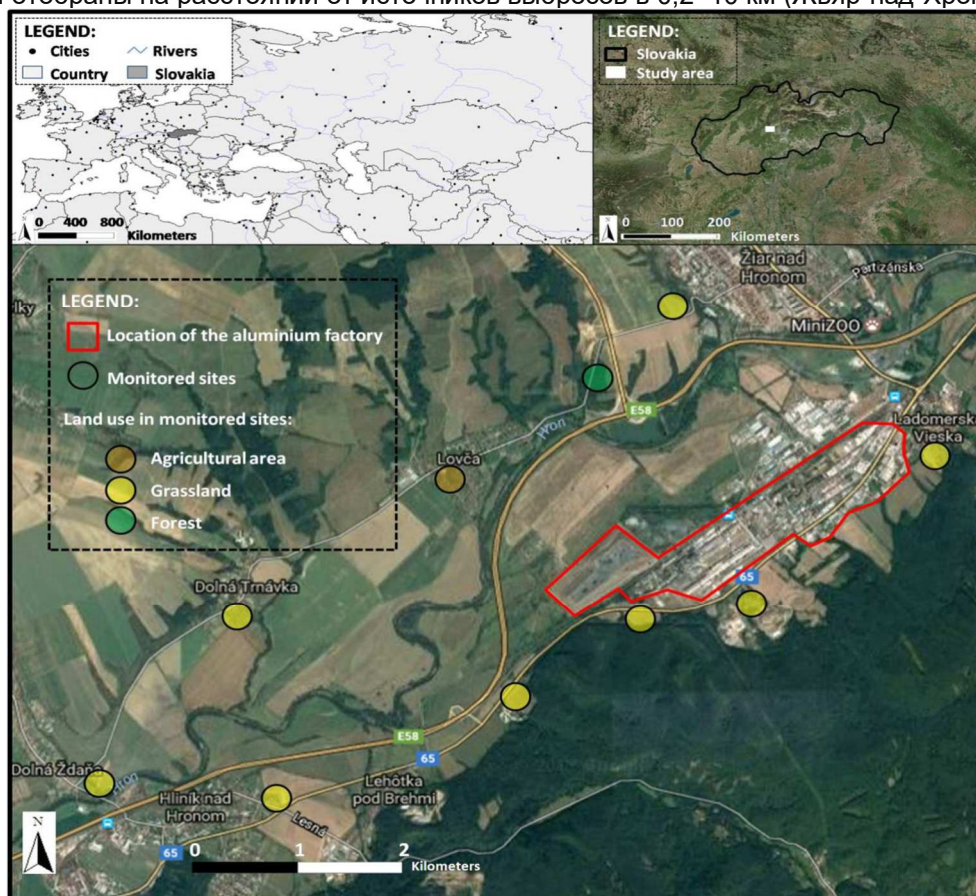


Рис. 1 Исследуемая территория вокруг SLOVALCO в Жиар-над-Хроном, Словакия.

URL: <https://www.google.com/maps/place/965+01+%C5%BDiar+nad+Hronom,+Slovensko/@48.5741426,18.8356149,8361m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47152e5312c02675:0x400f7d1c6972bb0!8m2!3d48.5905012!4d18.8548946>
(16.5.2017.)

Увеличение количества загрязняющих веществ в почвах и растениях в Жьяр-над-Хроном, центральная Словакия, было зарегистрировано с момента начала работы алюминиевого завода. Производство первичного алюминия приводит к выбросам огромных количеств летучей золы с высоким содержанием тяжёлых металлов, а также фторидов (газообразны фтористый водород и фторидные минералы, такие как криолит), частицы глинозема (Al_2O_3), перфторуглероды, такие как тетрафторметан (CF_4) гексофторэтан (C_2F_6) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [16].

Это место исследований классифицируется как континентальный климат ($T_{max,summer}$: 27 °C; $T_{min,summer}$: 12 °C в июле; $T_{max,winter}$: 0 °C; $T_{min,winter}$: -3 °C в январе). Годовое количество осадков около 750 мм [17].

Сбор образцов почвы проводился в 2016 году после вегетационного периода. Образцы верхнего слоя почвы были взяты с глубины 0-20 и 20-40 см на каждом участке. Инструмент отбора пробы был

использован для сбора образцов равномерно по всему участку. Образцы были проанализированы в почвенной лаборатории. Во время подготовки почва была высушена на воздухе (20–40 °С), гомогенизирована и просеяна через 2мм металлическое сито для отделения больших объектов. Чтобы обеспечить правильные измерения, образцы были подготовлены следуя дроблению, измельчению до более мелкого и рыхлого порошка и его равномерному распределению на полиэтиленовых листах, обеспечивая разделение, чтобы исключить возможность загрязнения от любых внешних источников. Каждый образец был тщательно и однородно подготовлен в виде таблеток с гладкой поверхностью и одинаковой плотностью. Это было достигнуто путем измельчения рыхлых порошкообразных образцов (75 мкм) с целью дальнейшего уменьшения размеров частиц примерно до 60 мкм или менее. Полученную смесь (образец и связующий материал), имеющую общую массу 4,9 г, поместили в деформируемые алюминиевые банки (размольные стаканы с завинчивающейся крышкой) для тщательного измельчения и гомогенизации с помощью RETSCH Mixer Mills (MM 301). Используя гидравлический пресс SPECAC (макс. Предел: 15 000 кг), каждый измельченный образец вручную прессовали в таблетки с одинаковым диаметром ($\phi = 32$ мм) и толщиной ($\delta = 3$ мм) и помещали в чашку XRF для анализа.

Степень загрязнения почвы была оценена с использованием коэффициента обогащения (EF). EF - хороший инструмент для определения, является ли источник металла антропогенным или природным.

Для расчета EF использовалось следующее уравнение:

$$EF = \frac{\frac{X}{Al}(\text{sediment})}{\frac{X}{Al}(\text{crust})}$$

где $\frac{X}{Al}$ - отношение тяжелого металла (X) к Al.

Значения EF были интерпретированы, как предположено BIRTH et al. (2003) для металлов, изученных относительно коры средней [18].

EF <1 означает отсутствие обогащения,

EF <3 - незначительное обогащение,

EF = 3–5 – умеренное обогащение,

EF = 5–10 -умеренно тяжелое обогащение,

EF = 10–25 - серьезное обогащение,

EF = 25–50 – очень сильное обогащение,

EF > 50 - чрезвычайно серьезное обогащение.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием STATISTICA 10 (ANOVA) и программы R для проверки различий между двумя или более средними. Использовалась корреляция Пирсона, чтобы определить, были ли общий источник и связь между микроэлементами.

3. Результаты и обсуждение

Литогенное (геогенное) происхождение токсичных металлов характерно для минеральных почв из-за геологического условия.

Педогенное загрязнение от антропогенного воздействия в основном оказывает влияние на содержание природных элементов, которые должны учитываться для достоверности оценивания. Подвижность тяжелых металлов зависит от pH почвы. Количество pH был 6,5–8,2 на всех участках исследования, что означает, что подвижность токсичных элементов низкая. Большинство элементов мобилизован при кислотном pH (5–6), поэтому для нейтральных или щелочных элементов характерны низкие накопления исследованных почв.

Таблица 1 показывает среднее значение, стандартное отклонение (SD), стандартные ошибки (Std. Err), пороговое предельное значение (TLV), коэффициенты обогащения (EF), а также минимальные и максимальные концентрации тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Cr и Al) в почвах на изученной территории Словакии.

По количеству суммарного накопления токсичных металлов в образцах можно представить следующий порядок Fe > Al > Zn > Co > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd.

Таблица 1 показывает, что уровень Pb в Жьяр-над-Хроном превысил ПДК. Pb очень подвижен и легко усваивается растениями, как и Zn, Cd, Ni, Cr, и Co, даже когда концентрации этих токсичных

металлов близки к фоновой концентрации. Концентрации Cd, Ni, Co и Cr, обнаруженные в исследованных районах Словакии, были выше чем ПДК. Статистические показатели концентрации тяжёлых металлов показаны на рисунке 2.

Таб. 1. Сводные результаты описательного статистического анализа отдельных концентраций тяжёлых металлов по сравнению с их ПДК и ОФ [n = 20].

Тяжелые металлы	Мин. (mg kg ⁻¹)	Макс. (mg kg ⁻¹)	Стан. Отк. (σ)	Стан. Ошиб.	Сред. Знач. (mg kg ⁻¹)	ПДК ^a (mg kg ⁻¹)	Диапазоны коэффициента обогащения (EF)
<i>SLOVALCO*</i>							
Cd	18.68	21.63	0.720	0.16	20.21	0.4 ^c	55.7-92.5
Pb	16.42	173.34	0.659	0.15	45.36	25 ^c	0.9-9.5
Zn	35.75	232.06	55.12	12.41	86.33	100 ^c	0.4-1.8
Cu	24.2	49.16	5.853	1.34	40.86	30 ^c	0.2-0.7
Ni	97.75	110.55	13.627	0.65	101.53	40 ^c	0.7-1.3
Co	156.8	216.68	31.02	3.49	193.17	15 ^c	4.4-7.6
Fe	13660	28704	6495	901.4	21285	400 ^c	-
Cr	76.57	179.44	27.07	6.10	117.44	100 ^c	0.6-1.5
Al	9011	15203	1606	363.6	11692	-	-

Мин = Минимальное значение концентрации;

Макс = максимальное значение концентрации;

ПДК = Предельно допустимая концентрация;

Стан. Отк. = Стандартное отклонение;

Стан. Ошиб. = Стандартная ошибка;

EF = Коэффициент обогащения.

*Алюминиевые заводы

^aпороговое значение в соответствии с законодательством отдельных стран;

^cSlovakia. Act. No.220/2004 Coll. as amended;

Высокие значения EF для Cd, Pb и Co были обнаружены в образцах почвы, которые получили огромное количество металлических разрядов, в основном из алюминиевого завода. Значения EF для Cd были чрезвычайно высокими, что указывает на высокую степень загрязнения Cd. Co был второй по величине значения EF (табл. 1) среди изученных металлов. Zn, Cu и Cr продемонстрировали самые низкие значения EF среди изученных металлов.

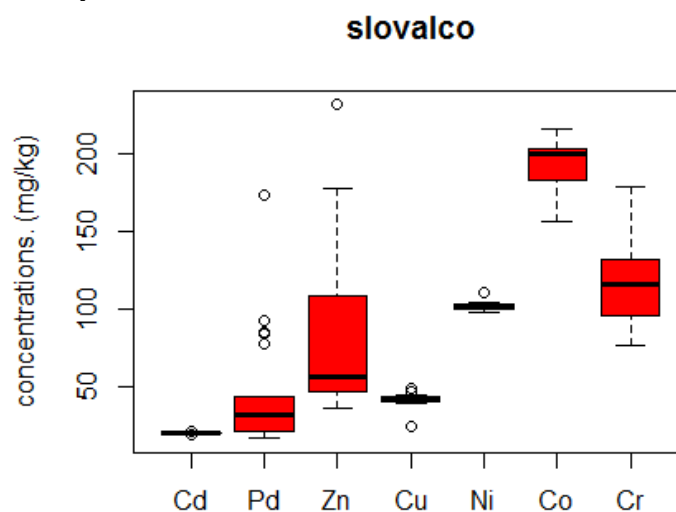


Рис. 2. Средние значения концентраций Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cr в отобранных пробах почвы вокруг алюминиевых заводов (TALCO, SLOVALCO).

Из рисунка 2 видно, что полученные данные не были симметричными. Это может быть связано с

загрязнением почвы, однако, исследуемая территория включала как территории хвостохранилищ (красной шлам), так и незагрязненную землю.

Концентрации микроэлементов, зарегистрированные вокруг алюминиевого завода, показали значения, которые были выше рекомендованного предела, установленного для следов металлов в почвах [19] (No.02-2333; Slovakia. Act. No.220/2004 Coll. as amended). Более того, результаты этого исследования согласуются с другими исследованиями, где почвы, которые были собраны вокруг алюминиевых заводов показали значения, превышающие рекомендованные ВОЗ пределы [20].

Кроме того, корреляция между элементами была рассчитана для определения их связи и источников загрязнения в исследуемых районах. Результаты корреляционной матрицы можно увидеть на рисунке 3. Корреляции между металлами были очень слабыми, но были отмечены некоторые положительные корреляции для некоторых из микроэлементов, таких как Cd, Pb, Co, Fe, Ni и Zn, в этих изученных областях.

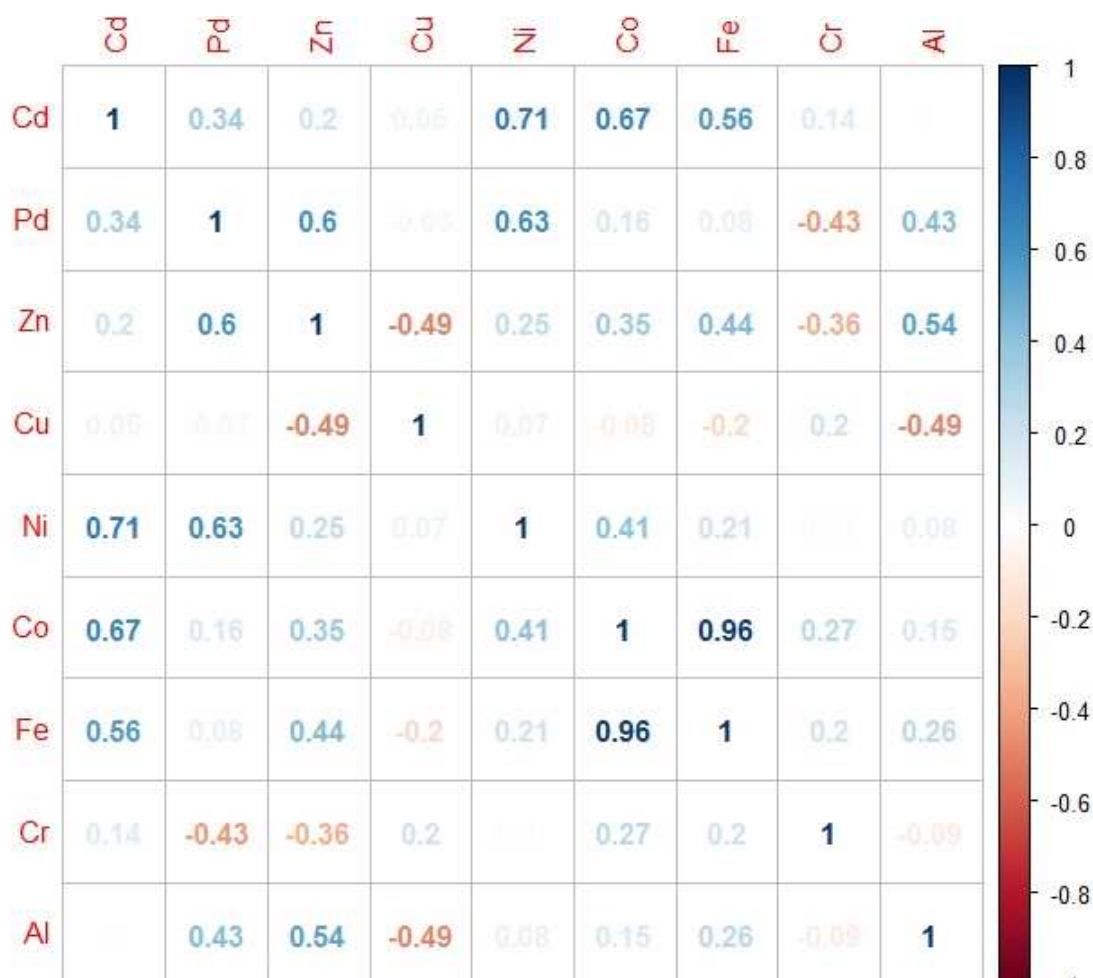


Рис. 3 Матрица коэффициента корреляции металлов в почве, собранной вокруг SLOVALCO.

Вокруг SLOVALCO была зарегистрирована высокая концентрация микроэлементов. Это высокий тяжелый металл содержание в почве которого, вероятно, связано с производством глинозёма и алюминия и атмосферным осадением и другими факторами, такими как географическое положение и климат, а также мощность завода.

Концентрации тяжелых металлов в пробах почвы вокруг SLOVALCO, как установлено, выше, чем фоновые значения. Например, фоновые значения в А-горизонтах образцов почвы Словакии составляют: 0,3 мг*кг⁻¹ для Cd, 20 мг* кг⁻¹ для Pb, 61 мг кг⁻¹ Zn, 17 мг кг⁻¹ для Cu, 21 мг кг⁻¹ для Ni, 9 мг кг⁻¹ для Co и 85 мг кг⁻¹ для Cr [21]. Все образцы почвы, собранные вокруг SLOVALCO, были очень близки к дорогам. Кроме того, концентрации микроэлементов из почвы вокруг алюминиевого завода в настоящем исследовании могут быть связаны с количеством лет, в течение которых фабрика была в эксплуатации.

Основываясь на данных, промышленная деятельность может вызвать умеренное накопление токсичных элементов в почвах. Взяв во внимание порядок величин уровней Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Fe и Al, значимых различий между двумя слоями не было обнаружено. Исходя из результатов, нельзя четко подтвердить, что верхний слой более загрязнен, чем нижний слой. В основном на глубине 0-20 см несколько образцов содержали тяжелые металлы, которые превышали предельно допустимую концентрацию, но токсичный металл также накапливает содержание непогашенных элементов в этом случае.

Выводы

Результаты исследования показали, что концентрация тяжелых металлов значительна в Жьяр-над-Гроном, которые превышают пороговые предельные значения. Эти аномальные концентрации являются результатом производства алюминия и удаления отходов. Тем не менее, высокие концентрации тяжелых металлов были обнаружены даже в жилых районах, потому и существует высокий шанс переноса загрязняющих веществ и других отраслей промышленности, расположенных вблизи алюминиевых заводов. Что касается этих результатов, то можно сделать вывод, что алюминиевая промышленность является одним из источников загрязнения окружающей среды, а почвы вокруг этих заводов отличаются высокой концентрацией тяжелых металлов.

Литература

1. Urushadze, T.F., Ghambashidze, G.O., Blum, W.H., Mentler, A., 2007. Soil Contamination with Heavy Metals in Imereti Region.
2. Chopra, A.K., Pathak, C., Prasad, G., 2009. Scenario of heavy metal contamination in agricultural soil and its management. *J. Appl. Nat. Sci.* 1, 99–108.
3. Arao, T., Ishikawa, S., Murakami, M., Abe, K., Maejima, Y., Makino, T., 2010. Heavy metal contamination of agricultural soil and countermeasures in Japan. *Paddy Water Environ.* 8, 247–257. doi:10.1007/s10333-010-0205-7
4. Xu, L., Wu, X., Zhou, Z.F., 2016. Effects of physiological integration and fertilization on heavy metal remediation in soil by a clonal grass. *Polish J. Environ. Stud.* 25, 395–404. doi:10.15244/pjoes/60374
5. Ahaneku, I.E., Sadiq, B.O., 2014. Assessment of Heavy Metals in Nigerian Agricultural Soils. *Pol. J. Environ. Stud.* 23, 1091–1100.
6. Olowoyo, J.O., Mugivhisa, L.L., Busa, N.G., 2015. Trace metals in soil and plants around a cement factory in Pretoria, South Africa. *Polish J. Environ. Stud.* 24, 2087–2093. doi:10.15244/pjoes/43497
7. Wuana, R., Okieimen, F.E., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecol.* 2011, 1–20. doi:10.5402/2011/402647
8. Núñez, O., Fernández-Navarro, P., Martín-Méndez, I., Bel-Lan, A., Locutura Rupérez, J. F., López-Abente, G. 2017. Association between heavy metal and metalloid levels in topsoil and cancer mortality in Spain. *Environ Sci Pollut Res.* 24:7413–7421. DOI 10.1007/s11356-017-8418-6
9. Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M.R., Montanarella, L., 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environ. Int.* 88, 299–309. doi:10.1016/j.envint.2015.12.017
10. Uzinger, N., Anton, Á.D., Ötvös, K., Tamás, P., Anton, A., 2015. Results of the clean-up operation to reduce pollution on flooded agricultural fields after the red mud spill in Hungary. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 9849–9857. doi:10.1007/s11356-015-4158-7
11. Wyszowska, J., Wiczorek, K., Kucharski, J., 2016. Resistance of arylsulfatase to contamination of soil by heavy metals. *Polish J. Environ. Stud.* 25, 365–375. doi:10.15244/pjoes/60417
12. Peralta-Videa, J.R., Lopez, M.L., Narayan, M., Saupé, G., Gardea-Torresdey, J., 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 41, 1665–1677. doi:DOI 10.1016/j.biocel.2009.03.005
13. Costa, M., Klein, C.B., 2006. Toxicity and carcinogenicity of chromium compounds in humans. *Critical Reviews in Toxicology.* 36, 155-163. <http://dx.doi.org/10.1080/10408440500534032>
14. G. Birth, “A Scheme for Assessing Human Impacts on Coastal Aquatic Environments Using Sediments,” In: C. D. Woodcoffe and R. A. Furness, Eds., *Coastal GIS*, Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy, Australia, 2003.
15. SLOVALCO., 2017. Natural protection, history. (<http://slovalco.sk/en/chranime-prirodu/historia-ekologie/>).
16. Jamnická, G., Bučinová, K., Havranová, I., Urban, A., 2007. Current state of mineral nutrition and risk elements in a beech ecosystem situated near the aluminium smelter in Žiar nad Hronom, Central Slovakia. *Forest. Ecology. and Management.* 248, 26–35. doi:10.1016/j.foreco.2007.02.033
17. World weather & climate information., 2017. Slovakia, climate Žiar nad Hronom. (<https://weather-and-climate.com/average-monthly-min-max-Temperature,ziar-nad-hronom-banskobystricky-kraj-sk,Slovakia>).
18. Taylor, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1273–1285. doi:10.1016/0016-7037(64)90129-2

19. Slovakia. Act. no.59 from 11. May 2013 on the protection and use of agricultural land. Ministry of Agriculture and Rural Development of the Slovak Republic. Available at: <http://www.zakonypreludi.sk/zz/2013-59>.
20. World Health Organisation, 2007. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Jt. WHO 1 Conv. Task Force Heal. Asp. Air Pollut. 2–144. doi:10.1002/em
21. Čurlík, J., Šefčík, P., 1999. Geochemical atlas of the Slovak republic, part V: soils. Ministry of the environment of the Slovak republic, Soil science and conservation research institution, Bratislava. ISBN 80-88833-14-0.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

TJ	RU	EN
Расулов Оқил Умарқулович;	Расулов Оқил Умарқулович	Rasulov Oqil Umarqulovich;
Доктор PhD., дотсент	Доктор PhD, доцент	Doctor PhD., associate professor;
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
oqil.rasulov@gmail.com		
0000-0003-2057-7846		

УДК.669.849.3

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЦЕССА ХЛОРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СУЛЬФИДНОСУРЬМЯНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ХЛОРИДОМ НАТРИЯ

Х.Ш. Рахимов

Горно-металлургический институт Таджикистана, г. Бустон

Изучено влияние основных факторов – температура, время выдержки обжига и соотношения массы хлорирующего реагента хлорида натрия к массе концентрата на скорость процесса окислительно-хлорирующего обжига предварительно механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата. Хлорирующий обжиг концентрата проведено с подачей или без доступа воздуха. Исследование влияния отдельного фактора из вышеуказанных при постоянстве других на процесс хлорирующего обжига проведено с участием кислорода воздуха. Определены оптимальные условия проведения процесса, позволяющие достигать высокую степень переработки концентрата и выхода основного продукта обжига. Установлено, что с повышением температуры до 450°C наблюдается рост выхода основного продукта обжига хлорида сурьмы ($\alpha=49\%$), который замедляется при более высоких температурах. При этой температуре наиболее оптимальным временем выдержки процесса обжига концентрата составляет 90 -120 минут. Высокий выход основного продукта обжига концентрата достигается при соотношении массы хлорирующего реагента (NaCl) (m_1) к массе концентрата (m_2) $m_1/ m_2= 1/4$.

Ключевые слова: сульфидно-сурьмяной концентрат, механоактивация, хлорирующий обжиг, хлорид натрия, оптимальные условия переработки.

РАВАНДИ МУФИДӢ СӢЗОНИДАӢИ ХЛОРИРОНИИ КОНСЕНТРАТИ СУЛФИДИИ СУРМАДОРИ ПЕШАКИ ФАӢОЛСОЗИИ МЕХАНИКИГАРДИДА БО ХЛОРИДИ НАТРИЙ

Таъсири омилҳои зерин омӯхта шудааст-ҳарорат, вақти нигоҳ доштани ҳарорат ва таносуби массаи реагенти хлордор ба массаи концентрати пешаки фаъолсозии механики гардида, ки ба ҷараёни гузариши раванд таъсири назарраст дорад. Шароитҳои оптималии гузарондани раванд муайян карда шудаанд, ки ба дараҷаи баланди коркарди концентратҳо имконият медиҳанд.

Сӯзонидани хлориронии концентрат бо додани ҳаво ё бе додан ҳаво гузаронда мешавад. Омӯзиши омилҳои дар боло зикршуда бо доимии омилҳои дигар ба кинетикаи раванди сӯзонидани хлориронӣ бо иштироки оксигени атмосфера гузаронида шуд. Шароити оптималии гузарондани раванд муайян карда шудааст, ки ба дараҷаи баланди коркарди концентрат ва барои ҳосил намудани маҳсулоти асосӣ ноил шудан мумкин аст. Муқаррар карда шудааст, ки бо баланд шудани ҳарорат то 450°C зиёд шудани ҳосилнокии маҳсулоти асосии сӯзонидани хлориронии сурма ($\alpha=49\%$) мушоҳида мешавад, ки дар ҳарорати баланд суръати он суст мешавад. Дар ин ҳарорат вақти оптималии нигоҳдорӣ барои концентрат 90-120 дақиқа аст. Ҳосилнокии баланди маҳсули асосии концентрат дар таносуби массаи хлордор (NaCl) (m_1) ба массаи концентрат (m_2) $m_1/ m_2= 1/4$ ба даст меояд.

Калимаҳои калидӣ: концентрати сулфидии сурмадор, фаъолсозии механикӣ, сӯзонидани хлордор, хлориди натрий, сӯзонидани хлордор, шароити муфиди коркард.

OPTIMALS FACTORS OF THE PROCESS CHLORINATION ROASTING OF MECHANICALLY ACTIVATED SULPHIDE-ANTIMONY CONCENTRATES WITH SODIUM CHLORIDE

H.Sh. Rakhimov

The influence of the main factors-temperature, exposure time of roasting and the ratio of the mass of the chlorinating reagent of sodium chloride to the mass of the concentrate on the rate of the oxidation-chlorination roasting of the mechanically activated sulfide-antimony concentrate has been studied. Chlorine roasting of the concentrate was carried out with or without air supply. The study of the influence of a single factor from the above, with the constancy of others, on the kinetics of the chlorinating roasting process was carried out with the participation of atmospheric oxygen. The optimal conditions for carrying out the process are determined, which make it possible to achieve a high degree of processing of the concentrate and the yield of the main roasting product. It has been established that with an increase in temperature to 450° C, an increase in the yield of the main product of roasting of antimony chloride ($\alpha=49\%$) is observed, which slows down at higher temperatures. At this temperature, the most optimal holding time for the concentrate roasting process is 90 -120 minutes. A high yield of the main product of the concentrate roasting is achieved at a ratio of the mass of the chlorinating agent (NaCl) (m_1) to the mass of the concentrate (m_2) $m_1/ m_2=1/4$.

Key words: antimony sulfide concentrate, mechanical activation, chlorinating roasting, sodium chloride, optimal processing conditions.

Введение

При пирометаллургическом способе переработки минеральных руд широко применяется хлорирующий обжиг [1-5], как рациональный метод, позволяющий проводить процесс при относительно оптимальных условиях и достичь повышение выхода конечного продукта. Авторами работ [4,5] проведено исследование кинетических особенностей процесса хлорирующего обжига халькопирита хлоридом калия. Эффективность хлорирующего обжига резко возрастает при предварительной механической активации полиметаллических руд, характерных для природных полезных ископаемых Республики Таджикистан [6-9].

Авторами работ [9-11] проведены исследования, посвященные разработке эффективных способов переработки сульфидно-сурьмяных концентратов Анзобского ГОК-а. Механически активированный сульфидно-сурьмяный концентрат получен по технологии, изложенной в работах

[9,10]. В работе [11] показана возможность окислительно - хлорирующего обжига с использованием хлорида натрия механически активированного сульфидно-сурьмяного концентрата.

Экспериментальная часть

По результатам рентгенофазового анализа (РФА) и химического анализа исходный сульфидно-сурьмяной концентрат Анзобского ГОК-а имеет следующий состав (% масс.): стибитит Sb_2S_3 –49.78; киноварь HgS – 30.74; сульфат оксида сурьмы $Sb_6O_7 (SO_4)_2$ –19.47.

В данной работе приведены результаты исследования оптимальных условий проведения процесса окислительно-хлорирующего обжига механически активированного концентрата хлоридом натрия. Исследование влияния следующих основных факторов – температуры, времени выдержки обжига и соотношения массы хлорирующего реагента ($NaCl$) (m_1) к массе концентрата (m_2) на ход процесса проведено на установке, изображённой на рисунке 1[10]. Исследование влияния отдельного фактора из вышеуказанных, при постоянстве других, на кинетику процесса хлорирующего обжига проведено с участием кислорода воздуха.

Приготовленная шихта из механически активированного по технологии, описанной в работах [10,11] определённого состава и массы, помещается в лодочку фосфорную и подвергается окислительно-хлорирующему обжигу при соответствующих температурах и времени выдержки. После достижения соответствующих условий в систему поддаётся воздух со скоростью 1л/мин. По результатам РФ и химического анализа основными продуктами возгонки, которые осаждаются на холодную поверхность конденсатора, являются соединения сурьмы в виде хлорида ($SbCl_3$ -49,55% масс.), оксида (сервантит Sb_2O_4 -25%), оксохлоридов, смеси оксидов сурьмы и натрия. Золотистые кристаллы конденсата при остывании становятся темно-зелёными.

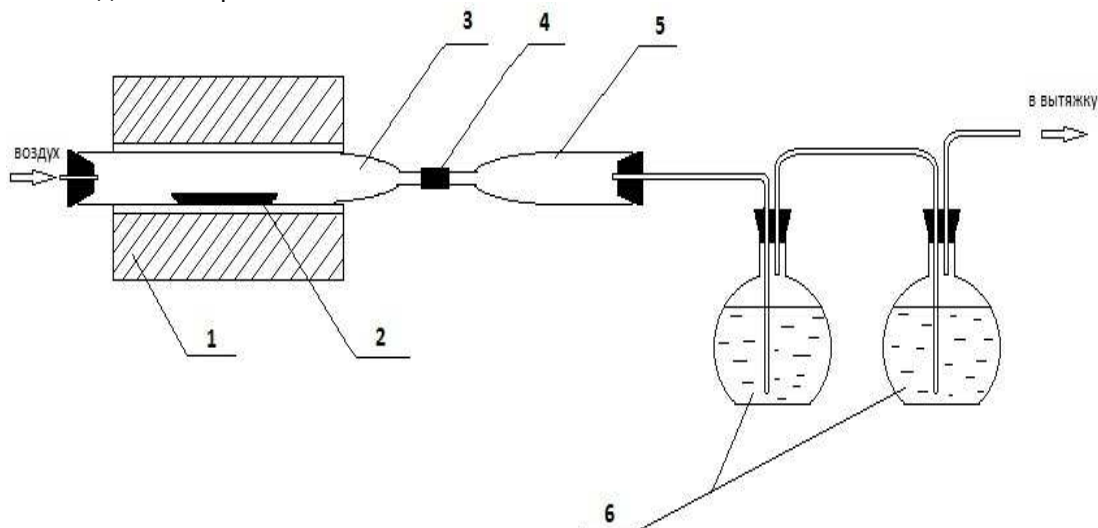


Рисунок 1. Установка для окислительно-хлорирующего обжига концентрата: 1-поворотная трубчатая печь; 2-лодочка; 3-реактор для обжига; 4-соединительное устройство; 5-пылеулавливающая камера (конденсатор); 6-абсорберы.

Зависимость образования основного продукта обжига хлорида сурьмы (α , %) от температуры процесса обжига концентрата проведена в интервале температур от 100 до 700°C при одинаковом времени (120 минут) выдержки и исходного состава шихты ($m_1/ m_2= 1/4$). Результаты исследования (рисунок 2) показывают, что до температуры 450 °C наблюдается заметный рост образования хлорида сурьмы ($\alpha=49\%$), который замедляется при более высоких температурах. Возможно, что при 450 °C начинаются процессы спекания концентрата и окисления сернистых соединений.

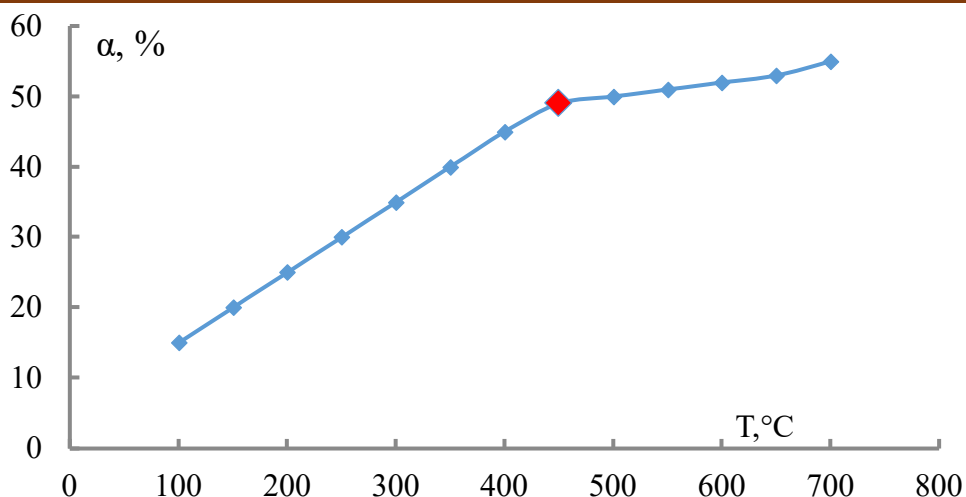


Рисунок 2. График зависимости образования $SbCl_3$ от температуры обжига концентрата при одинаковом времени выдержки и состава шихты.

При дальнейших исследованиях в качестве опорной температуры принимали $T=450^{\circ}C$. Результаты исследования зависимости степени образования хлорида сурьмы (α , %) от времени выдержки обжига шихты при неизменности температуры и исходного состава шихты ($m_1/m_2=1/4$) изучены в интервале температур ($100-450$) $^{\circ}C$. Зависимость наглядно (рисунок 3) показывает, что процесс извлечения сурьмы из активированного концентрата состоит из трёх периодов – начальный, главный и конечный. Начальный период (до 90 минут времени выдержки обжиг шихты) сопровождается слабым ростом извлечения хлорида сурьмы в пределах $\Delta\alpha=10\%$. Главный период сопровождается значительным выходом продукта ($\Delta\alpha=30\%$) достигается в течение 90-120 минут.

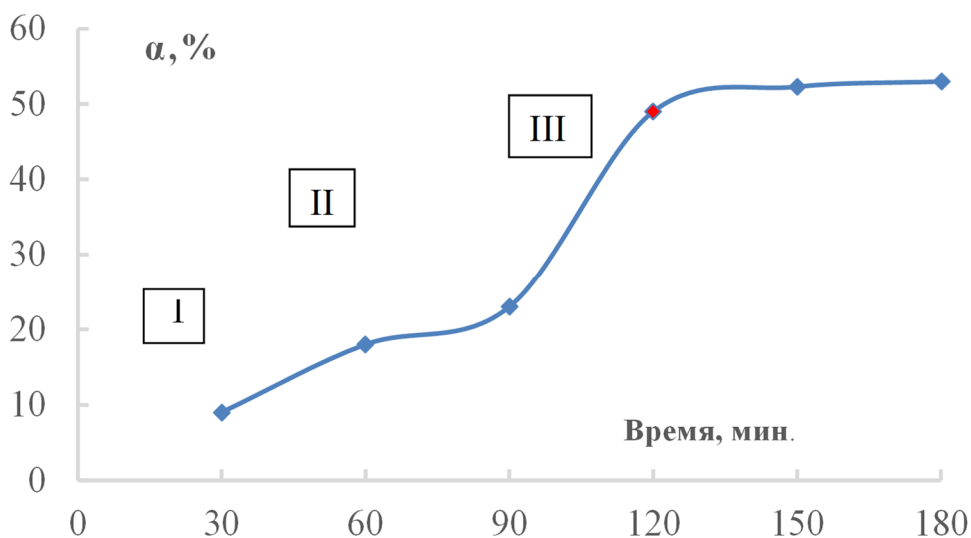


Рисунок 3. График зависимости образования $SbCl_3$ от времени выдержки обжига концентрата при постоянстве температуры и состава шихты.

Зависимость степени образования хлорида сурьмы (α , %) от состава шихты при неизменности температуры ($T=450^\circ\text{C}$) и времени выдержки шихты ($t=120$ мин.) (рисунок 4) показывает, что оптимальным составом шихты является соотношение $m_1/m_2 = 1/4$.

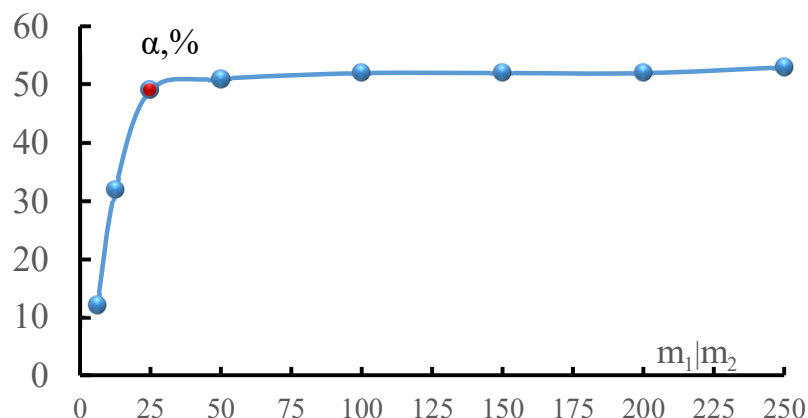


Рисунок 4. График зависимости образования SbCl_3 от состава шихты (m_1/m_2) при постоянстве температуры и времени выдержки обжига концентрата.

Проведённые эксперименты показывают, что наиболее оптимальными условиями проведения процесса обжига механоактивированных сульфидно-сурьмяных концентратов, позволяющих достичь максимальной степени извлечения сурьмы, является: шихта состава ($m_{\text{NaCl}}/m_{\text{концентрата}}=1/4$), которую необходимо нагреть до температуры 450°C в течение 120 минут.

Заключение

Предварительно механически активированные сульфидно-сурьмяные концентраты подвергаются хлорирующему обжигу при более рациональных условиях переработки. Определены оптимальные условия окислительно-хлорирующего обжига сульфидно-сурьмяных концентратов хлоридом натрия, позволяющие достигнуть более высокую степень переработки сырья при значительно низких температурах обжига.

Литература

1. Александров П.В., Медведев А.С., Кадиров А.А., Имидиев В.А. Переработка молибденитовых концентратов с использованием низкотемпературного окислительно-хлорирующего обжига. - Известия вузов. Цветная металлургия, 2014, №1, с. 12-16.
2. Александров П.В., Медведев А.С., Кадиров А.А. Взаимодействие молибденита с хлоридом натрия при нагреве. - НИТУ «МИСиС», Цветные металлы, 2012, №12, с.73-77.
3. Медведев А.С., Со Ту, Хамхаш А., Птицын А.М. Вариант переработки сульфидного медного концентрата комбинированным способом. - НИТУ «МИСиС», Цветные металлы, 2010, № 1, с.33-36. .
4. Chakravorty M., Srikanth S. Kinetics of salt roasting of chalcopyrite using KCl // Thermochemica Acta. 2000. Vol. 362, N 1/2. P. 25-35.
5. Chakravorty M., Srikanth S. Non-isothermal thermoanalytical studies on the salt roasting of chalcopyrite using KCl //ibid. 2001. Vol. 370. N 1/2. P. 141-148.
6. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука, 1986, 304 с.
7. Богатырева Е.В. Развитие теории и практики эффективного применения механоактивации в технологии гидрометаллургического вскрытия кислородосодержащего редкометалльного сырья: Дисс. д.т.н. - М., 2015, 331 с.
8. Абдусаламова М.Н., Гадоев С.А., Кабгов Х.Б., Рахматов О.И., Соложенкин П.М. Окислительный обжиг сурьмяно-ртутных таллийсодержащих концентратов.– Докл. АН РТ, 2009, т.52, №7, с.563-567.
9. Малый патент №ТJ 1109. Способ переработки сульфидных концентратов. - Кодиров А.А., Рахимов Х.Ш., Бадалов А., 2021, 4 с.
10. Кодиров А.А., Рахимов Х.Ш., Бадалов А.Б. Механическая активация сульфидно-сурьмяных концентратов. -Докл. НАНТ, №7-8, 2021, с.460-465.

11. Малый патент №ТJ 1206. Способ переработки механоактивированных сульфидных концентратов.- Рахимов Х.Ш., Кодиров А.А., Бадалов А., 2021, 4с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Раҳимов Ҳаётқул Шифоқулович	Рахимов Хаёткул Шифокулович	Rakhimov Khayotkul Shifokulovich
ассистент	ассистент	assistant
ДКМТ	ГМИТ	GMIT
hayotrahimi95@mail.ru;		

УДК 669.715

ВЛИЯНИЕ ТИТАНА НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ 0.3Mg0.25 В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3,0%-НОГО NaCl

Ганиев И.Н¹, Саидов Н.Б¹, Раджабалиев С.С¹, Давлатзода Ф.С².

¹Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими г. Душанбе, Таджикистан,

²Дангаринский государственный университет

Алюминий и его сплавы, несмотря на широкое производство неметаллических изделий, конструкций и оборудования, остаются основными конструкционными материалами. Это зависит от совокупности их полезных свойств - химических, физических, механических, термических, технологических по сравнению с таковыми свойствами неметаллических материалов.

В статье представлены результаты экспериментального исследования коррозионного - электрохимического поведения алюминиевого сплава АЖ0.3Mg0.25 с титаном в среде электролита 3,0%-ного NaCl. Исследования проводились потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Показано, что модифицирование титаном алюминиевого сплава АЖ0.3Mg0.25 на 80% повышает его коррозионную стойкость в среде электролита 3,0%-ного NaCl. При этом отмечен рост всех электрохимических потенциалов от содержания титана в исходном сплаве.

Ключевые слова: алюминиевый сплав АЖ0.3Mg0.25, титан, электрохимических потенциалы, коррозионная стойкость.

ТАЪСИРИ ТИТАН БА РАФТОРИ КОРРОЗИОНИЮ ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХУЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ0.3Mg0.25, ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ 3,0%- NaCl

И.Н. Ганиев¹, Н.Б. Саидов¹, С.С. Раҷабалиев¹, Ф.С. Давлатзода²

Алюминий ва ҳулаҳои он, сарфи назар аз истеҳсоли васеи маҳсулоти ғайриметаллӣ, конструксияҳо ва таҷҳизот, маводи асосии конструксия боқӣ мемонанд. Ин ба маҷмуи хосиятҳои фойданоки онҳо - химиявӣ, физикӣ, механикӣ, гармӣ, технологӣ нисбат ба он хосиятҳои маводи ғайриметаллӣ вобаста аст.

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии рафтори коррозионӣ - электрохимиявӣ ҳулаи алюминии АЖ0.3Mg0.25 бо титан дар муҳити электролити 3,0% NaCl оварда шудааст. Таҷқиқотҳо бо усули потенциостатикӣ дар режими потенциодинамикӣ бо суръати потенциалии 2 мВ/с гузаронида шуданд.

Исбот шудааст, ки модификасияи ҳулаи алюминии АЖ0.3Mg0.25 бо титан муқовимат ба коррозия онро дар электролит NaCl 80% зиёд мекунад. Дар баробари ин афзоиши тамоми потенциалҳои электрохимиявӣ вобаста ба таркиби титан дар ҳулаи ибтидоӣ қайд карда шуд.

Калидвожаҳо: ҳулаи алюминии АЖ0.3Mg0.25, титан, потенциалҳои электрохимиявӣ, муқовимат ба коррозия.

INFLUENCE OF TITANIUM ON THE CORROSION AND ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOY AZH 0.3Mg0.25, IN AN ELECTROLYTE ENVIRONMENT OF 3.0% NaCl

I.N. Ganiev¹, N.B. Saidov, S.S¹. Radzhabaliev¹, F.S.Davlatzoda²

Aluminum and its alloys, despite the widespread production of non-metallic products, structures and equipment, remain the main structural materials. It depends on the totality of their useful properties - chemical, physical, mechanical, thermal, technological compared with those properties of non-metallic materials.

The article presents the results of an experimental study of the corrosion - electrochemical behavior of the aluminum alloy AZh0.3MG0.25 with titanium in an electrolyte medium of 3.0% NaCl. The studies were carried out by the potentiostatic method in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV/s. It is shown that titanium modification of aluminum alloy AZh0.3MG0.25 by 80% increases its corrosion resistance in a 3.0% NaCl electrolyte medium. At the same time, an increase in all electrochemical potentials depending on the titanium content in the initial alloy was noted.

Keywords: aluminum alloy AZh0.3MG0.25, titanium, electrochemical potentials, corrosion resistance.

Введение

В последние годы алюминиевые сплавы стали доминировать в качестве конструкционного материала над стальными конструкциями. В результате тщательного изучения фазовых диаграмм металлических систем на основе алюминия были изобретены новые сплавы легких металлов со свойствами, превосходящими или равными свойствам стали. К таким системам относятся алюминиевые сплавы, содержащие магний, цинк, литий, медь и другие компоненты [1, 2].

Алюминий легирован большинством металлических компонентов, но лишь немногие из них играют важную роль в промышленных алюминиевых сплавах. Однако для улучшения свойств сплавов используется

внутреннее количество элементов. В алюминиевого проволоку добавляют небольшое количество железа (0,04%) для повышения прочности и улучшения работоспособности рептилии. Железо также снижает адгезию к стенкам формы при заливке в холодные формы. Магний добавляется для значительного увеличения прочности без ущерба для пластичности, свариваемости и коррозионной стойкости алюминиевых сплавов. Сплавы на основе алюминия используются для изготовления позитивных реплицированных офсетных пластин с поливиниловым спиртом и ортохинондиазидом в качестве репликационного слоя [2,3].

Целью работы является изучение влияния титановых добавок, таких как структура сплава АЖ0.3Mg0.25, на ее коррозионно-электрохимическое поведение в 3% - ном электролите NaCl.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Из расплава сплава АЖ0.3Mg0.25 образцы диаметром 8 мм и длиной 120 мм отливали в графитовые формы. Во избежание контакта непригодной части образца с электролитом ее разделяли смесью канифоли и парафина в соотношении 50:50. Рабочая часть электродов очищалась, полировалась и обезжиривалась бумагой. Затем ее травили в 10% растворе NaOH, тщательно промывали спиртом и помещали в электролит 3%-ного NaCl. Исследования проводились на потенциостате ПИ-50-1.1 и ЛКД-4-002 для определения коррозионного потенциала. В качестве электрода сравнения использовали хлорид серебряный, а в качестве дополнительного – платину. Возможная скорость сканирования составляла 2 мВ/с [4,5].

Для электрохимических испытаний образцы поляризовались в положительном направлении от потенциала свободной коррозии, при котором резко возрастает плотность тока до 1 A/m^2 (рис. 1, кривая I). Затем образцы поляризовали в противоположном направлении (рис. 1, кривая II) и определяли величину потенциала репассивации в точке пересечения кривых I и II. Далее шли в катодную область (рис.1, кривая III) для щелочной среды в электродном слое на поверхности образца (рис. 1, линия III) создания. Наконец образцы поляризовали в положительном направлении (рис.1, кривая IV), определяли потенциал питтингообразования при переходе от катодной к анодной области.

При полной поляризации определяли следующие электрохимические параметры:

$E_{ст.}$ стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии [$E_{св.кор}$]

$E_{рп.}$ – потенциал репассивации;

$E_{по.}$ – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя);

$E_{кор.}$ – потенциал коррозии;

$i_{кор.}$ – ток коррозии

Как пример, на рисунке 1 представлена полная паттенциодинамическая кривая для алюминиевого сплава АЖ0.3Mg0.25 в среде электролита 3% -ного NaCl.

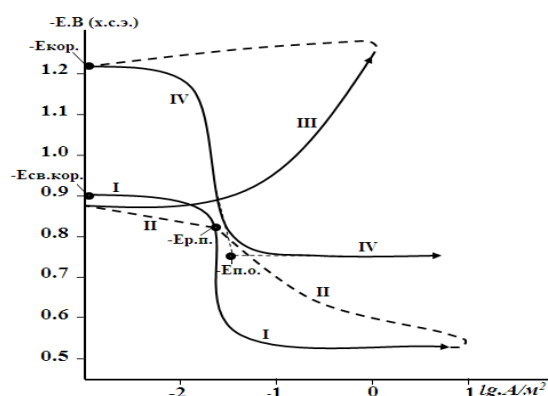


Рисунок 1. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая алюминиевого сплава АЖ0.3Mg0.25 в среде электролита 3,0%-ного NaCl

Расчет тока коррозии, как главного электрохимического показателя процесса коррозии, проводили по катодной кривой, принимая во внимание тафельскую константу $V_k = 0,12\text{В}$. Скорость коррозии (K)

характеризовали по току коррозии ($i_{кор.}$) по формуле $K=i_{кор.} \cdot k$, где: $k=0.335$ г/А·ч электрохимический эквивалент алюминия.

Исследования проводились по методике, описанной в работах [6-12].

Результаты коррозионно-электрохимического исследования алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 с титаном в среде электролита 3%-ного NaCl представлены в таблицах 1, 2 и на рисунках 2, 4.

При изучении коррозионного и электрохимического поведения сплавов была установлена зависимость потенциала электрода от времени удержания в электролите (в течение одного часа). Исследование показало, что потенциал свободной коррозии смещается в положительную область в зависимости от содержания титана (таблица 1 и рисунок 2).

Таблица 1.

Временная зависимость потенциала свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 от содержания титана в среде электролита 3,0%- ного NaCl

Время выдержки, минут	Содержание титана в сплаве мас. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1,004	0,992	0,981	0,969	0,958
0,15	0,993	0,981	0,970	0,960	0,949
0,2	0,982	0,973	0,960	0,952	0,940
0,3	0,971	0,961	0,952	0,943	0,931
0,4	0,960	0,950	0,944	0,934	0,920
0,5	0,954	0,943	0,936	0,925	0,910
0,6	0,946	0,936	0,928	0,916	0,899
2	0,939	0,930	0,920	0,908	0,890
3	0,932	0,924	0,912	0,900	0,882
4	0,926	0,918	0,905	0,894	0,876
5	0,920	0,912	0,899	0,888	0,871
10	0,915	0,907	0,893	0,882	0,867
20	0,910	0,901	0,888	0,877	0,863
30	0,906	0,896	0,884	0,873	0,860
40	0,902	0,893	0,880	0,870	0,858
50	0,900	0,890	0,878	0,868	0,856
60	0,900	0,889	0,878	0,867	0,856

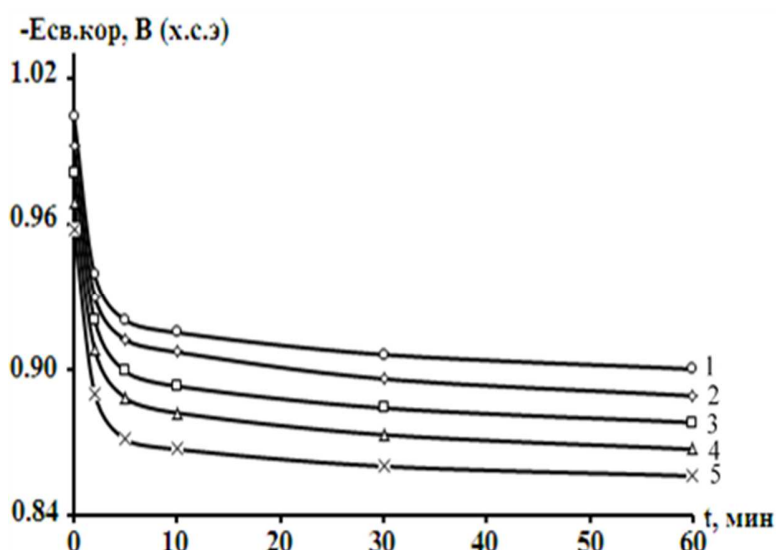


Рисунок 2. – Временная зависимость потенциала свободной коррозии ($E_{св.кор.}$, В) алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 (1) содержащего титан, мас. %: (2) 0.01; (3) 0.05; (4) 0.1; (5) 0.5 в среде электролита 3,0% - ного NaCl

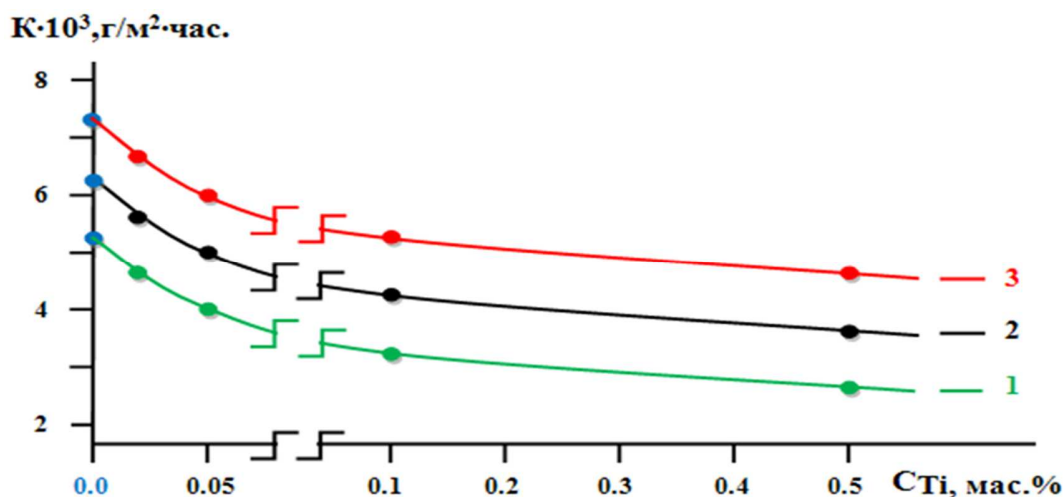
Установленные электрохимические характеристики алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 с титаном при скорости развертки потенциала 2 мВ/с представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 с титаном в среде электролита 3,0%-ного NaCl.

Содержание титана в сплаве мас. %	Электрохимические потенциалы В, (х.с.э.)				Скорость коррозии	
	-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{кор.} , А/М ²	K·10 ³ , г/М ² ·ч
-	0,900	1,210	0,750	0,830	2,2	7,37
0.01	0,889	1,200	0,746	0,821	2,0	6,70
0.05	0,878	1,189	0,735	0,810	1,8	6,03
0.1	0,867	1,178	0,726	0,801	1,6	5,36
0.5	0,856	1,167	0,715	0,790	1,4	4,69

На рис.3 представлена зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 от содержания титана. Видно, что модифицирование титаном уменьшает скорость коррозии исходного сплава.



Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 с титаном в среде электролита 3,0 -ного NaCl.

На рисунке 4. представлены потенциодинамические кривые, характеризующие анодное поведение алюминиевого сплава АЖ0.3Мг0.25 с титаном. Видно, что с ростом концентрации титана в сплаве анодные кривые смещаются в область положительных потенциалов.

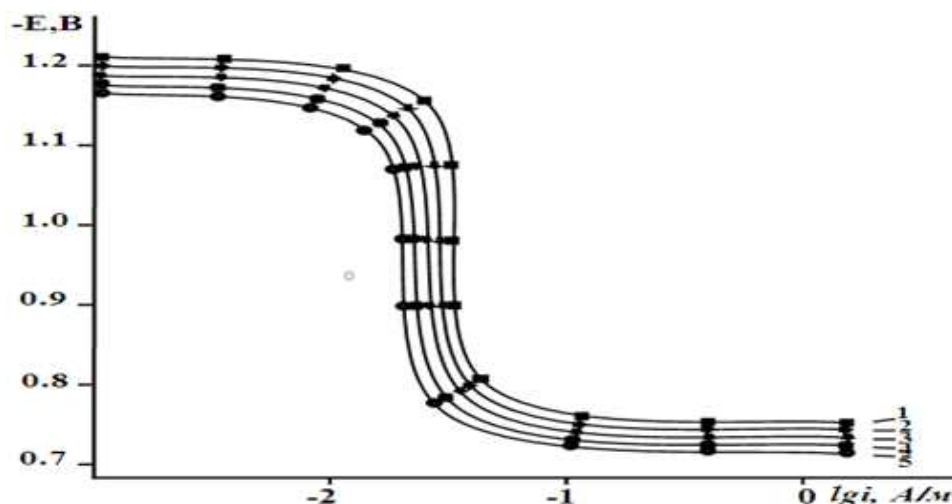


Рисунок 4 – Потенциодинамические анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые алюминиевого сплава АЖ0.3Мg0.25 (1), содержащего титан, мас. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), в среде электролита 3,0% - ного NaCl

В результате выполненных исследований выяснено, что с ростом концентрации модифицирующего элемента (титана) от 0,01 до 0,5 мас. % скорость коррозии алюминиевого сплава АЖ0.3Мg0.25 уменьшается на 80%.

Выводы

Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого сплава АЖ0.3Мg0.25 с титаном, и показано, что добавки модифицирующего компонента в количестве от 0.01 до 0.5 мас. % увеличивает коррозионную стойкость исходного сплава на 80% в среде электролита 3%-ного NaCl. Модифицирование титаном алюминиевого сплава АЖ0.3Мg0.25 смещает электрохимические потенциалы в положительном направлении оси координат. Исследованный сплав АЖ0.3Мg0.25 с титаном имеет потенциал коррозии $-1.167 \div -1.210$ В.

Литература

1. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара: Самарск. гос. тех. универ. 2013-81с.
2. Горо Н. Коррозия алюминия и его сплавов. // Босеку гйдаюзу, 1978, С.194-202.
3. Кудрявцев Н.Т. Электролитические покрытия металлами. М.: Химия. 1979. 351с.
4. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонзода И.Т. Алюминиевый сплав АЖ2.18 с оловом, свинцом и висмутом/ Монография. -Душанбе, 2018, -135 с.
5. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Хакимов А.Х. Свойства алюминиевого сплава АЖ5К10 с щелочноземельными металлами/ Монография. -Душанбе, 2021 – 155с.
6. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Влияние свинца на анодное поведение сплава Al+2,18%Fe // Вопросы материаловедения. Научно-технический журнал. 2016, №2(86), С. 147-151.
7. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Норова М.Т. Потенциодинамическое исследование сплава Al+2,18%Fe, модифицированного оловом и висмутом // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 2016., №35(61), С. 22-25.
8. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Норова М.Т. Анодное поведение сплава Al+2,18%Fe, модифицированного оловом // Вестник Таджикского технического университета, 2013, №2 (22). С. 60-63.
9. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мg1.1Ц4Кр3, модифицированного оловом// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2021.№1 (53). - С. 33-37.
10. Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Амини Р.Н. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10 в среде электролита NaCl // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия» 2018. Т. 18. № 3. С. 5-15.

11. И.Н., Ганиев, У.Ш. Якубов, М.М. Сангов Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl //Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) 2018. № 43 (69). С. 23-27.
12. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Сангов М.М., Хакимов А.Х. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 4 (22). С. 57-62.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – AUTHORS BACKGROUND

TJ	RU	EN
Ганиев Изатулло Наврузович академик АИМТ ҚТ, д.и.к., профессор	Ганиев Изатулло Наврузович академик АН Республики Таджикистан, д.х.н., профессор	Ganiev Izatullo Navruzovich Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor
ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ	ТТУ им. ак. М.С.Осими ganiev48@mail.ru	TTU named after academician M.S.Osimi
TJ	RU	EN
Саидов Наимҷон Бозорович ассистент	Саидов Наимджон Бозорович ассистент	Saidov Naimjon Bozorovich assistant
ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ	ТТУ им. ак. М.С.Осими naim-saidov@mail.ru	TTU named after academician M.S.Osimi
TJ	RU	EN
Раджабалиев Сафомудин Сайдалиевич номзади илмҳои техники	Раджабалиев Сафомудин Саидалиевич кандидат технических наук, и.о. доцента	Rajabaliyev Safomudin Saidaliyevich candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ	ТТУ им. ак. М.С.Осими saf02@mail.ru	TTU named after academician M.S.Osimi
TJ	RU	EN
Фирузи Сулаймони Давлатзода аспирант	Фирузи Сулаймони Давлатзода аспирант	Firuzi Sulaymoni Davlatzoda graduate student
Донишгоҳи давлатии Дангара	Дангаринский государственный университет fsulaymoni@mail.ru	Dangara State University

УДК 669.715:620.193

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК10Ц10, МОДИФИЦИРОВАННОГО СТРОНЦИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА 3,0%-НОГО NaCl

Ганиев И.Н., Гулов С.С., Абдулхамиди Дж., Сафаров А.М.¹

Таджикский технический университет им. М.С.Осими.

Институт химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана¹

ganiev48@mail.ru

В работе представлены результаты исследования коррозионно - электрохимического поведения алюминиевого сплава АК10Ц10, модифицированного стронцием, в среде электролита 3,0%-ного NaCl. Исследования проводили с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 и самописца ЛКД-4-002 в среде электролита марки ч.д.а. для установления бестокового потенциала коррозии. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, а вспомогательным-платиновый. Скорость развертки потенциала составляла $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$. Показано, что модифицирование стронцием повышает коррозионностойкость алюминиевого сплава АК10Ц10 на 50%. Потенциалы репассивации и питтингообразования с ростом концентрации стронция в сплаве смещаются в положительную область. Ширина пассивной области колеблется от $-0,680$ до $-1,150 \text{ В}$, минимальное значение ее соответствует исходному сплаву. Наименьшее значение плотности тока коррозии характерно для сплава, содержащего 1 мас.% стронция.

Ключевые слова: алюминиевый сплав АК10Ц10, стронций, электрохимическое поведение, электролит 3%-ного NaCl, коррозия, потенциалы коррозии, потенциодинамические, питтингообразования и репассивация.

РАФТОРИ ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АК10Ц10 БО СТРОНСИИ ЧАВҲАРОНИДАШУДА ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ 3%-и NaCl

Ганиев И.Н., Гулов С.С., Абдулхамиди Ҷ., Сафаров А.М.¹

Дар кори мазкур натиҷаҳои тадқиқоти рафтори коррозионӣ электрохимиявии ҳулаи алюминии АК10Ц10 бо стронсий чавҳаронидашуда, дар муҳити 3%-и NaCl дарҷ гардидааст. Тадқиқоти электрохимиявӣ дар потенциостати ПИ-50-1.1 асбоби худсабтқунан-даи ЛКД-4 ва барномасозӣ ПР-8 дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати тобиши потенциали 2 мВ/с иҷро карда шуд. Ба сифати электроди тадқиқоти электроди хлориди нуқрагӣ ва ҳамчун электроди ёрирасони платинагӣ истифода шуд. Муайян гардид, ки стронсий ба коррозиятувории ҳулаи АК10Ц10 то 50% зиёд мекунад. Потенциали питтингҳосилкунӣ ва репассиватсионӣ бо зиёдшавии микдорӣ стронсий дар таркиби ҳула ба самти мусбӣ майл мекунад. Паҳноии минтақаи ғайри фаъол аз $-0,680$ то $-1,150 \text{ В}$ тағйир меёбад, кимати миёнаи он ба ҳулаи ибтидоӣ мутобиқ мебошад. Аз ҳама кимати пастарини зичии ҷараёни зангзани ($0,02 \cdot 10^{-2} \text{ А/м}^2$) ба ҳулае, ки дар таркибаш 1 %-и ваз стронсий дорад, ҳос мебошад.

Калимаҳои калайд: Ҳулаи алюминии АК10Ц10, стронсий, рафтори электрохимиявӣ, электролити 3%-и NaCl, коррозия, потенциали коррозия, потенциодинамикӣ, питтингҳосилкунӣ ва репассиватсия.

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOY AK10Ц10 MODIFIED WITH CALCIUM IN THE MEDIUM OF ELECTROLYTE OF 3.0% NaCl

N. Ganiev, S. S. Gulov, A. Jama, A. M. Safarov

The paper presents the results of a study of the corrosion - electrochemical behavior of the AK10Ts10 aluminum alloy modified with strontium in an electrolyte medium of 3.0% NaCl. The studies were carried out using a PI-50-1.1 potentiostat and an LKD-4-002 recorder, in an electrolyte medium of analytical grade. to establish the current-free corrosion potential. The reference electrode was silver chloride, and the auxiliary electrode was platinum. The potential sweep rate was 2 mV s^{-1} . It is shown that modification with strontium increases the corrosion resistance of the AK10Ts10 aluminum alloy by 50%. The potentials of repassivation and pitting formation shift towards the positive region with an increase in the strontium concentration in the alloy. The width of the passive region ranges from -0.680 to -1.150 V , its minimum value corresponds to the original alloy. The lowest corrosion current density ($2.0 \cdot 10^{-2} \text{ A / m}^2$) is typical for an alloy containing 1 wt% strontium.

Key words: aluminum alloy AK10Ц10, strontium, electrochemical behavior, electrolyte of 3% NaCl, corrosion, corrosion, pitting and repassivation potentials.

Введение

Основным критерием определяющих свойства алюминиевых литейных сплавов является их химический состав, т.е. содержание легирующих элементов в продукции. Химический состав сплавов регламентируется различными стандартами, например, ГОСТом 1583-93, который распространяется на литейные алюминиевые сплавы в чушках и готовых отливках, произведенных различным способом [1-3].

Ранее авторами [4,5] было показано, что малые добавки стронция положительно влияют на такие электрохимические характеристики алюминия, как потенциалы начала пассивации и питтингообразования,

которые смещаются в положительную область. Добавки стронция до 0.1 мас.% значительно снижают плотность токов начала пассивации и полной пассивации на потенциодинамических кривых в среде 3%-ного NaCl [5].

В легированных силуминах типа АК10Ц10 помимо двойной эвтектики имеются тройные и более сложные эвтектики. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния увеличивается доля эвтектической составляющей. Как известно, стронций является одним из эффективных модификаторов силуминов. Его применяют для модифицирования и легирования сплавов цветных металлов. В качестве модификатора его использовали и в черных металлах. Однако недавно стронций стали применять для легирования легких сплавов на основе алюминия и магния. За последние несколько лет были проведены систематические исследования сплавов на основе алюминий-стронциевой эвтектики и установлено, что они обладают литейными свойствами не хуже, чем у силуминов, также их можно подвергать горячей и холодной прокатке с высокими степенями деформации [2,3].

Известно, что стронций добавляют в небольших количествах в некоторые алюминиевые сплавы с целью улучшения обрабатываемости резанием. Небольшие присадки стронция слабо влияют на электросопротивление расплавленного алюминия. Малые добавки стронция незначительно влияют на механические свойства алюминиевых сплавов [2].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Цель настоящей работы заключается в изучении влияния добавок стронция на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава АК10Ц10 (Al+10%Si+10%Zn). Учитывая анодные свойства добавок стронция и модифицирующее его влияние на эвтектическую составляющую алюминиевого сплава АК10Ц10, нами для исследования были получены сплавы с содержанием стронция от 0.01 до 1.0 % по массе.

Для проведения коррозионно-электрохимических исследований из полученного расплава отливались цилиндрические образцы диаметром 8-10 мм и длиной 60-100 мм, боковая часть которых изолировалась так, что рабочей площадью служил торец электрода. Каждый образец предварительно отшлифовывали, обезжиривали спиртом и погружали в исследуемый раствор NaCl марки ЧДА для установления бестокового потенциала коррозии.

Исследование коррозионно-электрохимических свойств алюминиевого сплава АК10Ц10, модифицированного стронцием, проводилось потенциостатическим методом в среде электролита 3,0%-ного NaCl со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/сек на потенциостате ПИ-50.1.1 с выходом на программатор ПР-8 и самописцем ЛДК-4 по методике, описанной в работах [6-12].

На рис 1. представлена зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава АК10Ц10 и сплавов, модифицированного различным количеством стронция. Исследования свидетельствуют, что электродные потенциалы исследуемых сплавов в течение первого часа выдержки в электролите 3% - ного NaCl становятся постоянными.

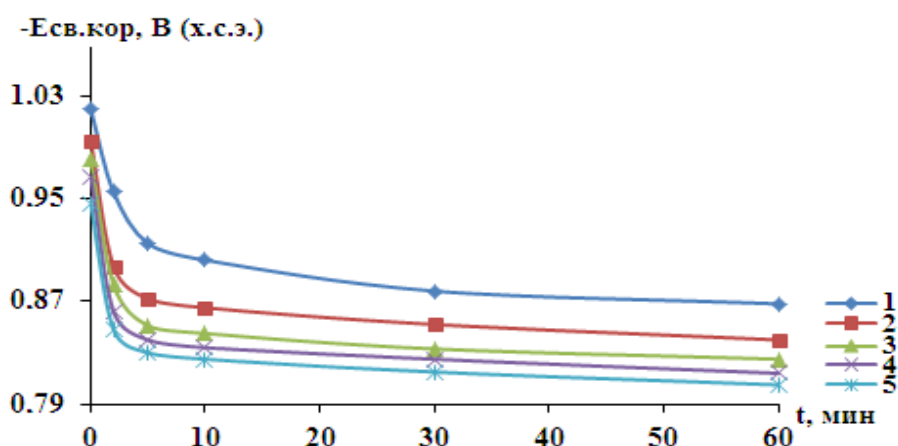


Рисунок 1 – Временная зависимость потенциала свободной коррозии (Есв.кор, В), алюминиевого сплава АК10Ц10 (1), содержащего стронций, мас. % : 0.01(2); 0.03(3); 0.5(4); 1.0(5), в среде электролита 3,0 %- ного NaCl.

Для алюминиевого сплава АК10Ц10, модифицированного стронцием, характерно смещение потенциала свободной коррозии в положительную область с ростом концентрации модификатора. Сплавы характеризуются относительно высокой скоростью пассивации под воздействием добавок стронция.

Так, после одного часа выдержки в растворе электролита 3%-ного NaCl потенциал свободной коррозии исходного сплава составляет - 0.868В, а у сплава, содержащего 1.0 мас.% стронция - составляет - 0.765В (табл.1).

Таблица 1 – Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии (Е_{св.кор.}, В) алюминиевого сплава АК10Ц10 от содержания стронцием в среде электролита 3,0%- ного NaCl

Время выдержки, минут	Содержание стронция в сплаве, мас. %				
	0.0	0.01	0.03	0.5	1.0
0	1,020	0,995	0,980	0,967	0,946
0,15	1,038	0,980	0,962	0,942	0,926
0,2	1,024	0,965	0,946	0,924	0,910
0,3	1,012	0,950	0,931	0,907	0,895
0,4	0,995	0,936	0,920	0,893	0,882
0,5	0,983	0,923	0,908	0,880	0,870
0,6	0,970	0,910	0,894	0,870	0,858
2	0,955	0,897	0,883	0,862	0,848
3	0,944	0,888	0,871	0,854	0,840
4	0,930	0,880	0,860	0,846	0,835
5	0,915	0,872	0,851	0,840	0,830
10	0,902	0,865	0,845	0,834	0,825
20	0,890	0,858	0,837	0,829	0,820
30	0,878	0,852	0,833	0,825	0,815
40	0,870	0,847	0,830	0,822	0,811
50	0,868	0,842	0,827	0,817	0,808
60	0,868	0,840	0,825	0,814	0,805

Приведенные в таблице 2 электрохимические характеристики алюминиевого сплава АК10Ц10, модифицированного стронцием от 0.05 до 1.0% по массе, показывают характер изменения основных показателей коррозии. Из таблицы видно, что добавки стронция ввиду их малой растворимости незначительно смещают в положительную область электродные потенциалы алюминиевого сплава АК10Ц10.

Таблица 2-Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава АК10Ц10 со стронцием в среде электролита 3%- ного NaCl

Содержание стронция в сплаве, мас. %	Электрохимические потенциалы, В(х.с.э.)				Скорость коррозии	
	-Е _{св.кор.}	-Е _{корр.}	-Е _{п.о.}	-Е _{рп.}	i _{корр.} , А/м ²	K•10 ² , г/м ² ·час
-	0.841	1.180	0.735	0.790	2.9	9.71
0.01	0.811	1.155	0.709	0.770	2.6	8.71
0.03	0.795	1.140	0.699	0.759	2.4	8.04
0.5	0.780	1.125	0.690	0.750	2.2	7.37
1.0	0.765	1.115	0.680	0.740	2.0	6.70

Потенциалы репассивации и питтингообразования с ростом концентрации стронция в сплаве смещаются в положительную область. Ширина пассивной области колеблется от -0,680 до - 1,150 В, минимальное значение ее соответствует исходному сплаву. Наименьшее значение плотности тока коррозии (2.0·10⁻² А/м²) характерно для сплава, содержащего 1 мас.% стронция. Этот сплав является наиболее коррозионностойким в данной среде (табл.2).

Результаты исследования скорости коррозии алюминиевого сплава АК10Ц10, модифицированного стронцием, в среде электролита 3.0% - ного NaCl представлены на рис.3. Приведённые данные показывают, что с увеличением концентрации стронция наблюдается плавное снижение скорости коррозии исходного алюминиевого сплава АК10Ц10

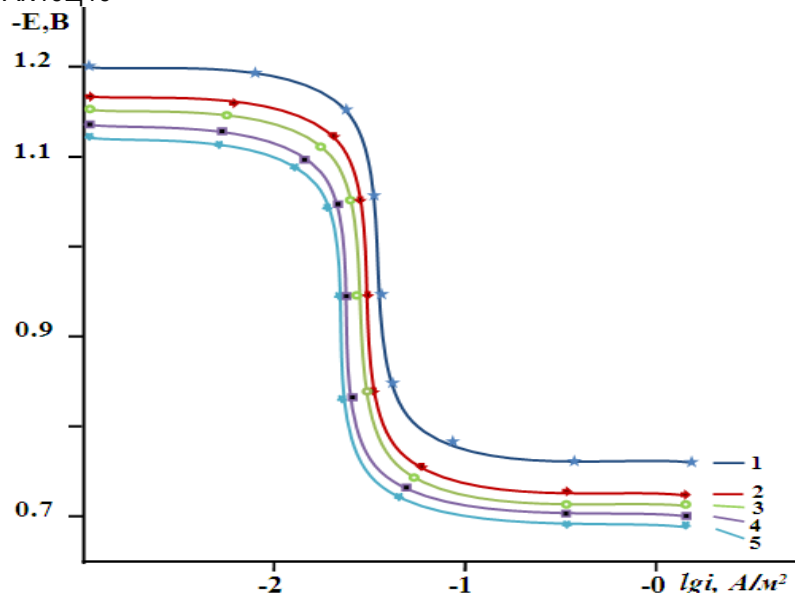


Рисунок 2 – Потенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые алюминиевого сплава АК10Ц10 (1), содержащего стронций, мас. %: 0.01(2); 0.03(3); 0.5(4); 1.0(5), в среде электролита 3,0 %- ного NaCl.

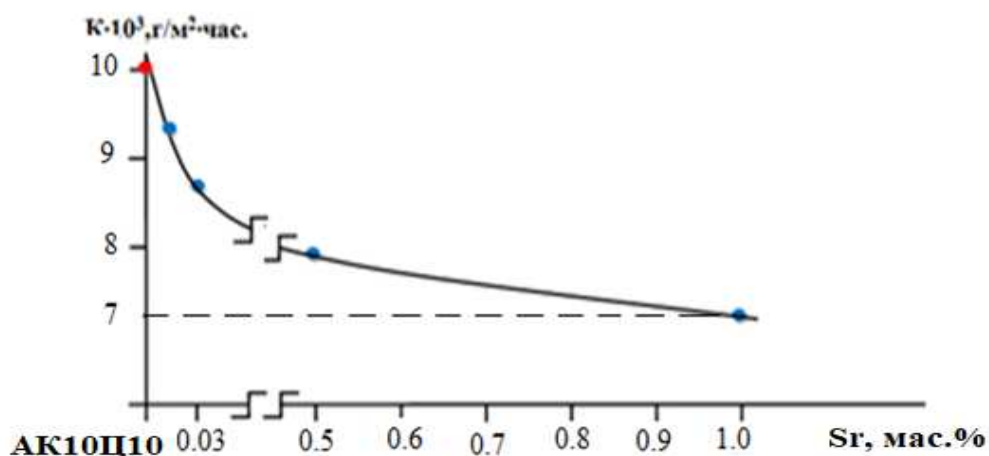


Рис.3.-Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава АК10Ц10 со стронцием в среде электролита 3% -ного NaCl.

Выводы

Потенциостатическим методом показано, что добавки стронция до 1,0 мас.% на 30% увеличивают коррозионностойкость алюминиевого сплава АК10Ц10 в среде электролита 3% -ного NaCl.

Литература

1. Гуляев А.С. и др. //Коррозия и электрохимия цветных металлов. -М.: Металлургия. 1982, С. 21-24.
2. Гурева М.А., Грушко О.К. Влияние микролегирования стронцием на структуру и свойства алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si : монография / – Москва : РУСАЙНС, 2017. – 258 с.
3. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы Самара: Самарск. гос. тех. универ., 2013.-81с.

4. И.Н. Ганиев, П.А. Пархутик и др. Модифицирование силуминов стронцием, Минск:Наука и техника,1985. -156 с
5. Ганиев И.Н., Шукроев М.Ш. Влияние рН среды на анодные поляризационные характеристики сплавов системы Al-Sr. // Изв. АН Тадж. ССР. Отделение физ.-мат., хим. и геолог. наук. 1986, № 1, С. 79-81.
6. Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Ниезов О.Х., Эшов Б.Б., Ходжаев Ф.К. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение свинца, в нейтральной среде // Вестник СибГИУ. -2017. -№ 1 (19). -С. 49-53.
7. Раджабаев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Влияние свинца на анодное поведение сплава Al+2,18%Fe // Вопросы материаловедения. Научно-технический журнал.- 2016,- №2(86),- С. 147-151.
8. Раджабаев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т. Норова М.Т. Потенциодинамическое исследование сплава Al+2,18%Fe, легированного оловом и висмутом // Известия СПбГТИ (технического университета), -2016., - №35(61), -С. 22-25.
9. Раджабаев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Норова М.Т. Анодное поведение сплава Al+2,18%Fe, легированного оловом // Вестник Таджикского технического университета, -2013, -№2 (22). -С. 60-63.
10. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабаев С.С. Электрохимическое поведение сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3% -ного NaCl // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. - 2019. - №3 (47) - С. 63 – 67.
11. Ганиев И.Н., Джойлов Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р. Анодное поведение сплава Al+2,18 % Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. - 2019. -№1(27).- С.42-46.
12. Гулов С.С., Ганиев И.Н., Ашурматов Дж.Т., Махмадизода М.М. Потенциодинамическое исследование сплава АК9М2, легированного иттрием, в среде электролита NaCl // Вестник современных исследований. Омск. -2019. – №1-3(28). –С.84-89.
13. Ганиев И.Н., Вахобов А.В., Семёнова О.Н. Структура и свойства силуминов, модифицированных стронцием // Современные методы производства отливок, способствующие экономии материалов и топливно - энергетических ресурсов: Мат. докл. XIII научно-техн. конф. литейщиков Западного Урала. Пермь. 1984. С. 28-29.
14. Гулов С.С., Ганиев И.Н., Умарова Т.М., Бердиев А.Э. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава АК7М2+0.05%Sr, легированного германием, в среде 3% раствора NaCl // Доклады АН Республики Таджикистан. 2009. Т. 52. № 6. С. 460-464.
15. Alker K. Veredelung von Al-Si Ligierungen durch Natrium oder Strontium: Eine Gegenuberstellung // Geiberai – Praxis. 1972. No.24. P. 434-438.
16. Hess P.D., Blackman E.V. Strontium as a modifying agent for hypoeutectic al-uminium-silicon alloys // AFS Transactions. 1975. P. 87-90.
17. Андуршевич А.А., Лубенский М.З., Пименова Г.П. Модифицирование алюминиево-кремниевых сплавов стронцием // Литейное производство. 1983. № 10. С. 9-11.
18. Залинова И.М. Гудченко А.П. Влияние стронция на взаимодействие силуминов с газами // Литейное производство. 1977. № 1. С. 35-36.
19. Семенова О.Н. Ганиев И.Н. Вахобов А.В. Влияние добавок хлора и фосфора на сохранение эффекта модифицирования стронций содержащих силу-минов // Литейное производство. 1984. № 6. С. 13-14.
20. Куценко Н.Л., Андуршевич А.А., Ганиев И.Н., Янчук В.Н. Технологические особенности модифицирования силуминов алюминий-стронциевыми лигатурами // Технология автомобилестроения, 1983. № 8. С. 7-10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Ганиев Изатулло Наврузович	Ганиев Изатулло Наврузович	Ganiev Izatullo Navruzovich
д.и.х., профессор	д.х.н., профессор	Doctor of chemical science, professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осим	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
ganiev48@mail.ru		
ORCID Id 0000-0003-1427-4224		
TJ	RU	EN
Гулов Саломидин Садридинович	Гулов Саломидин Садридинович	Gulov Salomidin Sadridinovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sciences

ДТТ ба номи академик М.С. Осим	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
gulov72@mail.ru		
ORCID Id 0000-0001-7983-315x		
TJ	RU	EN
Абдулхамиди Чума	Абдулхамиди Джума	Abdulhamidi Juma
-	-	-
Донишкадаи химияи ба номи В.И. Никитин АМИ Тоҷикистон	Институт химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана ¹	Institute of Chemistry. V. I. Nikitina National Academy of Sciences of Tajikistan I
-		
-		
TJ	RU	EN
Сафаров Ахрор Мирзоевич д.и.т., профессор	Сафаров Ахрор Мирзоевич д.т.н., профессор	Safarov Ahror Mirzoevich Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишкадаи химияи ба номи В.И. Никитин АМИ Тоҷикистон	Институт химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана ¹	Institute of Chemistry. V. I. Nikitina National Academy of Sciences of Tajikistan I
E.mail:-		
ORCID Id		

СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$

С.О. Убайдов

Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни.

В статье приведены оптимальные условия синтеза и результаты исследования магнитных свойств твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), которые образуются в системе $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$. Кристаллохимический анализ показал, что указанные твердые растворы изоструктурны с исходными компонентами - Gd_4Bi_3 , Nd_4Sb_3 и кристаллизуются в кубической структуре типа анти- Th_3P_4 , с пространственной группой $I43d$. Проведенные магнитные исследования показали, что температурная зависимость молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) в диапазоне температур 298-773 К подчиняется закону Кюри-Вейсса, характерного парамагнитным веществам. Определены молярная магнитная восприимчивость, парамагнитная температура Кюри и магнитные моменты ионов Gd^{3+} и Nd^{3+} твердых растворов системы $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$.

Ключевые слова: синтез, диаграмма состояния, твердые растворы, температура Кюри, магнитная восприимчивость, магнитный момент.

СИНТЕЗ ВА ХОСИЯТҲОИ МАГНИТИИ МАҲЛУЛҲОИ САХТИ СИСТЕМАИ $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$

С.О. Убайдов

Дар мақола шароити мувофиқтари синтез ва натиҷаҳои таҳқиқи хосиятҳои магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), ки дар системаи $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ ба вуҷуд меоянд, оварда шудааст.

Таҳлили кристаллохимиявӣ нишон дод, ки маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ дар соҳти кубии навъи анти- Th_3P_4 бо гурӯҳи фазоии $I43d$ кристаллизатсия мешаванд.

Таҳқиқи магнитӣ нишон дод, ки вобастагии ҳароратии таъсирпазирии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К ба қонуни Кюри-Вейсс итоат мекунад, ки ин ба моддаҳои парамагнетӣ хос аст.

Таъсирпазирии магнитӣ, ҳарорати парамагнитии Кюри, ва лаҳзаи магнитии ионҳои Gd^{3+} ва Nd^{3+} маҳлулҳои саҳти системаи Gd^{3+} и Nd^{3+} муайян карда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: синтез, диаграммаи ҳолат, маҳлулҳои саҳт, ҳарорати Кюри, таъсирпазирии магнитӣ, лаҳзаи магнитӣ.

SYNTHESIS AND MAGNETIC PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS OF $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ SYSTEM

S.O. Ubaydov

The article presents the optimal synthesis conditions and the results of the magnetic properties study of the solid solutions of $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), which are formed in the $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ system.

Crystal chemical analysis showed that these solid solutions are isostructural with the initial components - Gd_4Bi_3 , Nd_4Sb_3 and crystallize in a cubic structure of the anti- Th_3P_4 type, with the space $I43d$ group.

The magnetic studies have shown that the temperature dependence of the molar magnetic susceptibility of solid solutions $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) in the temperature range of 298-773 K obeys the Curie-Weiss law, which is characteristic of paramagnetic substances.

The molar magnetic susceptibility, paramagnetic Curie temperature, and magnetic moments of Gd^{3+} and Nd^{3+} ions of $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ solid solutions are determined.

Key words: synthesis, state diagram, solid solutions, Curie temperatures, magnetic susceptibility, magnetic moment.

Согласно литературным данным [1] магнитное поведение соединений и сплавов, содержащих РЗЭ, во многом отличается от поведения магнитоупорядоченных веществ на основе железа, кобальта и никеля.

В этом плане актуальной задачей представляется получение и исследование физических свойств сплавов и соединений редкоземельных элементов (РЗЭ) с разными элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева, в частности с сурьмой и висмутом, являющимися электронными аналогами.

Целью данной работы явилось получение твердых растворов системы

$Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ и разработка на их основе магнитных материалов с повышенными магнитными свойствами.

В качестве исходных компонентов при синтезе висмута Gd_4Bi_3 , антимонида Nd_4Sb_3 и твердых растворов, использовали дистилляты гадолиния и неодима (ТУ 48-1303-173-76), сурьму марки СУ-18-4 (ТУ 48-14-18-75) и висмут марки ОСЧ 11-4 (ТУ 05-159-69).

Синтез твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) системы осуществляли с применением в качестве исходных компонентов предварительно синтезированных висмута Gd_4Bi_3 и антимонида Nd_4Sb_3 . Для синтеза указанных твердых растворов порошок Gd_4Bi_3 и порошок Nd_4Sb_3 , отвечающие конкретному химическому составу твердого раствора (масса навески 5-10 г), перемешивали, спрессовали в цилиндрический

штабик и помещали в герметизированный тигель. Затем тигель с навеской подвергали нагреванию до оптимальной температуры (1673 К) со скоростью 80 К/мин и при этой температуре выдерживали 4 ± 0.5 ч. После чего тигель с продуктом реакции охлаждали до комнатной температуры с той же скоростью что и при нагревании.

Висмутид Gd_4Bi_3 и антимонид Nd_4Sb_3 получали посредством моновисмутида $GdBi$ и моноантимонида $NdSb$. Для этого порошок моновисмутида и гадолиний в виде мелкой стружки и порошок моноантимонида и неодима в виде мелкой стружки, взятых в соотношении 57,14 ат.% Gd или Nd и 42.86 ат.% Bi или Sb (массой 8-10 г.), тщательно перемешивали, спрессовывали в цилиндрический штабик, помещали в герметизированный молибденовый тигель и подвергали нагреванию.

Оптимальная температура синтеза висмутида Gd_4Bi_3 составляла 1673 ± 50 К, а время выдержки при этой температуре 3 ± 0.5 ч. Антимонид Nd_4Sb_3 получали при температуре 1573 ± 50 К и времени выдержки 4 ± 0.5 ч.

Однофазные образцы моновисмутида $GdBi$ и моноантимонида $NdSb$ получали прямым взаимодействием гадолиния с висмутом или неодима с сурьмой в герметизированных молибденовых тиглях. Для этого навеску (10-15 г), состоящую из гадолиния и висмута в виде мелкой стружки или неодима в виде мелкой стружки и порошка сурьмы, взятых в соотношении 1:1, спрессовывали в штабик и помещали в герметизированный молибденовый тигель. Нагревание тигля с навеской проводили поэтапно от комнатной температуры до температуры активного взаимодействия гадолиния с висмутом или неодима с сурьмой (723-873 К) с последующей выдержкой при этих температурах в течение 3-4 ч.

Синтезированные моновисмутид $GdBi$, моноантимонид $NdSb$ и твердые растворы $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) подвергали аттестации на однофазность методами рентгенофазового и микроструктурного анализов. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре «ДРОН-2» с использованием отфильтрованного (фильтр-Ni) $CuK\alpha$ излучения. Металлографический анализ сплавов осуществляли на микроскопе «НЕОФОТ-31».

Рентгенографическим исследованием установлено, что образующиеся в системе $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$ сплавы, представляют собой твердые растворы замещения $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), кристаллизующиеся как исходные компоненты- Gd_4Bi_3 и Nd_4Sb_3 , в кубической сингонии типа $anti-Th_3P_4$, с пространственной группой $\bar{1}43d$. В кубической структуре типа NaCl с пространственной группой $Fm\bar{3}m$ кристаллизуются $GdBi$ и $NdSb$.

Кристаллохимические характеристики $GdBi$, $NdSb$, Gd_4Bi_3 , Nd_4Sb_3 и твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$) представлены в таблице 1.

Результаты РФА подтверждают и данные МСА. Твердые растворы $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), согласно микроструктурному анализу представляли собой однофазные образцы.

Магнитную восприимчивость твердых растворов исследовали в диапазоне 298-773 К на установке и по методике, приведенной в [2].

Результаты исследования показали, что температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов

$Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x=0.4-3.6$; $y=0.3-2.7$), во всем диапазоне температур следует закону Кюри-Вейсса (рисунок 1 а, б), выражающийся формулой:

Таблица 1.

Кристаллохимические характеристики $GdBi$, $NdSb$, Gd_4Bi_3 , Nd_4Sb_3 и твердых растворов системы $Gd_4Bi_3 - Nd_4Sb_3$

Висмутиды, антимониды и твердые растворы	Параметр элементарной ячейки, ± 0.0005 нм	Плотность, $кг/м^3$	
		экспер.	расчет.
GdBi	0.6300	9778	9783
Gd_4Bi_3	0.9382	10170	10175
NdSb	0.6222	7330	7334
Nd_4Sb_3	0.9398	7578	7582
$Gd_{3.6}Bi_{2.7}Nd_{0.4}Sb_{0.3}$	0.9380	9896	9911
$Gd_{3.2}Bi_{2.4}Nd_{0.8}Sb_{0.6}$	0.9381	9648	9654
$Gd_{2.8}Bi_{2.1}Nd_{1.2}Sb_{0.9}$	0.9384	9372	9391
$Gd_{2.4}Bi_{1.8}Nd_{1.6}Sb_{1.2}$	0.9386	9128	9132

Висмутиды, антимониды и твердые растворы	Параметр элементарной ячейки, ± 0.0005 нм	Плотность, кг/м ³	
	а	экспер.	расчет.
Gd ₂ Bi _{1.5} Nd ₂ Sb _{1.5}	0.9387	8864	8873
Gd _{1.6} Bi _{1.2} Nd _{2.4} Sb _{1.8}	0.9388	8852	8860
Gd _{1.2} Bi _{0.9} Nd _{2.8} Sb _{2.1}	0.9392	8348	8352
Gd _{0.8} Bi _{0.6} Nd _{3.2} Sb _{2.4}	0.9393	8084	8099
Gd _{0.4} Bi _{0.3} Nd _{3.6} Sb _{2.7}	0.9395	7836	7842

$$\chi_m = C/T - \theta_p [3],$$

где: χ_m – молярная магнитная восприимчивость;

T – температура;

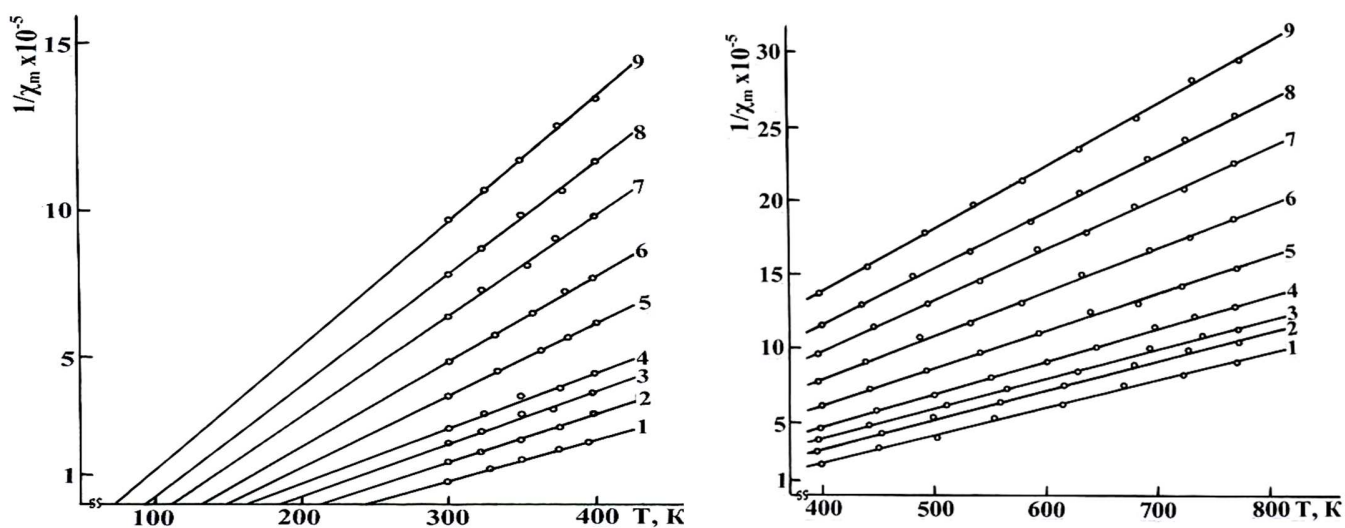
C – константа;

θ_p – парамагнитная температура Кюри.

В таблице 2 приведены значения молярной магнитной восприимчивости и парамагнитной температуры Кюри твердых растворов Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y (x = 0.4-3.6; y=0.3-2.7), определенных экстраполяцией линейной части зависимости

1/ χ_m – T от температуры, а также значения эффективных моментов ионов гадолиния и неодима. Из таблицы следует, что во всем изученном диапазоне концентраций значения χ_m и θ_p твердых растворов оказались больше, чем χ_m и θ_p Nd₄Sb₃ (38 K [4]) и чистого неодима (4.3 K [5]), но меньше χ_m и θ_p Gd₄Bi₃ (365 K [6]).

Относительно высокие значения парамагнитной температуры Кюри твердых растворов, с нашей точки зрения, обусловлены обменным взаимодействием ионов, входящих в их структуру. Считаем, что магнитные свойства твердых растворов Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y (x = 0.4-3.6; y=0.3-2.7) определяются в основном обменным взаимодействием ионов Gd – Gd и Gd – Nd. Это исходит из



а

Рисунок 1 - Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y содержащих: 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50; б: 6-60, 7-70, 8-80, 9- 90 мол.% Nd₄Sb₃, в диапазоне 298 -400 K (а) и 400 -773 K (б)

следующих соображений. Парамагнитная температура Кюри твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ (таблица 2) во всем исследованном диапазоне концентраций выше θ_p Nd_4Sb_3 и чистого Nd. С увеличением концентрации иона гадолиния, θ_p растёт, что подтверждает мнение о превалировании в них обменного взаимодействия по линии Gd – Gd.

Учитывая близкие магнитные свойства $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ с чистыми Gd и Nd можно констатировать, что магнитный порядок в твердых растворах, также как и в чистых РЗЭ, устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости, так называемым взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ) [3].

Следует отметить, что рассчитанные по данным эксперимента эффективные магнитные моменты ионов гадолиния и неодима твердых растворов

$Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$ ($x = 0.4-3.6$; $y = 0.3-2.7$) оказались близки к трехзарядным ионам Gd^{+3} и Nd^{+3} [5].

Таблица 2 -Магнитные характеристики твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$
($x = 0.4-3.6$; $y = 0.3-2.7$),

Твердые растворы	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{эфф.} \times 10^{24}$, А·м ²
$Gd_{3.6}Bi_{2.7}Nd_{0.4}Sb_{0.3}$	107959.0	249	60.2
$Gd_{3.2}Bi_{2.4}Nd_{0.8}Sb_{0.6}$	76804.7	214	66.7
$Gd_{2.8}Bi_{2.1}Nd_{1.2}Sb_{0.9}$	51324.0	182	63.9
$Gd_{2.4}Bi_{1.8}Nd_{1.6}Sb_{1.2}$	38116.4	164	59.3
$Gd_2Bi_{1.5}Nd_2Sb_{1.5}$	25792.0	146	51.9
$Gd_{1.6}Bi_{1.2}Nd_{2.4}Sb_{1.8}$	19934.0	130	47.3
$Gd_{1.2}Bi_{0.9}Nd_{2.8}Sb_{2.1}$	15372.3	110	44.5
$Gd_{0.8}Bi_{0.6}Nd_{3.2}Sb_{2.4}$	12739	92	42.6
$Gd_{0.4}Bi_{0.3}Nd_{3.6}Sb_{2.7}$	10314.3	74	39.8

Таким образом, результаты данной работы указывают на возможность получения на основе Gd_4Bi_3 и Nd_4Sb_3 твердых растворов $Gd_{4-x}Bi_{3-y}Nd_xSb_y$

($x = 0.4-3.6$; $y = 0.3-2.7$) с повышенными магнитными свойствами.

Литература

1. Абулхаев В.Д. Синтез и физико-химические свойства сплавов и соединений редкоземельных элементов с сурьмой и висмутом: дис...д-ра хим. наук. – Душанбе., 1996. -355 с.
2. Чечерников В.И. Установка с использованием магнитных весов. Магнитные измерения. М.: Изд. МГУ . 1963. С. 92-94.
3. Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применение. М.: Наука, 1980. - 239 с.
4. Абулхаев В.Д., Назаров Х.Х., Ганиев И.Н. Магнитные свойства некоторых антимонидов РЗЭ состава Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$)// Докл. АН РТ. 2005. Т. XLVIII. № 1-2. С. 85-89.
5. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М.: Наука. 1975. -270 с.
6. Холов Н.Ш, Абулхаев В.Д., Ганиев И.Н., Назаров Х.Х. Диаграммы состояния и магнитные свойства твердых растворов системы $Gd_4Bi_3 - Tb_4Bi_3$
7. // Докл. АН РТ. 2008. Т. 51. № 7. С. 526-531.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Убайдов Салмоншо Одинаевич	Убайдов Салмоншо Одинаевич	Ubaydov Salmonsho Odinayevich
Н.и.т. дотсент	к.т.н. доцент	Ph.D, Associate Professor
Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни.	Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни	the Technology and Design, S. Ayni Tajik State Pedagogical University
ubaydov_60@mail.ru		

УДК 621.77

УСУЛҲОИ ТАҶРИБАВИИ ҲИСОБКУНИИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ТЕХНОЛОҒИ ВА НЕРУАФЗОЯНДАИ РАВАНДИ ВАРАҚАСОЗИИ ҚАДДИИ ТАСМАҲОИ БАЛАНД ДАР НАВАРДҲОИ ПЕЧДАРПЕЧ

Ш.А. Бозоров, Д.А. Шарифов, Саидаи Ч.

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур усулҳои таҷрибавии ҳисобкунии нишондиҳандаҳои технологӣ ва нуруафзоияндаи раванди варақасозии қаддии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч омӯхта шудааст. Дар раванди гузаронидани таҳлилҳои таҷрибавӣ дар асоси натиҷаҳои ҳосилгардида ҳисоби реҷаи ҳароратии варақасозӣ бо истифодаи дастгоҳи 850/730/580 амалӣ карда шуд.

Калидвожаҳо: варақасозӣ, қаддӣ, тасма, навард, печдарпеч, деформатсия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ВЫСОКИХ ПОЛОС В СКРЕЩЕННЫХ ВАЛКАХ

В данной статье изучены экспериментальные методы расчета технологических и энергосиловых параметров повышения мощности процесса продольной прокатки высоких полос в скрещенных валках. В процессе проведения экспериментальных анализов на основании полученных результатов был проведен расчет теплового режима прокатки с помощью прибора 850/730/580.

Ключевые слова: прокатка, продольный, полоса, валка, скрещенные, деформация.

EXPERIMENTAL CALCULATION METHODS TECHNOLOGICAL AND POWER INDICATORS OF THE PROCESS LONGITUDINAL ROLLING OF HIGH STRIPS IN CROSSED ROLLS

In this article, experimental methods for calculating the technological and energy-power parameters of increasing the power of the process of longitudinal rolling of high strips in crossed rolls are studied. In the process of conducting experimental analyzes, based on the results obtained, the calculation of the thermal regime of rolling was carried out using an 850/730/580 device.

Key words: rolling, longitudinal, strips, roll, crossed, deformation.

Масъалаи баланд бардоштани сифати маҳсулоти металлӣ дар замони муосир ҳам барои корхонаҳои металлургӣ ва ҳам барои корхонаҳои мошинсозӣ аҳамияти махсус касб менамояд. Усули таҷрибавии тадқиқоти реҷаи варақасозии қаддии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч барои омӯзиши ин раванд муҳим мебошад. Бинобар ин, ҳангоми азнавсозии таҷҳизоти металлургӣ коркард ва татбиқи равандҳои нави инноватсионии технологияи истеҳсоли металл зарур аст.

Ҳосил намудани варақаи баландсифат яке аз масъалаҳои қаддӣ ҳангоми истеҳсоли тамоми намуди маҳсулоти металлӣ, аз ҷумла варақасозии тасмаҳои баланд мебошад [1, 2].

Ғояи сохтан ва татбиқи раванди варақасозии қаддии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч аввалин бор аз тарафи муҳаққиқони ҷопонӣ пешниҳод гардида буд. Дар собиқ иттиҳоди шуравӣ соли 1988 ин усул дар “МИСиС” зери роҳбарии профессор Хлопонин В.Н. коркард ва таҳқиқ шудааст. Ҳалли масъалаҳои вобаста ба варақасозии қаддии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч, инчунин дар корҳои мактабҳои илмӣ гуногун, зери роҳбарии олимони шинохта – Овчинникова М.В., Капнина В.В. ва ғайраҳо дида баромада шудаанд.

Бояд гуфт, ки яке аз параметрҳои муҳимтарини раванди қаддии тасмаҳои баланд қимати бузургии физиқии фишори васлӣ (контактӣ) мебошад.

Қимати бузургии миёнаи фишори васлӣ аз қимати бузургии сахтии метали таҳқиқшаванда ба таври назаррас вобаста аст. Вобаста ба ин, қимати миёнаи фишори васлиро бо чунин формула ҳисоб кардан мумкин аст:

$$P_m = \sigma_T \cdot n_\sigma \cdot k_m \quad (1)$$

Дар формула: σ_T - қадди деформатсияи металл; n_σ - зариби тавсифкунандаи ҳолати шиддатнокӣ.

Ин ҷо бояд қайд намуд, ки ҳангоми ҳисоб кардани зариби омили миқёснокӣ барои ҳулаҳои ба пулод алоқаманд ба 0,9-1,1 баробар аст.

Бузургии қимати муқовимати деформатсия дар шароити варақасозии сӯзон бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\sigma_T = \sigma_{ОД} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u, \quad (2)$$

ки ин ҷо: k_t , k_ε , k_u - зарибҳои термомеханикӣ мутаносибан ба назардошти ҳарорат, дараҷа ва суръати деформатсия. Қимати асосии (базисии) қувватнокии пулод $\sigma_{ОД} = 86$ Мпа мебошад. Зарибҳои k_t , k_ε , k_u аз

графикҳои махсусе муайян карда мешаванд, ки барои ҳар як металли алоҳида сохта шудаанд, ки дар он $kt = 1$, $k\varepsilon = 1, 2$, $ku = 1$ [3, 6].

Дар мавриди зарби ҳолати шиддатнокӣ бошад, он аз рӯи маънои физикиаш нишон медиҳад, ки қимати миёнаи фишори васл то чӣ андоза қимати тобоварии металли деформатсияшударо меафзоёнад. Он аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$n_{\sigma} = \left(m + \frac{18.55}{m+3} - 4.23 \right) \cdot \left(1.108 - 0.102 \cdot \sqrt{\frac{1}{a_0}} \right) \cdot (0.68 + 0.32\Psi), \quad (3)$$

ки дар ин ҷо:

$$m = \frac{2 \sqrt{\frac{2}{A} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)}}{\left(\frac{1}{\eta} + 1 \right)}, \quad (4)$$

ки ин ҷо:

$$A = \frac{H_0}{D}; \frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H_i}; a_0 = \frac{B_0}{H_0}; \Psi = 0.6$$

Аз нуқтаи назари назариявӣ пурқувватсозии варақаро чунин муайян кардан мумкин аст:

$$P = p_m \cdot F_k, \quad (5)$$

ки дар ин ҷо: P - қимати пурқувватсозии варақа, F_k - қимати масоҳати сатҳи васл.

Ҳангоми татбиқи раванди варақасозии тасмаҳои баланд дар навардҳои параллелӣ ҷойгиршуда, бузургиҳои қимати масоҳати сатҳи васл бо формулаи зерин муайян карда мешаванд:

$$F_k = b_m \cdot l_d, \quad (6)$$

дар ин ҷо: b_{cp} - бузургии васеъгии тасмаҳо, $l_d = \sqrt{R \cdot h}$ - бузургии, ки манбаи деформатсияро ҳосил менамояд.

Дар раванди варақасозии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч хусусиятҳои кинематикӣ ва геометрии пайдоиши манбаи деформатсия ба таври назаррас тағйир меёбанд, ки дар ин сурат бузургии қимати масоҳати васлро бо ифодаи зерин муайян кардан мумкин аст:

$$F_k = H_i \cdot \frac{2 \cdot B_0 + \Delta b}{2 \cdot \cos \beta} \sqrt{\frac{2}{A} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)} \quad (7)$$

Қимати бузургии масоҳати намунаро дар вақти пеш ва баъди ҳар як гузариши алоҳидаи варақасозӣ бо формулаҳои зерин муайян кардан мумкин аст:

$$F_0 = H_0 \cdot B_0; \quad (8)$$

$$F_k = H_i \cdot B_i = H_i \cdot (B_0) + \Delta b_m \quad (9)$$

Аз сабаби зиёд шудани бузургии қимати сатҳи васл, эҳтимолияти нобудшавии плёнкахое, ки ҳангоми гузариши ин раванд оксид шудаанд зиёд мешавад ва аз ҳисоби озодшавии қисми болоии металл ё конструксияи металлӣ таъмин мегардад.

Чунин падидаи физикӣ боиси пайдоиши қувваҳои омехта (нобаробар) мегардад. Яке аз омилҳои асосӣ, ки ба раванди коркарди металл бо фишор таъсири манфӣ мерасонад, соиши беруна, соиши берунаи намуди пластикӣ мебошанд. То имрӯз олимони ин соҳа як қатор усулҳои таҳлили муайян кардани параметрҳои зарби соишро дар шароити варақасозӣ кор карда баромадаанд [4, 5, 7, 10]. Ин коркардҳо усулҳои самарабахши муайян кардани кунҷи дарбаргирӣ, монешавии ҳудудии раванди коркард, омилҳои пешгирӣ кардани лаҳзаи хамшавӣ ва ҷойивазкунӣ, фишор, васеъшавӣ, коркарди эпюрҳои фишори васлӣ, фишори максималӣ ва оптималӣ ва ғайраро дар бар мегиранд. Аз усулҳои дар боло овардашуда усули муайян кардани зарби соишро дар шароити гуногуни нобаробари омили f_3 махсусан қайд кардан мумкин аст.

Дар раванди гузошташудаи речаи варақасозии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч усули омехта ба кор бурда шуд, ки бо формулаи зерини математикӣ ифода карда мешавад:

$$f_y = \frac{\ln \frac{F_0}{F_i} \cdot \Delta h}{2 \ln \frac{F_0}{F_i} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} - 4 \cdot \Delta b} \quad (10)$$

Дар формула: $\mu = \ln F_0 / F_i$ нишондиҳандаи ёзиши металл бо истифода аз логарифми натуралӣ тавсиф карда мешавад, Δh – бузургии фишурдашавӣ, Δb - васеъшавии металл.

Ҳангоми татбиқи варақасозии қаддӣ андозаҳои хаттии тасма тағйир меёбанд - ғафсӣ (баландӣ), васеъгӣ ва инчунин дарозӣ.

Динамикаи тағйироти баландии (ғафсии) тасмаро бо қимати бузургии ҳам фишурдашавии мутлақ ва ҳам нисбӣ тавсиф додан мумкин аст.

Фишурдашавии мутлақ бо ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\Delta h = H_0 - H_i \quad (11)$$

Қиматҳои бузургии фишурдашавии нисбӣ бошад аз рӯи формулаи зерин муайян карда мешаванд:

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_i}{H_0} \quad (12)$$

Кинетикаи тағйирёбии андозаҳои кундалангии тасма маънои васеъшавии онро дорад.

Қиматҳои бузургии васеъшавиро ҳангоми варақасозии қаддӣ тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч метавон бо ифодаи математикии полиномии тартиби дуум муайян кард:

$$\Delta b = k_0 + k_1 \cdot \left(\begin{aligned} & a_0 + a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \frac{H}{D} + a_3 \cdot \frac{B}{H} + a_4 \cdot \beta + a_5 \cdot \frac{D_1}{D_2} + a_6 \cdot \varepsilon \cdot \frac{H}{D} + a_7 \cdot \varepsilon \cdot \frac{B}{H} + \\ & + a_8 \cdot \varepsilon \cdot \frac{D_1}{D_2} + a_9 \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{B}{H} + a_{10} \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{D_1}{D_2} + a_{11} \cdot \frac{B}{H} \cdot \frac{D_1}{D_2} + a_{12} \cdot \varepsilon^2 + \\ & + a_{13} \cdot \left(\frac{H}{D} \right)^2 + a_{14} \cdot \left(\frac{B}{H} \right)^2 + a_{15} \cdot \beta^2 + a_{16} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \end{aligned} \right), \quad (13)$$

дар ин ҷо: k_0, k_1 – қимати бузурҳоеанд, ки ба зарифҳои ислоҳкунанда (омилҳои табил) алоқаманданд, ки аз рӯи қиматҳояшон метавонанд хусусиятҳои баъзе нишондиҳандаҳои реологии маводи металлро муайян кунанд.

Қиматҳои бузургии пуркуватсозии варақаро бо формулаи 5 муайян кардан мумкин аст.

Қимати бузургии қувваи ҷозии варақасозӣ барои гиреҳҳои дунавардаро бо истифодаи муодилаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$P_{кч} = \frac{0,8 \cdot d^3 \cdot [\sigma_u]}{2 \cdot L \cdot B_i} \quad (14)$$

ки дар ин ҷо: $[\sigma_u]$ - фишори имконпазири ҳамшавӣ, МПа/мм²; d – диаметри навард, мм; L – масофаи байни тирҳои фишурдашуда, мм; B_i – васеъгии тасмаи варақашаванда, мм.

Дар ҷадвали 1 қимати зарифҳои ислоҳкунандае, ки хусусиятҳои махсуси реологии муқоисашавандаи намунаҳои пӯлод ва сурбу сурмаро дар шароити таҷрибавии лабораторӣ варақасозӣ шудаанд, тавсиф медиҳанд.

Ҷадвали 1.

Номгӯи пӯлод	Қимати параметрҳои аппроксиматсия	
	k_0	k_a
Пӯлод 3	-0,005	0,635
Пӯлоди чавхаронидашуда	-0,054	0,478

Нишондиҳанда марбут ба бузургии лаҳзаҳои гардишро дар раванди варақасозӣ тавассути муодилаи зерин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$M=2 \cdot P \cdot a, \quad (15)$$

ки дар ин ҷо : a китфи қувваи баробартаъсиркунандаи P нисбат ба маркази навард аст. Китф a - ро , қабул шудааст, ки ҳамчун як қисми муайяни дарозии манбаи деформатсия муайян кунем.

$$a=l_d \cdot \psi_n, \quad (16)$$

дар ин ҷо: ψ_n – зариби китфи қувваи варақа буда, ба 0.55 баробар аст.

Вақти лаҳзаи раванди варақасозӣ бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$M_{кч} = 2P_{ws} l_d \psi_n \quad (17)$$

Қимати бузургии изофаборихо бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$k_p = \frac{P}{P_{кч}} ; \quad k_m = \frac{M}{M_{кч}} \quad (18)$$

Речаи ҳарорати варақасозӣ бевосита аз қимати бузургии ҳарорати гармшавӣ ё қимати бузургии ҳарорати ғелиш дар марҳилаи аввал вобаста аст. Дар ҳолати мо дар рафти тадқиқоти таҷрибавӣ ҳисоби речаи ҳарорати варақасозии тасмаҳои баланди таҳқиқшаванда гузаронда шуд.

Дар асоси ҳисобҳои гузаронидашуда ба хулосае омадан мумкин аст, ки паст шудани ҳарорати варақа натиҷаи ба ҳисоб гирифтани нурпошӣ мебошад, баландшавии ҳарорат бошад тавассути энергияи шакливозкунандаи пластикӣ ба амал меояд. Гармие, ки дар раванди деформиронии пластикӣ ҷудо мешавад, бо пайдошавии раванди интиқоли гармӣ ҳам ба навардҳо ва ҳам ба симҳо ҷуброн карда мешавад.

Дар ин ҷо бояд қайд кард, ки гармие, ки металли гарм дар системаи беизолятсия дар муддати вақти dt медиҳад, мувофиқи қонуни Стефан-Болцман ҳисоб карда мешавад:

$$dQ = FC \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] dt, \quad (19)$$

ки дар ин ҷо: F - масоҳати сатҳи гармидиҳӣ; T_n , T_c – ҳароратҳои мутлақӣ сатҳи варақаи хунукшаванда ва мутаносибан муҳити атроф K ; $C = \varepsilon C_s$ – қимати бузургии нурпошии доимии ҷисми хунукшаванда; C_s – доимии нурпошии ҷисми комилан сиёҳ, ки ба 4,7-5,2 баробар аст; ε – зарибе, ки аз характери сатҳ вобаста аст (барои пулод ба 0,8 баробар гирифта мешавад). Аз ин ҷо $C = 4 \text{ кал./м}^2 \text{град}^4$.

Ҳангоми иҷрои вазифаҳои ба миён гузошташуда дар муайян кардани нишондиҳандаи бузургии миёнаи T_m аз муодилаҳои зерин истифода мешавад:

$$dQ = G \cdot c \cdot dT_m, \quad (20)$$

ки дар ин ҷо: G – массаи металли хунукшаванда, кг; c – гармиғунҷоиш, кал/(кг градус).

Ҳангоми яқоя ва баробар кардани муодилаи (19) ба муодилаи (20) бо ба инobatгирии $T_c \ll T_n$ муодилаи зеринро ҳосил мекунем:

$$\frac{dT_m}{dt} = \frac{FC}{Gc10^8} \cdot T_n^4 \quad (21)$$

Мувофиқи муодилаҳои 19 ва 20, тақсмоти ҳарорат бо вобастагии параболий тавсиф карда мешавад, ки ин вобастагӣ бо муодилаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$T = T_m (1 - k\rho^2) \quad (22)$$

Дар формула: T_m – речаи ҳарорати ғелониш ба марказ; k – зариби омили ба тариқи таҷрибавӣ азнаҳисобкунӣ дар асоси андозаҳои буриш; ρ – масофаи нуқтае, ки дар он ҳарорат то марказ муайян карда мешавад. Барои муайян кардани масофаи нуқтаҳои, ки ҳароратро дар асоси бузургиҳои нишондиҳандаҳои $k\rho^2 < 1$ ва $T_n < T_m$ муайян мекунанд, алоқамандии муодилаи (22) ба муодилаҳои зерин ёфта шуд:

$$T_m = \int_0^a T d\rho = T_n a \cdot \left(1 - \frac{ka^2}{3} \right) \quad (23)$$

Ҳангоми ба тариқи таҷрибавӣ муайян кардани T_m мутаносибии роста ба муодилаи 22 ёфта шуд, ки алоқамандии онро бо истифодаи муодилаи зерин нишон додан мумкин аст:

$$T_n = T_m \frac{3(1-k^2)}{3a(1-\frac{ka^2}{3})}, \quad (24)$$

дар ин ҷо: a – масофа аз марказ то сатҳи муайян.

Ҳангоми иҷрои вазифаҳои таҷрибаии гузошташуда, таҳлили нишондиҳандаҳои ҳарорати системаи берунии ғелониш бо назардошти қиматҳои зарифи k , бо истифода аз муодилаҳои 23 ва 24 тамоми равандро тавсиф додан мумкин аст. Дар асоси ин муодилаҳо ҳароратҳои маркази тасмаро ҳисоб кардан мумкин аст.

Ҳангоми коркарди математикии ифодаи 21 ва муодилаи 24 муодилаи зеринро ҳосил кардан мумкин аст:

$$\frac{dT_n}{T_n^4} = - \frac{F \cdot C \cdot \frac{3-3ka^2}{a(3-ka^2)} dt}{G \cdot c \cdot 10^8} \quad (25)$$

Пас аз интегрронӣ ҳосил мекунем:

$$T_n = \sqrt[3]{\frac{T_{on}^3}{1 + \frac{3T_{on}^3 \cdot F \cdot C \cdot \frac{3(1-ka^2)}{a(3-ka^2)} \cdot t}{G \cdot c \cdot 10^8}}}, \quad (26)$$

дар ин ҷо: T_{on} – қимати бузургии ҳарорати сатҳ дар лаҳзаи ибтидоии вақт, яъне ҳангоми $t=0$.

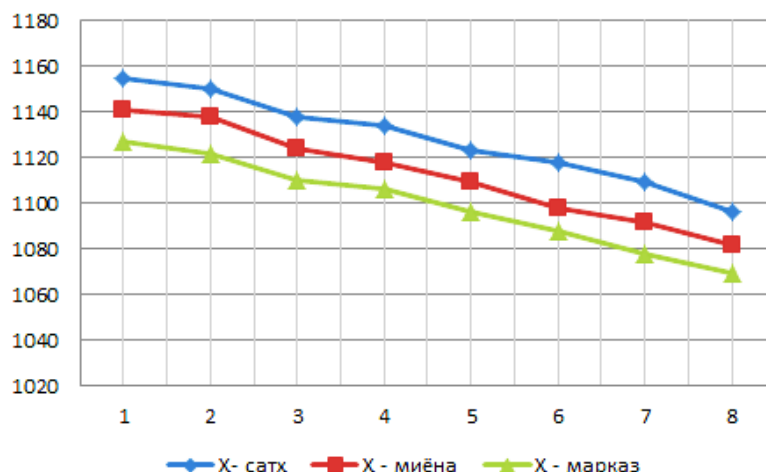
Дар ифодаи таҳтирешагӣ, ҷамъшавандаи дуҷуми он дорои қимати нисбатан хурд дар муқоиса бо «воҳид» - ро дорад, ки дар алоқа бо ин ҳосил менамоем:

$$T_n = \frac{T_{on}}{\sqrt[3]{1 + \frac{T_{on}^3 \cdot F \cdot C \cdot \frac{3(1-ka^2)}{a(3-ka^2)} \cdot t}{G \cdot c \cdot 10^8}}} \quad (27)$$

Бо мақсади муайян кардани қимати бузургии зарифи k чунин тахминро қабул мекунем, ки фарқиати ҳарорати байни қисми дохилии тасма дар муқоиса бо дигар бузургиҳо ва бузургии ҳарорати сатҳи марказ ва миёна мувофиқи буриш дорои тағйироти яқхела дар муддати вақт [6, 8]. Ҳангоми шартҳои дидабаромадашавандаи қимати бузургии ΔT барои шаклҳои гуногуни буриш доимӣ мемонад. Агар буриши квадратӣ ба онҳо наздик бошад, пас қимати бузургии зарифи k ба таври қаноатбахш бо ёрии вобастагии гиперболия аппроксимиронида мешавад:

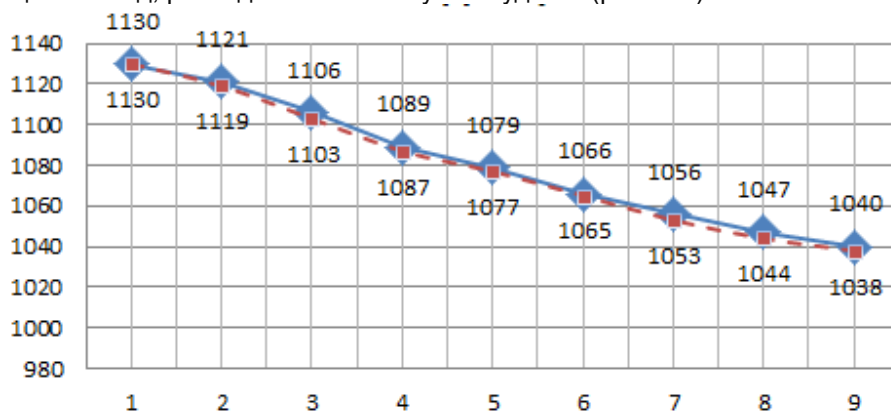
$$k = \frac{2.1}{h} \quad (28)$$

Бо истифода аз ифодаҳои (23), (24), ва (27) имкони иҷроиши ҳисоби қимати бузургии ҳарорати нуқтаи муайяни буриш пайдо мегардад. Дар раванди гузаронидани таҳлилҳои таҷрибавӣ дар асоси натиҷаҳои ҳосилгардида ҳисоби речаи ҳароратии варақасозиро бо истифодаи дастгоҳи 850/730/580 амалӣ карда мешавад. Натиҷаҳои ҳосилгардида дар расми 1 оварда шудаанд.



Расми 1. Динамикаи тағйирёбии ҳарорат дар раванди варақасозии тасмаҳои баланд

Дар асоси натиҷаҳои дар расми 1 овардашуда ва ҳисобҳои фарқияти ҳарорати сатҳии намунаи раванди варақасозии тасмаҳои баланд, раванди кинетикаи омӯхта шудааст (расми 2)



Расми 2. Раванди кинетикаи варақасозии тасмаҳои баланд

Хулоса

Дар асоси ҳалли масъалаҳои, ки барои тадқиқоти таҷрибавии раванди варақасозии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч гузошта шудаанд, усули навосозии омӯзиши ин раванд кор карда баромада шуд. Ин раванд метавонад пешгӯӣҳои таъсири бисёрченакаи параметрҳои гуногуни миқдори металл, ки омилҳои бартаридоштаи геометрии ҳангоми кам кардани ҳаророти меҳнат амалӣ месозанд, татбиқ намояд. Муқаррар карда шуд, ки қонуниятҳои кинетикаи тағйироти параметрҳои раванди тадқиқшаванда бояд бо омилҳои геометрии манбаи деформатсия, инчунин бо омилҳои, ки умуман як қатор равандҳои технологиро тавсиф мекунанд, аз ҷумла фишурдашавӣ бо ҳам алоқаманд бошанд.

Дар асоси натиҷаҳои ба даст овардашуда характеристикаҳои шароити варақасозии тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч ошкор карда шуданд.

Адабиёт:

1. Бозоров Ш.А., Одиназода Б.Н., Саидов М.Х. Моделирование закономерностей изменения показателей процесса пластического течения металла при прокатке высоких полос в скрещенных валках/ Паёми политехники бахши “Таҳқиқотҳои муҳандисӣ”, самти металлургия ва масолахшиносӣ №2(50) - 2020, саҳ. 66-73
2. Y Shifrin, V Balakin, N Kvitka. Аппроксимирующее уравнение для определения коэффициента подпора при продольной прокатке полосы/ Metallurgical and Ore Mining, № 2 (2020) - momi-journal.org, саҳ. 3-9
3. Грудев А.П. Теория прокатки. М.: Металлургия. 1988. 240 с.

4. Хлопонин В.Н. Силовое и кинематическое взаимодействие рабочих и опорных валков при перекосе их осей // Сталь 1995. №5. С. 54–57.
5. А.с. 1585034 СССР, МКИ В21/В 27/2. Прокатный валок / В.В. Бринза, В.Н. Хлопонин, А.В. Бринза и др. БИ. 1990. №30.
6. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. Справочник. М.: Металлургия. 1982. 310 с.
7. Римен В.Х., Кулик А.Б. Расчет изменения температуры при прокатке крупных сечений. В кн. “Процессы пластической деформаций и упрочнения”. М. 1981. С. 188–189.
8. Целиков А.И., Зюзин В.И. Современное развитие прокатных станов. М.: Металлургия. 1972. 400 с.
9. Илюшин А.А. Прикладная механика и математика. Т. 17. Выпуск 4. 1952. С. 385–397.
10. Прокатная техника для микрометаллургического завода. Б.А. Романцев, С.П. Галкин, В.К. Михайлов, В.Н. Хлопонин.// Теория и технология деформации металлов. Труды научно–технической конференции. М.: МИСиС. 1997. С.180–181.

Маълумот оид ба муаллифон

TJ	RU	EN
Бозоров Шамсуддин Аломуддинович	Бозоров Шамсуддин Аломуддинович	Bozorov Shamsuddin Alomuddinovich
н.и.т., муаллими калон	к.т.н, старший преподаватель	Candidat of engineering sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)555553516 Email: bozorov_shamsiddin@mail.ru ORCID Id 0000-0003-2854-5048		
TJ	RU	EN
Шарифов Дилшод Абдусаматович	Шарифов Дилшод Абдусаматович	Sharifov Dilshod Abdusamadovich
н.и.т., и.в.дотсент	к.т.н., и.о. доцента	candidate of technical sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)935998939 Email: sharifov.mexroj@mail.ru ORCID Id 0000-0002-5749-3067		
TJ	RU	EN
Саидаи Чурахон	Саидаи Джурахон	Saidai Jurahon
ассистент	ассистент	assitant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)919025008 Email: saida0791@mail.ru		

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ, ГАЛТОВКИ САМОЦВЕТНЫХ КАМНЕЙ

Мирзоалиев А.И.

Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими.

Аннотация: В данной статье исследован процесс формообразования самоцветных камней, методов галтовки. Теоретически и методом научного анализа, опытным путем определена производительность процессов планетарно-центрифужной и барабанной галтовки. Рассмотрены эффективность и целесообразность применения видов галтовки при обработке самоцветных камней.

Ключевые слова: галтовка, абразив, производительность, центробежная сила, барабан, устройства, драгоценные и полудрагоценные камни, пластик, полирование, органический, микронеровности, риски, имплантаты, формообразование.

STUDY OF EXISTING METHODS, TUMBLING OF SEMI-PRECIOUS STONES

Mirzoaliev A.I.

Annotation: In this article, the process of shaping semi-precious stones, methods of tumbling has been studied. Theoretically and by the method of scientific analysis, empirically determined the productivity of the processes of planetary-centrifugal and drum and tumbling. The efficiency and expediency of using types of tumbling in the processing of semi-precious stones are considered.

Key words: tumbling, abrasive, productivity, centrifugal force, drum, devices, precious and semi-precious stones, plastic, polishing, organic, microroughness, risks, implants, shaping.

ТАҲЛИЛИ ТАҶЗ ВА УСЛУБИ, ГАЛТОВКАИ САНҶОИ РАНГА

Мирзоалиев А.И.

Аннотатсия: Дар ин қор таҳлили таҷз ва услуби раванд ва намудҳои галтовкаи санҷои ранга таҳқиқ қарда шудааст. Маҳсулнокии раванди галтовкақунӣ ва сайқалдҳи дар дастгоҳҳои барабанӣ ва планетари –марказгурез муайян қарда шудаанд. Ҳангоми қорқарди санҷои рангаи табиӣ ба мақсад мувофиқ будани истифодаи дастгоҳи галтовкақунонии планетари –марказгурез нишон дода шудааст.

Калид вожаҳо: галтовка, абразив, маҳсулноки, қувваи марказгурез барабан, таҷҳизот, таҳлил, услуб, раванд.

В технологии машиностроения и в природе, промышленности существуют различные способы обработки драгоценных и полудрагоценных камней, самоцветных камней и поделочных камней. Самым распространённым из них является галтовка камней. Технологический процесс галтовки приемлем для обеспечения и выполнения операций по удалению дефекта поверхностных слоя, самоцветного камня. В самоцветном камне и материале дефекты поверхностного слоя могут выразиться в виде: окалин, пригаров, следов коррозии, загрязнений поверхностей, впадин и вмятин на поверхности камня и обрабатываемых деталей. Для упрочнения твердости обрабатываемой поверхности деталей и обрабатываемых камней в различных отраслях промышленности широко и всесторонне применяется абразивная галтовка поверхностей деталей. Для упрочнения и улучшения качества поверхности деталей, камней в производстве, различных отраслях промышленности широко применяются технологические операции шлифования и полирования, данные технологические операции улучшают качество обрабатываемого камня.

При механической обработке поверхности вся трудность и трудоемкость слесарной обработки, очищения поверхности от примесей и различных дефектов заменяются операциями галтовки поверхности. Трудоемкость операции галтовки составляет 10...20% от общей трудоемкости изготовления изделий [1,3]. Операции галтовке сопутствуют незначительные по величине силы резания. Толщина удаляемого слоя детали или камня при операции-галтовке также незначительная и исчисляется в микронах. Выполнение технологической операции абразивной галтовки также сопровождается незначительным тепловыделением, что практически не влияет на процесс обработки поверхности.

Благоприятные технологические преимущества способствуют широкому применению методов галтовки, особенно процесс галтовки незаменим при отделочно-абразивной, операциях обработки камнесамоцветного материала.

Большой вклад в развитие способов галтовочно - абразивной обработки камней внесли русские ученые Ящерицын П.И., Бабичев А.П., Дымов, Ю.В. Мартынов А.Н., Тамарки М.А., Креме З.И., Сорокин В.М., Трилисский В.О., Барон Ю.М., Шумячер В.М., Литовка Г.В., Сергиев А.П, и др.

Основным способом формообразования самоцветных камней при изготовлении различных промышленных изделий из самоцветных камней в течение долгого времени неизменным остаётся технологический процесс галтовки. При выборе способа галтовки и режимов обработки галтовки выбирают, основываясь на физические

свойства камня, свойства всех минералов, что искусственных и что природных отражены на их физических свойствах. Основные свойства камня и минералов отражены в их свойствах. Важным показателем свойств камней является их твердость. Твердость всех минералов и камней, в том числе самоцветных камней определяется по шкале Мооса. Фридрих Моос - австрийский минеролог в 19 веке предположил оценить твердость самоцветных камней и минералов методом царапанья. По теории Мооса способность одного минерала при царапанье оставлять след, риску на поверхности другого минерала или камня всецело зависит от величины твердости этих минералов. Минерал, который оставляет при царапанье на поверхности другого материала или минерала является более твердым. Так как более твердый минерал оставляет царапанием след на поверхности другого, что зависит от его твердости. Твердость характеризует сопротивление минерала разрушающему механическому воздействию на его поверхности. Это свойство к сопротивлению обусловлено структурой кристалла минерала и прочностью его химических связей. В соответствии с разработанной шкалой Мооса порядковый номер или коэффициент твердости минерала определяют следующим образом: если какой-либо минерал царапает поверхность другого минерала или материала, например, если флюорит, имеющий твердость 4 и не царапает апатит, имеющий твердость 5, то его твердость обозначают коэффициентом 4,5.

Таблица 1.

Шкала, твердости минералов, предложенное Моосом:

Наименование минерала	Твердость минерала
Тальк	1
Гипс	2
Кальцит	3
Флюорит	4
Апатит	5
Ортоклаз	6
Кварц	7
Топаз	8
Корунд	9
Алмаз	10

Из всех минералов алмаз самый твердый, имеет твердость 10.

Свойства минералов и камней:

Самоцветные камни — драгоценные, полудрагоценные и поделочные, находящие применение в качестве ювелирного и поделочного сырья.

Поделочный камень — собирательный термин, который объединяет все камни, используемые как в качестве украшения, так и для производства камнерезных изделий. Иногда поделочными называют менее ценные или непрозрачные камни.

В настоящее время используются следующие классификации драгоценных и самоцветных камней:

- классификация Соболевского В.И.;
- классификация Киевленко Е. Я.;
- упрощенная классификация.

Согласно классификации Соболевского В.И. камни делятся на драгоценные и цветные.

Драгоценные камни в свою очередь делятся на три класса:

Камни первого класса: это - алмаз, изумруд, александрит, хризоберилл, эвклаз, благородная шпинель, рубин, сапфир, падпараджа (или оранжевый сапфир).

Камни второго класса: это - топаз, аквамарин, турмалин, фенакит, аметист, циркон, благородный опал.

Камни третьего класса: это - бирюза, горный хрусталь, хризопраз, сердолик, агат, кровавик, гагат и другие камни.

Цветные камни, в свою очередь, делятся на два класса:

Камни первого класса это - малахит, родонит, авантюрин, лазурит, нефрит, амазонит, лабрадор, письменный гранит и другие камни.

2. Цветные камни входят во второй класс: это - офиокальцит, агальматолит, яшма, флюорит, селенит и другие камни.

Согласно классификации Киевленко Е. Я., которая была предложена в 1973 году, при их классификации, также была учтена рыночная стоимость цветных камней. Согласно такому разделению самоцветные камни разделены на три группы:

Камни первой группы, это (ювелирные камни) и делятся на четыре класса:

- а) камни первого класса: это - алмаз, изумруд, синий сапфир, рубин;
- б) камни второго класса: это - александрит, благородный жадеит, оранжевый, желтый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал;
- в) камни третьего класса: это - демантоид, благородная шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит, лунный камень (адуляр), красный турмалин;
- г) камни четвертого класса: это - синий, зеленый, розовый и полихромный турмалин, благородный сподумен (кунцит, гидденит), циркон, желтый, зеленый, золотистый и розовый берилл, бирюза, хризолит, аметист, хризолит, хризопраз, пироп, альмандин, цитрин.

Камни второй группы (поделочные камни), также делятся на два класса:

- а) камни первого класса это - раухтопаз, гематит (кровавик), янтарь-сукцинит, горный хрусталь, жадеит, нефрит, лазурит, малахит, авантюрин;
- б) камни второго класса: это - агат, цветной халцедон, кахолонг, амазонит, родонит, гелиотроп, розовый кварц, иризирующий обсидиан, опал обыкновенный, лабрадор, бело морит, также и другие непрозрачные иризирующие шпаты.

Камни третьей группы (декоративно-облицовочные) следующие, это:

яшма, письменный гранит, окаменелое дерево, мраморный оникс, лиственеть, обсидиан, гагат, джеспилит, селенит, флюорит, авантюриновый кварцит, агальматолит, рисунчатый кремень, цветной мрамор и другие.

Плотность

Плотность вещества определяется его массой в единице объема и связана с плотностью атомов, или молекул вещества. Значения твердости и плотности различных минералов представлены в Таблице 2

Таблица 2

Плотность и твердость ювелирных камней по шкале Мосса

Название	Плотность, г/см ³	Твердость (поМоосу)
1	2	3
Авантюрин	2,65	7,0
Агат	2,60-2,65	6,5-7,0
Аквамарин	2,67-2,71	7,5-8,0
Александрит	3,70-3,72	8,5
Аметист	2,63-2,65	7,0
Апатит	3,17-3,23	5,0
Берилл	2,65-2,75	7,5-8,0
Бриллиант	3,47-3,55	10,0
Гематит	4,95-5,16	5,5-6,5
Демантоид	3,83-3,85	6,5-7,0
Диопсид	3,27-3,31	5,0-6,0
Жадеит	3,30-3,36	6,5-7,0
Жемчуг	2,60-2,78	3,0-4,0
Жемчуг черный	2,60-2,78	3,0-4,0
Изумруд	2,67-2,78	7,5-8,0
Кварц	2,65	7,0
Коралл	2,60-2,70	3,0-4,0
Лазурит	2,40-2,90	5,0-6,0
Малахит	3,75-3,95	3,5-4,0

Продолжение таблицы 2.

Название	Плотность, г/см ³	Твердость (по Моосу)
Нефрит	2,90-3,02	6,0-6,5
Обсидиан	2,30-2,60	5,0-5,5
Оникс	1,98-2,20	3,0
Родонит	3,40-3,70	5,5-6,5
Рубин	3,97-4,05	9,0
Сапфир	3,99-4,00	9,0
Тигровый глаз	2,64-2,71	7,0
Топаз	3,53-3,56	8,0
Турмалин	3,02-3,26	7,0-7,5
Халцедон	2,58-2,64	6,5-7,0
Хризоберилл	3,70-3,72	8,5
Хризолит	3,27-3,37	6,5-7,0
Хризопраз	2,58-2,64	6,5-7,0
Цитрин	2,65	7,0
Шпинель	3,58-3,61	8,0
Янтарь	1,50-1,09 по максимум 1,30	2,0 2,5
Яшма	2,58-2,91	6,0-7,0

В окончании сказанного хочу добавить, что качество любой выпускаемой производственной продукции напрямую связано с метрологическим обеспечением производства и выпуска качественной продукции. Метрологическое обеспечение использования современных измерительных приборов является гарантом качества готовой продукции. Обработка камней на промышленном масштабе для республики является новым направлением.

В сущности таблица 1 «Шкала твердости минералов» и таблица 2 «Плотность и твердость ювелирных камней по шкале Мосса», разработанная Моосом, является неофициальной стандартизированной руководящей технической таблицей строгого и официального применения, кроме того, определение и выбор методов обработки самоцветных камней, поделочных камней также является признаком стандартизации выбора методов обработки самоцветных камней, также является неофициальной стандартизированной руководящей технической таблицей, строгого и официального применения.

Также наука МС и С, являясь официальным техническим предметом изучения в высших технических учебных заведениях лет 10 назад, направлена на обеспечение качества выпускаемой продукции, приведение к единому знаменателю технических, справочных и физических данных, должна стремиться к созданию официальной и единой и обязательного стандартного ряда и разряда для исполнения и соблюдения всеми производственно – промышленными хозяйственными структурами, кроме этого, совместно с предприятиями, которые занимаются технологическим процессом обработки самоцветных камней, разработки единого стандарта для промышленной обработки самоцветных камней.

Заключение: Республика Таджикистан богата естественными рельефными сырьевыми ресурсами, созданными самой природой, основу которых составляют камни.

Литература

1. Мирзоалиев А.И. Исследование способов центробежной абразивной обработки материалов и области их эффективного применения.[Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.02.07 / А.И. Мирзоалиев. - Душанбе- 2017.-С.65-103.
2. Ходжаев Т.А. Повышение эффективности процесса изготовления шаровидных изделий из самоцветных камней совершенствованием конструкторско - технологических решений.[Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.02.07 / Т.А. Ходжаев - Душанбе- 2018.-С.74-83.
3. Толкачев А.В. Повышение производительности вибрационного полирования лопаток компрессора гтд абразивными гранулами.[Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.02.07 / А.В. Толкачев. - Рыбинск – 2015.-С.38-42.

Сведения об авторах:

TJ	RU	EN
Мирзоалиев Азим Исроилович	Мирзоалиев Азим Исроилович	Mabatkadamzoda Kimyo Sabzkadam
номзади илмҳои техникӣ, дотсент	кандидат технических наук, доцент	candidate of technical sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: azimjon86_86@mail.ru		
телефон: (+992)935391113		
ORCID		

ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ СЕРЕБРА С 1,2,3-БЕНЗТРИАЗОЛОМ И 1- ФУРФУРИЛИДЕНАМИНО-1,3,4-ТРИАЗОЛОМ

Мабаткадамзода К.С.

Таджикский национальный университет

Методом потенциометрического титрования исследован процесс комплексообразования Ag(I) с 1,2,3-бензтриазолом (BTr) и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом (FTr) в интервале 288-328 К. Установлено образование двух комплексов при взаимодействии Ag(I) с BTr и FTr. Выявлено, что с ростом температуры устойчивость комплексов уменьшается. Рассчитаны термодинамические функции процесса комплексообразования. Установлено, что величина ΔG с возрастанием количества координированных молекул 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазола и 1,2,3-бензтриазола во внутренней координационной сфере комплексов снижается. При этом показано, что независимо от природы органического лиганда протекаемые реакции комплексообразования являются экзотермическими. Ключевые слова: серебро, 1,2,3-бензтриазол, 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазол, комплексообразование, констант устойчивости, термодинамические функции.

КОМПЛЕКСХОСИЛКУНИИ НУҚРА БО 1,2,3-БЕНЗТРИАЗОЛ ВА 1-ФУРФУРИЛИДЕНАМИНО-1,3,4- ТРИАЗОЛ ДАР 288-318К

Бо истифодаи усули титронии потенсиометрӣ раванди комплексахосилкунии нуқраи(I) бо 1,2,3-бензтриазол (BTr) ва 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазол (FTr) дар ҳудуди 288-328 К омӯхта шуд. Хосилшавии ду заррачаи комплекси хангоми баҳамтаъсиркунии Ag(I) бо BTr ва FTr муқаррар карда шуд. Нишон дода шуд, ки бо зиёдшавии ҳарорат собитаҳои усуворӣ кам мешаванд. Функсияҳои термодинамики хосилшавии комплексои ҳисоб карда шуд. Нишон дода шуд, ки пайвастиҳои комплексиҳои хосилшуда аз ҷиҳати энталпия ва энтропия устуворанд.

Калимаҳои калидӣ: нуқраи(I), 1,2,3-бензтриазол, 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазол, комплексахосилшавӣ, собитаҳои усуворӣ, функсияҳои термодинамики.

COMPLEXATION OF SILVER WITH 1,2,3-BENZTRIAZOLE AND 1-FURFURYLIDENAMINE-1,3,4- TRIAZOLE AT 288-318K

The process of complexation of Ag(I) with 1,2,3-benztriazole (BTr) and 1-furfurylideneamine-1,3,4-triazole (FTr) at 288-328 K. was studied using potentiometric titration. It is established that the formation of two complexes during the interaction of Ag(I) with BTr and FTr. It was revealed that with increasing temperature, the stability of the complexes decreases. The thermodynamic functions of the complexation process are calculated. It is shown that the resulting complexes are enthalpically and entropically stabilized.

Keywords: silver(I), 1,2,3-benztriazole, 1-furfurylideneamine-1,3,4-triazole, complexation, stability constants, thermodynamic functions.

Введение

Производные триазола отличаются высокой биологической активностью и имеют применение в медицине и сельском хозяйстве [1,2]. Триазол и его производные находят широкое применение в координационной химии, образуя разные по составу комплексы с d-переходными металлами. В работе [3] изучено комплексообразование серебра с 1,2,4-триазолом и 1,2,4-триазолтиолом-5. Показано, что серебро с вышеуказанными лигандами реагирует ступенчато, в которых молекула триазола координирована к серебру (I) посредством атома азота, а 1,2,4-триазолтиол атомом серы. В работах [4-6] нами потенциометрическим методом был изучен процесс комплексообразования золота(III) с 1,2,3-бензтриазолом и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом при различных температурах. Показано, что золото(III) с 1,2,3-бензтриазолом образует четыре комплексные частицы, а с 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом три. Увеличение температуры приводит к уменьшению констант устойчивости, образующихся комплексов, что свидетельствует об экзотермичности протекания реакции комплексообразования. В [7] на основе 1,2,3-бензтриазольного комплекса состава $[\text{Au}(\text{BTr})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$ разработан электролит для золочения золота. В [8] изучен процесс комплексообразования Re(V) с 1-фурфурилиденамино-1,2,4-триазолом (FFtr). Установлено, что FFtr координируется к Re(V) бидентатно через атомы азота триазольного цикла. Антибактериальное действие комплексов 1,2,4-триазола с переходными металлами изучено в работе [9]. Установлено, что комплексы $[\text{Pd}(\text{TPA})_4]_2$ (TPA-3-меркапто-4-амино-5метил-1,2,4-триазол); $\text{Pd}(\text{TP})_2\text{Cl}_2$ (TP-триазол); $\text{Pd}(\text{ФЗ})_2\text{Cl}_2$; $\text{Cu}(\text{ФЗ})_2\text{Cl}_2$;

$\text{Co}(\text{ФЗ})_2\text{Cl}_2$; $\text{Pt}(\text{ФЗ})_2\text{Cl}_2$ (ФЗ–1-(5-нитро-2-фурфурилиденамино)-1,3,4-триазол) проявляют высокую нуклеазоподобную активность.

Цель исследования

Цель работы - изучение комплексообразования $\text{Ag}(\text{I})$ с 1,2,3-бензтриазолом и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом, определение устойчивости образующихся комплексов в интервале температур 288-328 К, а также термодинамических характеристик образования комплексов.

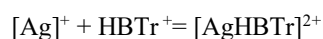
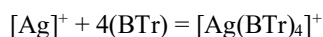
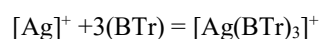
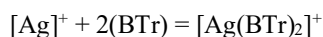
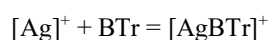
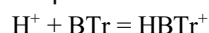
Экспериментальная часть и методы

Нитрат серебра (AgNO_3) синтезирован по методике, описанной в [10], и дважды перекристаллизован. Начальная концентрация нитрата серебра была равной $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. 1,2,3-бензтриазол и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазол синтезированы по методикам, рекомендованным в [11,12]. Концентрация ВТг и FТг составила $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. При исследовании процесса комплексообразования использовали гальванический элемент с переносом. В качестве индикаторного электрода применяли серебряный электрод, а электродом сравнения служил хлорсеребряный. Потенциометрическое титрование проведено на потенциометре марки МИ-150. Титрование проводили из полумикробюретки вместимостью 5 мл с ценой деления 0,01 мВ. Ионную силу создавали при добавлении в раствор нитрата натрия ($J=0,1$ моль/л). Потенциал устанавливался в течение 10-12 мин. В ячейке температуру поддерживали постоянной с помощью водяного термостата. Обработку результатов проводили по программе «KEV» [13].

Результат исследования и их обсуждение

При потенциометрическом титровании раствора нитрата серебра 1,2,3-бензтриазолом и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом наблюдается плавное уменьшение величины потенциала серебряного электрода, который является результатом комплексообразования $\text{Ag}(\text{I})$ с ВТг и FТг.

При определении количества комплексных форм, которые образуются при взаимодействии $\text{Ag}(\text{I})$ с ВТг и FТг, а также устойчивости образующихся комплексных частиц, нами использована программа KEV. В программу вводили стандартный электродный потенциал системы Ag^+/Ag^0 , угол её наклона, изменение потенциала серебряного электрода в каждой точке титрования, концентрации ВТг (FТг) в каждой точке титрования и стехиометрическую модель образования комплексов серебра(I) с ВТг и FТг. Ниже в качестве примера приведена стехиометрическая модель образования комплексов серебра(I) с ВТг.



В таблице 1 в качестве примера приведены значения равновесных концентраций исходных веществ и продуктов реакции в момент равновесия образования комплексов серебра с 1,2,3-бензтриазолом, рассчитанных из данных потенциометрического титрования с помощью программы «KEV».

Обработка результатов потенциометрического титрования с применением программы «KEV» даёт удовлетворительные результаты для образования комплексов составов $[\text{AgВТг}]^+$ и $[\text{Ag}(\text{ВТг})_2]^+$.

Определенные по программе «KEV» величины константы устойчивости комплексов $\text{Ag}(\text{I})$ с ВТг (FТг) представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Равновесные концентрации исходных веществ и продуктов реакции в момент равновесия при образовании комплексов серебра с 1,2,3-бензтриазолом при 298К, рассчитанные по данным потенциометрического титрования по программе «KEV»

$[Ag]^{-10^7}$, моль/л	$[BTr] \cdot 10^4$, моль/л	$[BTr]^{-10^7}$, моль/л	$[Ag(BTr)]^{-10^5}$, моль/л	$[Ag(BTr)_2]^{-10^5}$, моль/л	$[Ag]^{-10^7}$, моль/л	$[BTr] \cdot 10^4$, моль/л	$[BTr]^{-10^7}$, моль/л	$[Ag(BTr)]^{-10^5}$, моль/л	$[Ag(BTr)_2]^{-10^5}$, моль/л
145,0	0,435	0,1160	4,43	0,59	1,330	13,050	1,8200	1,23	4,89
50,0	1,230	0,3050	4,33	1,62	1,180	13,93	1,890	1,16	4,94
25,30	2,110	0,4890	3,75	2,42	0,944	15,68	2,030	1,040	5,01
15,30	3,010	0,6560	3,25	3,00	0,774	17,41	2,150	0,950	5,06
10,30	3,930	0,8070	2,84	3,42	0,646	19,11	2,270	0,871	5,09
7,380	4,860	0,9450	2,52	3,75	0,549	20,79	2,380	0,805	5,12
5,550	5,780	1,070	2,26	4,00	0,473	22,45	2,480	0,748	5,14
4,340	6,700	1,1900	2,05	4,21	0,412	24,08	2,570	0,699	5,15
3,480	7,630	1,3000	1,87	4,36	0,361	25,69	2,660	0,654	5,14
2,860	8,540	1,4000	1,72	4,5	0,286	28,84	2,830	0,582	5,14
2,390	9,450	1,4900	1,59	4,61	0,233	31,91	2,990	0,524	5,11
2,030	10,360	1,5800	1,48	4,7	0,194	34,89	3,130	0,477	5,09
1,750	11,260	1,6600	1,39	4,78	0,141	40,62	3,380	0,403	5,02
1,520	12,160	1,7400	1,30	4,84	0,108	46,05	3,610	0,350	4,93

Таблица 2.

Величины общих констант устойчивости 1,2,3-бензтриазольных и 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазольных комплексов серебра (I) при 288-318К

Т, К	Бензтриазол		1-фурфурилиденамино-1,3,4- триазол	
	$lg\beta_1$ $[AgBTr]^+$	$lg\beta_2$ $[Ag(BTr)_2]^+$	$lg\beta_1$ $[AgFTr]^+$	$lg\beta_2$ $[Ag(FTr)_2]^+$
288	4,97±0,06	8,40±0,02	2,61±0,03	4,94±0,01
298	4,84±0,071	8,33±0,03	2,41±0,04	4,69±0,02
308	4,72±0,05	8,28±0,04	2,23±0,05	4,45±0,05
318	4,61±0,01	8,23±0,05	2,05±0,02	4,23±0,03
328	4,51±0,031	8,18±0,04	1,89±0,04	4,02±0,01

Из приведенных данных видно, что с возрастанием температуры общие константы устойчивости снижаются. Увеличение молекул BTr (FTr) во внутренней координационной сфере приводит к уменьшению ступенчатых констант устойчивости, свидетельствующий об отсутствии специфических электронных и стерических явлений при комплексообразовании серебра (I) с BTr и FTr. Достоверность определения общих констант устойчивости доказана удовлетворительным совпадением $E_{экс.}$ и $E_{теор.}$ (0,01%) (Рис. 1).

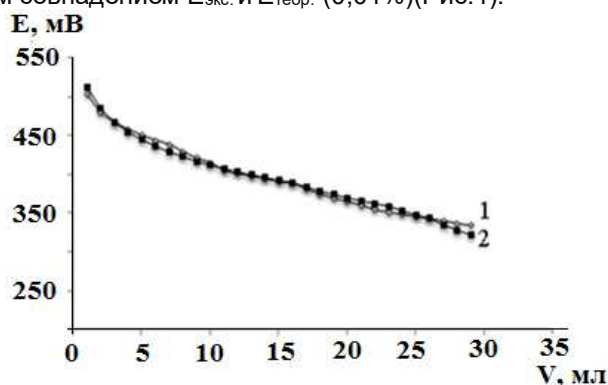


Рисунок 1. Изменение E от объема добавляемого 1,2,3-бензтриазола для комплексов серебра при 298К: 1- $E_{экс.}$; 2- $E_{теор.}$

Известно, что при комплексообразовании различных металлов с органическими лигандами огромный интерес представляет определение термодинамических параметров (ΔG , ΔS , ΔH) реакций комплексообразования, позволяющий характеризовать протекание процессов системы и определить направление, а также характер взаимодействия частиц.

Общие константы устойчивости комплексов Ag(I) с 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазолом и 1,2,3-бензтриазолом использованы для оценки термодинамических функций процесса комплексообразования методом температурного коэффициента. Величину энтальпии (ΔH) определяли по тангенсу угла наклона зависимости $\lg\beta_i = f(1/T)$, а значение ΔS по отрезку, отсекаемому данной прямой на оси ординат. В качестве иллюстрации на рисунке 2 приведена эта зависимость для 1,2,3-бензтриазольных комплексов при 288-328 К. Данная зависимость имеет линейный характер.

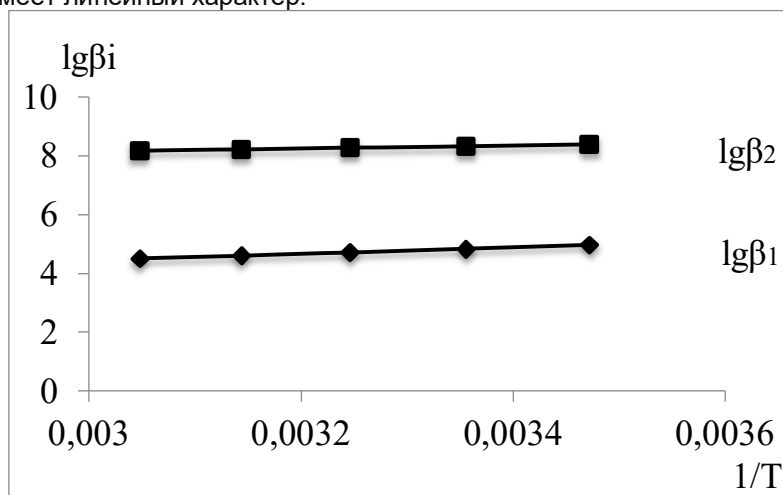


Рисунок 2. Зависимость $\lg\beta_i$ от обратной температуры для 1,2,3-бензтриазольных комплексов серебра (I): $\lg\beta_1$ - $[AgBTr]^+$, $\lg\beta_2$ - $[Ag(BTr)_2]^+$

В таблице 3 приведены величины ΔH , ΔS и ΔG реакция образования комплексов серебра (I) с BTr и FTr (табл. 3).

Таблица 3. Значения термодинамических функций реакции образования комплексов серебра с BTr и FTr при 298К.

Реакция образования комплексов	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/(моль·К)	ΔG , кДж/моль
$Ag^+ + BTr \rightarrow [AgBTr]^+$	$-20,82 \pm 0,49$	$22,81 \pm 1,62$	$-27,61 \pm 0,40$
$Ag^+ + 2BTr \rightarrow [Ag(BTr)_2]^+$	$-49,41 \pm 0,35$	$127,96 \pm 1,13$	$-47,53 \pm 0,17$
$Ag^+ + FTr \rightarrow [AgFTr]^+$	$-32,57 \pm 0,51$	$-63,14 \pm 1,65$	$-13,75 \pm 0,23$
$Ag^+ + 2FTr \rightarrow [Ag(FTr)_2]^+$	$-41,62 \pm 0,30$	$-49,92 \pm 0,98$	$-26,76 \pm 0,11$

Установлено, что величина ΔG с возрастанием количества координированных молекул 1-фурфурилиденамино-1,3,4-триазола и 1,2,3-бензтриазола снижается. Данный экспериментальный факт связан с увеличением стерических препятствий при вхождении последующих молекул используемых органических лигандов во внутренней сфере комплекса. Показано, что полученные комплексные соединения серебра энальпийно и энтрапийно стабилизированы.

Сравнение наших данных с работой [3] выявило, что введение заместителей в состав триазола влияет как на число частиц, образующихся в данных системах, так и на их стабильность. Предложен ряд изменений констант устойчивости для моно- и двухзамещенных комплексов серебра (I) с триазолами: $\lg\beta_i(BTr) > \lg\beta_i(Tr) > \lg\beta_i(FTr)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Freund, M. Ein Verfahren zur Darstellung des Triazols und seiner Homologen. / M. Freund, C. Meineke. // Berichte. – 1896. – V. 29. – P. 2483-2490.
2. Каплан Г.И., Кукаленко С.С. Триазолы и их пестицидная активность – вып. 2 (140), Москва 1983.
3. Сафармамадов, С. М. Комплексообразование серебра (I) с 1,2,4 – триазолом при 288-318 К / С. М. Сафармамадов, Х. Г. Муудинов, А. Д. Хусайнов // Известия АН РТ. – 2015. №1 (158). – С. 99 -105.
4. Сафармамадов, С.М. Мубораккадамов Д.А. Мабаткадамова К.С. Комплексообразование золота(III) с 1,2,4-триазолом. Изв. АН РТ. Душанбе. 2015. №3(160). С 65 - 72.
5. Сафармамадов, С.М. Комплексообразование золота(III) с бензотриазолом при 308К // С. М. Сафармамадов, Д.А. Мубораккадамов, К.С. Мабаткадамова / Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ., Душанбе-2017. – С. 535-536

6. Сафармамадов, С.М. Комплексообразование золота (III) с 1-фурфурилиденамино-1,3,4- триазолом при 288 – 318 К / С. М. Сафармамадов., Д. А. Мубораккадамов., К. С. Мабаткадамова // Изв. вузов. Химия и хим. технология. Иваново, 2017. Т. 60. Вып. 5. С.37-43
7. Мубораккадамов Д. А., Сафармамадов С. М., Сангов М. М. Новый электролит для золочения серебряных изделий на основе комплексного соединения золота (III) с 1,2,3 - бензтриазолом // Д. А.Мубораккадамов, С.М.Сафармамадов, М.М. Сангов / Материалы IV международной научной конференции: «Вопросы физической и координационной химии», Душанбе, 2019. – С. 60-63
8. Вербицкая Н. А. Синтез комплексного соединения рения (V) с 1-фурфурилиденамино-1,2,4-триазолом и исследования его влияния на свойства процесса отверждения связующих фенольного и эпоксидного типов / Н.А. Вербицкая, А. А. Аминджанов, Т. М. Бондаревская, Л. М. Стариков // Координационные соединения и аспекты их применения Душанбе. – 1991. – Ч. 2 – С. 99 – 102.
9. В.Б. Бородулин Биохимические основы антибактериального действия комплексов переходных металлов. Дисс. д-ра. мед. наук: 03.00.07 и 03.00.04. В.Б. Бородулин. – Саратов – 1996. – 23 с.
10. Карякин Ю.В. – Чистые химические вещества. – М., 1974, 209 с.
11. Каплан Г.И., Кукаленко С.С. Триазолы и их пестицидная активность – вып. 2 (140), Москва 1983.
12. Пономарев А.А. Синтезы и реакции фурановых веществ. Саратов.: Изд-во Саратов.ун-та. 1960. С.243.
13. Mehkov, A.N. KEV: a free software for calculating the equilibrium composition and determining the equilibrium constant using UV-Vis and potentiometric data.// A.N. Mehkov, G.A.Gamov / *Talanta*.2019.Vol. 198. P. 200.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Мабаткадамзода Кимё Сабзкадам	Мабаткадамзода Кимё Сабзкадам	Mabatkadamzoda Kimyo Sabzkadam
кандидат химических наук, доцент	номзади илмҳои химия, дотсент	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
Таджикский национальный университет	Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Tajik National University
<i>E-mail: kimyo84@mail.ru</i>		
ORCID Id 0000-0001-6701-1300		

УДК 556.114

THE CONTRIBUTION OF ROCK WEATHERING ON UPSTREAM TO THE FORMATION OF THE PYANJ RIVER TRIBUTARIES HYDROCHEMISTRY

D.S. Azimov¹, A.O. Muminov², B.H. Abdurakhimov³, I. Sh. Normatov²

¹Tajik Technical University named after M. Osimi

²Tajik National University

³Committee for Environmental Protection under Government of the Republic of Tajikistan

Abstract. The results of investigations of the Yazgulem, Vanch, and Pyanj river water's chemical composition and the dynamics of their changes along river trunks are studied. An inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) and ion chromatography for elemental analysis were used. Pearson correlation to assess the correlation of chemical elements of the Vanch and Yazgulem rivers with the main river Panj was used. It has been established that rock weathering on rivers upstream contributes significantly to the formation of the rivers' hydrochemistry. By comparing the water parameters of the studied rivers with standard values of water applicability for irrigation it was found that the Vanj, Yazgulem, and Pyanj rivers are quite suitable for irrigation of agricultural land.

Key words: Rivers, Yazgulem, Vanch, Pyanj, hydrochemistry, water.

ВКЛАД ВЫВЕТРИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ В ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИИ ПРИТОКОВ РЕКИ ПЯНДЖ

Аннотация. Представлены результаты исследований химического состава рек Язгулом, Ванч и Пяндж и прослежена динамика их изменения по стволам рек. Элементный анализ проводился с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) и ионной хроматографии. Для оценки корреляции химических элементов рек Ванч и Язгулом с главной рекой Пяндж использовалась корреляция Пирсона. Установлено, что вымывание горных пород на верховьях рек вносит существенный вклад в формирование гидрохимии рек. Сравнением показателей вод исследуемых рек со стандартными значениями применимости вод для ирригации установлено, что реки Ванч, Язгулом и Пяндж вполне пригодны для орошения сельскохозяйственных земель.

Ключевые слова: Рек, Язгулом, Ванч, Пяндж, гидрохимия, вода.

САҶМИ ШУСТАШУДАНИ ЧИНСҶОИ КУҶИИ САРГАҶИ ДАРҶО ДАР ТАШАККУЛИ ГИДРОХИМИЯИ ШОХОБҶОИ ДАРҶИ ПАНҶ

Аннотатсия. Натиҷаҳои тадқиқоти таркиби химиявии дарёҳои Язғулом, Ванч ва Панҷ нишон дода шуда, динамикаи тағйирёбии онҳо дар самти ҷоришавии танаи дарё омӯхта шудааст. Таҳлили элементҳо бо истифода аз спектрометри массаи плазма (ICP-MS) ва хроматографияи ионҳо анҷом дода шуд. Барои арзёбии таносуби элементҳои химиявии дарёҳои Ванч ва Язғулом бо дарёи асосии Панҷ коррелятсияи Пирсон истифода шудааст. Муқаррар карда шудааст, ки шуста шудани чинсҳои болооби дарёҳо ба ташаккулёбии гидрохимияи дарёҳо ҳиссаи калон мегузорад. Дар муқоисаи нишондиҳандаҳои оби дарёҳои тадқиқшуда бо нишододҳои стандартии қобили истифодаи обҳо барои обёрӣ маълум гардид, ки дарёҳои Ванч, Язғулом ва Панҷ барои обёрии заминҳои хоҷагии қишлоқ мувофиқанд.

Калимаҳои калидӣ: Дарё, Язғулом, Ванч, Панҷ, гидрохимия, об.

Introduction. Surface water is one of the most easily polluted natural resources due to its high mobility and versatile solvent nature [1]. Hydrochemical characteristics of water are indicators of the climatic and environmental conditions of the river areas. The chemical composition of water as a natural indicator can be used to identify and control the weathering of rocks in river basins, evaporation, and the ingress of atmospheric chemical compounds through precipitation [2-5].

The long-term interaction of water with the environment during circulation can indicate the history of water formation, hydrochemistry, and migration [6, 7].

Chemical weathering is a source of ions in river water. Chemical weathering of different rocks yields different combinations of dissolved cations and anions [8, 9]. For example, carbonate and silicate weathering and dissolution mainly produce Ca²⁺ and Mg²⁺ by evaporation, while Na⁺ and K⁺ dissolution by evaporation and silicate weathering [10]. As for the anions, SO₄²⁻ and Cl⁻ arise from the dissolution of evaporites or oxidation of sulfides.

An extensive and comprehensive review of optimum indicators for integrated water quality assessment is present in [11, 12].

To assess water quality for irrigation purposes, the alkaline hazard is widely used, expressed by the sodium adsorption coefficient (SAR), the percentage of sodium cations (% Na), the percentage of soluble sodium (SSP), and the percentage of exchangeable sodium (ESP). This is since with a low content of calcium cations and a high content of sodium in the composition of irrigated waters, due to the course of ion exchange reactions, the soil is enriched with sodium cations and the soil structure is destroyed, i.e., the dispersion of clay granules. Such soil reduce plant growth.

Climate change has short- and long-term impacts on surface and groundwater in many geographical latitudes and the northern part of the African continent, in particular. This has led to a wide range of consequences that have increased pressure on groundwater systems in this part of the world. The main pressure factors are the incorrect distribution and unevenness of precipitation and ice, floods, evaporation of precipitation coming through the drainage network, water degradation, and stagnation of mud in dams, dead trench, drought, reduction of natural recharge and increase in groundwater intake, conflict between transboundary waters, desertification, imbalance between regions, migration, revolution, socio-economic imbalance, etc. Water monitoring networks indicate noticeable hydrogeological changes and an increase in the salinity of groundwater. This was confirmed by the geochemical analysis of water resources. Potential solutions consist of taking urgent measures to use intelligent technologies (bio - and nanotechnologies), policies that correspond to water resources management policies, and involving the private, civil and international sectors [13].

The assessment of specific vulnerability in the agricultural field can create a complete tool for management of groundwater pollution [14]. The infiltration of nitrate pollutants is closely related to land use (LU). Therefore, intrinsic vulnerability index (IVI) should be improved by linking two other factors: nitrates (NO_3^-) and land use (LU). These two factors can be divided into several classes. For each class, a score equal to/or less than 10 is assigned. Next, a special vulnerability index (SVI) is created by adding NO_3^- and LU to the internal vulnerability index (IVI). The SVI procedure has proved to be a useful predictive method for assessing the vulnerability of groundwater. This method has been confirmed as a reliable tool for identifying vulnerable areas; perhaps it will be most interesting to use it in regions where some data has limited availability [15].

The Panj River, a trans-border river between Tajikistan and Afghanistan, with a basin area of 113,000 km², 90% of which is located in the mountainous part, is characterized by an annual flow of 31.9 million m³ [16].

The Vanch and Yazgulem rivers are tributaries of the trans-border Pyanj River with a basin area of 1,810 km² and 1,940 km², respectively. The average annual flow of the Vanch and Yazgulem rivers is 1.56 km³ and 1.24 km³, respectively. The water resources of the Pyanj River are used for irrigation of agricultural land in the lower reaches of the river [17].

The purpose of this work is to determine the main factors responsible for the formation of the chemical composition of the Pyanj River and its tributaries of the Vanch and Yazgulem rivers and to assess the degree of applicability of river water resources for water irrigation.

Materials and methods

The scheme of water sampling from the Vanch, Yazgulem and Pyanj rivers shown in Fig. 1.

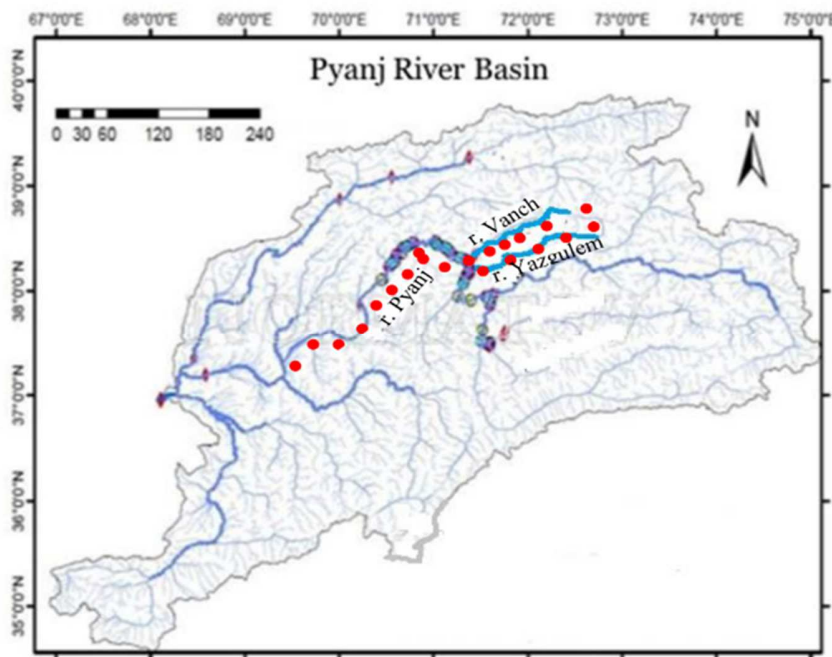


Fig. 1. Scheme of water sampling from the Vanch, Yazgulem and Pyanj rivers

Elemental analysis was carried using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) and ion chromatography. Elemental analysis was performed using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) and ion chromatography. The Pearson correlation was used to estimate the correlation of the chemical elements of the Vanch and Yazgulem rivers with the main Pyanj River

Results and Discussion

The results of the chemical analysis of the waters of the Vanj, Yazgulem, and Pyanj waters are shown in Fig. 2, demonstrating a wide range of chemical elements with different concentrations in the composition of the waters. At the same time, no regularity was found in the manifestation of chemical elements from hydrological characteristics, the height of the catchment area of rivers, and other hydrophysical parameters. It can be argued that the dominant factor in the formation of river hydro-chemistry is the weathering of rocks in the basins of the corresponding rivers.

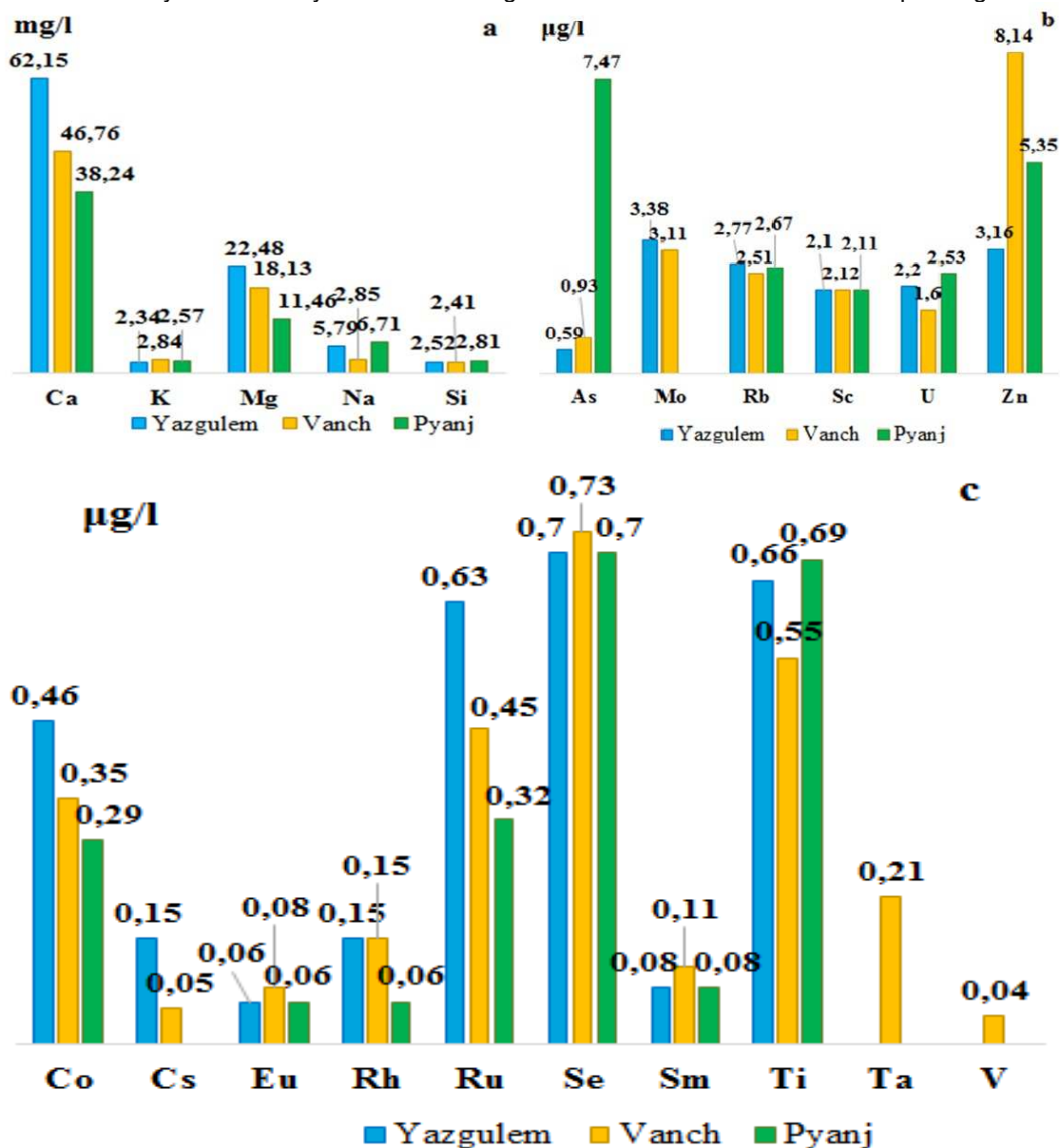


Fig. 2. Chemical elements of the Vanj, Yazgulem and Pyanj rivers

A number of indicators regulates the quality of water used in irrigation in order not to destroy the agrochemical properties of the soil: alkaline hazard expressed by the sodium adsorption coefficient (SAR), the percentage of sodium cations (%Na), the percentage of soluble sodium (SSP), and the percentage of exchangeable sodium (ESP). The results of the Na⁺ adsorption ratios and the percentage of Na⁺ for the waters of the Pyanj river and its tributaries (Vanch and Yazgulem) are presented on the Fig.3.

The sodium adsorption ratio (SAR) was calculated by use of [6]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

The percentage of Na⁺ is determined [22]:

$$\%Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+) \cdot 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$$

Another important parameter characterizing the applicability of water for irrigation purposes is the solubility sodium ratio (SSR) determined as:

$$SSR = \left(\frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \right) \cdot 100$$

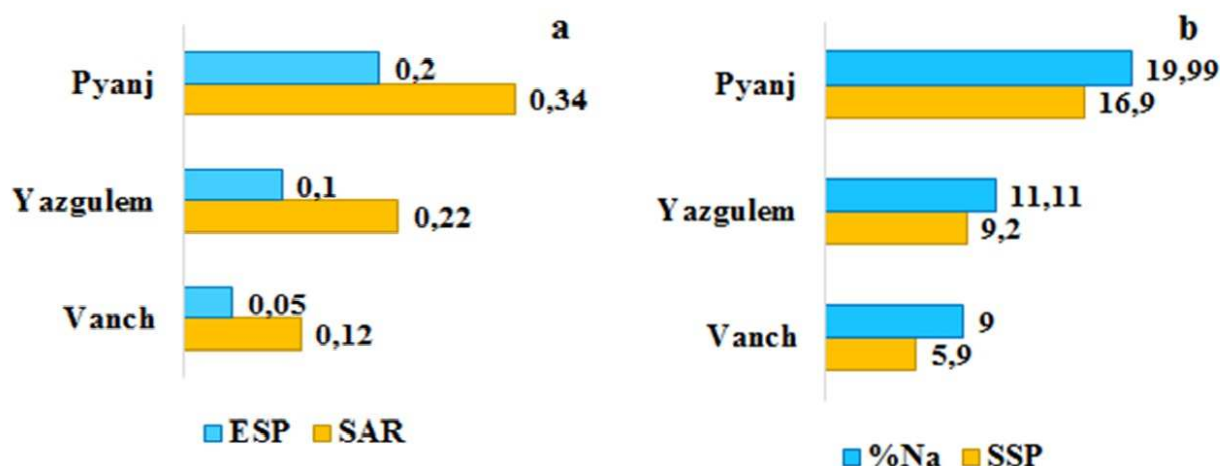


Fig. 3. The Pyanj river and tributaries percentage ESP, SAR (a) and %Na⁺, SSP (b)

It can be seen from the Fig.3 that the sodium adsorption coefficient (SAR), the sodium solubility coefficient (SSR), and the percentage of Na⁺ in the waters of the Vanch, Yazgulem, and Pyanj rivers are insignificant that indicates that the rivers are quite applicable for irrigation of agricultural land.

Conclusions

It has been established as dominating the rock weathering in the formation of Vanch and Yazgulem rivers hydrochemistry and the suitability of the Vanch and Yazgulem river's water for irrigation. Noted that tributaries make a significant contribution to the formation of the chemical composition of the main Panj River. The enrichment of groundwater reservoirs with chemical elements of the surface composition due to infiltration processes is assumed. Prospects for the development of research on the hydrochemistry of groundwater in the basins of the Panj River and its tributaries are outlined.

References

1. Ali Khan M.Y., Hu H., Tian F., Wen J. Monitoring the spatio-temporal impact of small tributaries on the hydrochemical characteristics of Ramganga River, Ganges Basin, India. J. River Basin Management. Issue 2: Major Issues in Large River Basin Management - 2020. - V. 18, P. 231-241.

2. Dinka M. O., Loiskandl W., Ndambuki J. M. Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region // J. Hydrol.: Regional Studies. – 2015. – V.3. P.444–456. - <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.007>.
3. Erickson J.J., Smith, C.D, Goodridge, A., et al. Water quality effects of intermittent water supply in Arraij an, Panama // Water Research. – 2017. – V. 114. – P. 338-350.
4. Ba M.T., Effects of ac frequency on the physicochemical characteristics of water / Ba M.T., Azimov D.S., Knyazev A.S., Ivakhnyuk G.K. // Key Engineering Materials. 2017. T. 743. C. 326-330.
5. Zhu B., Wang Y. Statistical study to identify the key factors governing ground water recharge in the watersheds of the arid Central Asia // Environmental Monitoring and Assessment. - 2016. – V. 188, - No 1. - P. 66-74.
6. Kanduc T., Kocman D., Ogrinc N. Hydrogeochemical and stable isotope characteristics of the River Idrijca (Slovenia), the boundary watershed between the Adriatic and Black Seas // Aquat. Geochem. - 2008. – V. 14. - P. 239–262.
7. Rashid I., Romshoo S.A. Impact of anthropogenic activities on water quality of Lidder River in Kashmir Himalayas // Environ. Monit. Assess. - 2013. – V.185. - P. 4705–4719.
8. Pant R.R., Zhang F., Rehman F.U., et al. Spatiotemporal variations of hydrogeochemistry and its controlling factors in the Gandaki River Basin, Central Himalaya Nepal // Sci. Total Environ. – 2018. – V. 622. - P.770–782.
9. Wu, W.H. Hydrochemistry of inland rivers in the north Tibetan Plateau: Constraints and weathering rate estimation // Sci. Total Environ. – 2016. – V. 541. - P.468–482.
10. Zhang Y., Zhu G., Ma H., et al. Effects of Ecological Water Conveyance on the Hydrochemistry of a Terminal Lake in an Inland River: A Case Study of Qingtu Lake in the Shiyang River Basin // Water. – 2019. – V. 11. - No 1673. –P. 1-15.
11. Amirgaliev, N., Askarova, M., Normatov, I., et al. On the choice of optimal parameters for the integrated assessment of surface water quality // News NAN Republic of Kazakhstan. Series Geology & Tech. Science. - 2019. – V. 3, - No 435. - P. 150-158.
12. Amirgaliev, N., Madibekov, A., Normatov, I. About the criteria of estimation of surface water quality of Kazakhstan based on accounting of its natural features // News NAN Republic of Kazakhstan. Series Geology & Tech. Science. - 2019. – V.3, - No 436. - P. 88-198.
13. Hamed, Y., Hadji, R., Redhaouia, B., Zighmi, K., Bâali, F., & El Gayar, A. (2018). Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 3(1), 25.
14. Jia, Z., Bian, J., Wang, Y., Wan, H., Sun, X. & Li, Q. (2019) Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate in porous aquifers based on a DRASTIC method modified by projection pursuit dynamic clustering model. Journal of Contaminant Hydrology, 226, 103522.
15. Ncibi, K., Hadji, R., Hajji, S., et al. Spatial variation of groundwater vulnerability to nitrate pollution under excessive fertilization using index overlay method in central Tunisia (Sidi Bouzid basin). Irrig. & Drain. 2021. 1–18. OSCE Homepage, <https://www.osce.org/files/f/documents/2/8/413231.pdf>.
16. www.iwmi.org/Publications/IWMI_Research_Reports/index.aspx
17. Kalra, Y. P., Maynard, D. G. (1991). Methods manual for forest soil and plant analysis.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Азимов Додарбек Садриддинович	Азимов Додарбек Садриддинович	Azimov Dadarbek Sadriddinovich
Ассистент	Ассистент	Assistant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
bek_azimov91@mail.ru		
0000-0001-9040-513X		
TJ	RU	EN
Муминов Абулқосим Омонқулович	Муминов Абулқосим Омонқулович	Muminov Abulkosim Omonqulovich
н.и.т Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	к.т.н., каф. Метеорология и климатология Таджикский национальный университет	Ph.D., Art. cafe Meteorology and climatology Tajik National University
abulkosim86@mail.ru		
TJ	RU	EN

Абдурахимов Бозор Хабибуллоев	Абдурахимов Бозор Хабибуллоевич	Abdurakhimov Bozor Khabibullovich
Сармутахасис	Главный специалист	Chief Specialist
Кумитаи ҳифзи муҳити зисти назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон	Комитет охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан	Committee for Environmental Protection under Government of the Republic of Tajikistan
zar.rakhimov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Норматов Ином Шерович	Норматов Ином Шерович	Normatov Inom Sherovich
Аъзои вобастаи АМИТ, доктори илмҳои химия, профессор Мудири кафедраи Метеорология ва Климатология	Член-корр. НАНТ, доктор химических наук, профессор Зав. кафедрой Метеорологии и климатологии	Corresponding Member NAST, Doctor of Chemical Sci., Professor Head of Meteorology & Climatology Department
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
inomnor@mail.ru		
0000-0001-5474-584X		

УДК 621.793.16

СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ МАТРИЧНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Щербаков И.Н., Гасанов Б.Г.

Автономная некоммерческая организация в области просвещения и социальных услуг «Доступная Наука»
Донской государственный технический университет
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

Исследована скорость осаждения композиционных матрично-наполненных химически осажденных покрытий, модифицированных твердыми смазочными материалами. Способ получения химически осажденных покрытий позволяет получать равномерные по толщине покрытия на изделиях из стали практически любой конфигурации. В качестве основы для осаждения матрицы использовались следующие стали: 40X, P9K5, спеченный порошок железа марки ПЖРВ 2.200.28, полученный методом динамического горячего прессования.

Для исследования скорости осаждения использован толщиномер марки Константа К6 и получены зависимости скорости осаждения от температуры раствора, длительности проведения опыта, а также от концентрации модификаторов в суспензии для химического никелирования.

Результаты исследований показали, что наибольшая скорость осаждения композиционных покрытий характерна для основ, полученных методами порошковой металлургии при температуре 90-92°C. Приведены рекомендации по применению исследованных покрытий в промышленности.

Ключевые слова: композиционное покрытие, сталь, скорость осаждения, никель-фосфор, модификатор, матрица, основа.

МЕЪЁРИ АМОНАТИИ МАТРИТСАИ ПУР КАБУЛХОИ ТАРБИЯИ ХИМИЯВӢ

Дар коғаз суръати таҳшиншавии кабатҳои кимиёвӣ пур аз матритса, ки бо раванҳои молиданӣ тағир дода шудаанд, таҳқиқ мекунад. Усули ба даст овардани кабатҳои аз ҷиҳати кимиёвӣ гузошташуда имкон медиҳад, ки кабатҳои ғафсӣ дар маҳсулоти пӯлоди қариб ҳама гуна конфигурацсия ба даст оварда шаванд. Матрицаҳои пӯлодҳои зерин ҳамчун асос барои таҳшинкунии истифода шуданд: 40Kh, P9K5, хокаи оҳани навъи ПЖРВ 2.200.28, ки бо пресскунии динамикии гарм ба даст оварда шудааст.

Барои омӯхтани коэффициенти ғафсшавӣ мо аз асбоби ғафсии К6 Константа истифода бурда, вобастагии суръати рехташавиро ба харорати маҳлул, давомнокии таҷриба, инчунин ба консентратсияи модификаторҳо дар суспензия барои никельпушукони химиявӣ гирифтём.

Натиҷаҳои таҷқиқот нишон медиҳанд, ки дараҷаи баландтарини резондани кабатҳои композитӣ дар харорати 90—920C барои асосҳо, ки бо усулҳои металлургияи хока ба даст оварда шудаанд, ба даст оварда шудаанд. Таъсиҳо оид ба истифодаи кабатҳои омӯхташуда дар сонаот дода шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: пушиши таркибӣ, пӯлод, суръати таҳшиншавӣ, никел-фосфор, тағирдиҳанда, матритса, асос.

DEPOSITION RATE OF MATRIX-FILLED COMPOSITE CHEMICALLY DEPOSITED COATINGS

The paper investigates the deposition rate of composite matrix-filled chemically deposited coatings modified with solid lubricants. The method of obtaining chemically deposited coatings makes it possible to obtain coatings uniform in thickness on steel products of almost any configuration. Matrices of the following steels were used as the basis for deposition: 40Kh, P9K5, sintered iron powder of grade PZhRV 2.200.28 obtained by dynamic hot pressing.

To study the deposition rate, we used a K6 Konstanta thickness gauge and obtained the dependences of the deposition rate on the temperature of the solution, the duration of the experiment, and also on the concentration of modifiers in the suspension for chemical nickel plating.

The research results show that the highest deposition rate of composite coatings was obtained at a temperature of 90-920C for bases obtained by powder metallurgy methods. Recommendations for the use of the studied coatings in industry are given.

Keywords: composite coating, steel, deposition rate, nickel-phosphorus, modifier, matrix, base.

Введение

Введение в растворы для химического осаждения наполнителей (модификаторов) позволяет получать композиционные химически осажденные никель-фосфорные покрытия [1-9]. Полученные таким способом композиционные покрытия имеют множество высокопроизводительных преимуществ, таких как:

- покрытие стальных изделий любой конфигурации нескольких соединенных между собой материалов;
- практически одинаковая толщина покрытия по всей поверхности стального изделия;
- получение матрично-наполненных композиционных покрытий;
- сравнительно высокие коррозионные и износостойкие свойства;
- относительная простота получения композиционных покрытий (например, нет необходимости в подведении электрического тока в раствор);
- управление свойствами за счет сочетания свойств матрицы и модификаторов [1-6].

Введение модификаторов в раствор для осаждения меняет закономерности, определяющие образование композиционного покрытия на стальной основе. Только путем проб и ошибок можно найти оптимум по технологическому процессу осаждения покрытий.

Определяющую роль в образовании покрытия на стальной основе и его увеличение оказывают скорость роста покрытия и структура получаемой наполненной матрицы [1-7].

Цель работы – измерение скорости осаждения композиционных никель-фосфорных покрытий, модифицированных твердыми смазками на стальные основы.

Материалы и методы исследования

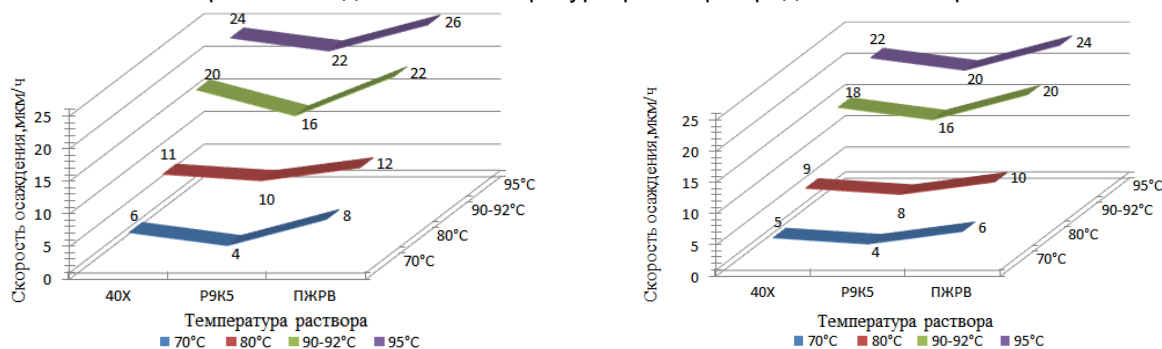
В качестве основ для исследования скорости осаждения композиционных никель-фосфорных покрытий использованы стали 40X, Р9К5, спеченный порошок железа марки ПЖРВ 2.200.28 (пористость 15%), полученный методом динамического горячего прессования. Подготовку поверхности основ проводили в соответствии со стандартной методикой. Составы растворов и технологические особенности получения композиционных покрытий приведены в литературе: модификаторы нитрид бора и политетрафторэтилен [8]; модификатор дисульфид молибдена [9].

Для измерения скорости осаждения применялся толщиномер Константа К6. Измерения проводились через каждые пять минут в процессе осаждения покрытий.

Результаты эксперимента и их обсуждение

В процессе осаждения с течением времени происходит возрастание массы композиционных покрытий [6]. Интересны исследования, посвященные влиянию основы, природы модификаторов на скорость осаждения покрытий.

Зависимость скорости осаждения от температуры раствора представлена на рис. 1.



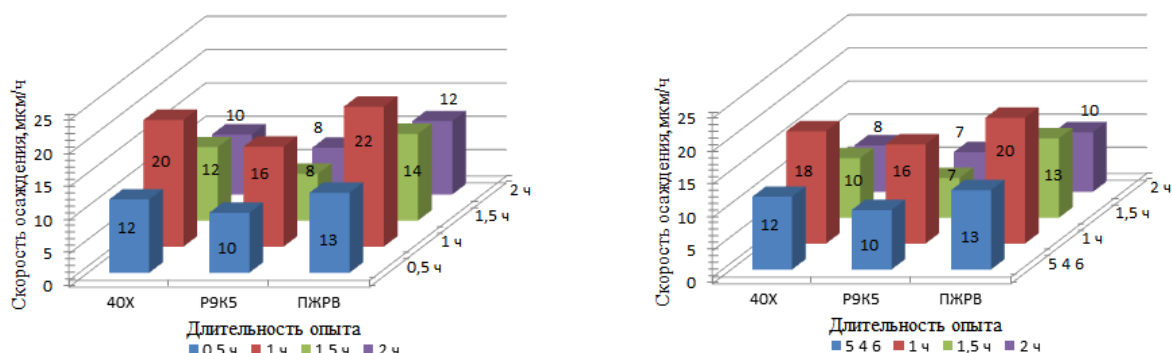
a)

б)

Рис. 1. Зависимость скорости осаждения композиционных никель-фосфорных покрытий от температуры: а) модификатор нитрид бора и политетрафторэтилен; б) модификатор дисульфид молибдена. Время осаждения – 1 час.

Из результатов экспериментов, представленных на рисунке 1, следует, что процесс восстановления композиционных покрытий наиболее оптимален при температуре 90-92°C. При дальнейшем повышении температуры раствора происходит его разложение. Наибольшая скорость осаждения наблюдается при осаждении модифицированных покрытий на основу.

Зависимость скорости осаждения от длительности проведения опыта представлена на рис. 2.



а) б)
Рис. 2. Зависимость скорости осаждения композиционных никель-фосфорных покрытий от длительности проведения опыта: а) модификатор нитрид бора и политетрафторэтилен; б) модификатор дисульфид молибдена. Температура раствора 90-92⁰С.

В таблице 1 представлены результаты исследования зависимости от концентрации модификаторов в суспензии для химического осаждения.

Приведенные экспериментальные данные подтверждают ранние исследования [1-9], в которых показано, что характер изменения скорости осаждения покрытий из суспензий, как и в нашем случае, зависит от природы, основы и концентрации дисперсной фазы.

Таблица 1

Результаты исследования скорости осаждения от концентрации модификаторов в суспензии для химического никелирования. Температура раствора 90-92⁰С. Длительность осаждения 1 час.

Основа	Скорость осаждения покрытий (мкм/ч) в зависимости от концентрации модификатора/ов в растворе						
	Модификатор - дисульфид молибдена, г/л			Модификаторы: нитрид бора (г/л)/ политетрафторэтилен (мл/л)			
	1-4	5-6	7-8	1-2/2-3	3-4/3-4	5-6/5-6	1-2/5-6
Сталь 40X	15	18	16	18	20	19	20
Сталь P9K5	14	16	14	14	18	16	16
ПЖРВ	15	20	17	16	21	20	22

Выводы:

1. Проведены испытания разработанных композиционных матрично-наполненных никель-фосфорных покрытий, модифицированных твердыми смазками, и определена скорость осаждения в зависимости от температуры раствора, длительности проведения опыта, а также от концентрации модификаторов в суспензии для химического никелирования.

2. По результатам проведенных испытаний видно, что при использовании основ из сталей 40X, P9K5 и спеченного порошка железа марки ПЖРВ (пористость 15%), методом динамического горячего прессования, можно получать композиционные покрытия с разной скоростью осаждения. Наибольшая скорость осаждения наблюдается при температурах растворов для осаждения покрытий более 900С.

Список литературы:

1. Вишенков С.А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий. - М.: Машиностроение, 1975. – 312с.
2. Прусов Ю.В., Егоренкова С.И. Химическое осаждение композиционных покрытий // Ред.журн. Изв. вузов. Химия и хим. технол. – Иваново, 1977.-8с.- Деп. в ВИНТИ 05.07.77, № 2717-77 Деп..
3. Кутьков А.А. Износостойкие и анатифриционные покрытия. - М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
4. Сайфулин Р.С. Композиционные покрытия и материалы. - М.: Химия, 1977. – 272 с.
5. Гусева И.В., Машенко Т.С., Борисенко А.И. Композиционные покрытия, получаемые методом химического осаждения // Жаростойкие покрытия для защиты конструкционных материалов.- Л.: Наука, 1977. – С. 52-56.

6. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
7. Иванов В.В., Щербаков И.Н. О структурообразовании химически осажденного никель-фосфорного покрытия, модифицированного политетрафторэтиленом // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2006. – Прил. № 2. – С.117-119.
8. Щербаков И.Н. Разработка композиционного никель–фосфорного покрытия, модифицированного нитридом бора и политетрафторэтиленом: дис. канд. техн. наук.– Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. – 120 с.
9. Пат. 24555391 Российская Федерация, МПК С23С 28/00, С23С 18/36 Способ получения композиционного антифрикционного покрытия на изделии из стали/Трофимов Г. Е., Щербаков И. Н., Шевченко М. Ю., Логинов В. Т., Дерлугян П. Д., Дерлугян Ф. П.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Особое конструкторско-технологическое бюро "ОРИОН". – № 2011100572/02; заявл. 11.01.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

Сведения об авторах:

TJ	RU	EN
Щербаков Игорь Николаевич номзади фанҳои техникӣ, доцент, доценти кафедраи «Истифодабарии системаҳои нақлиёт ва таъминоти логистика А»	Щербаков Игорь Николаевич Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика»	Shcherbakov Igor Nikolaevich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation of Transport Systems and Logistics
Донишгоҳи давлатии техникӣи Дон	Донской государственный технический университет	Don State Technical University
bdd-don@mail.ru		
0000-0002-3129-078X		
TJ	RU	EN
Гасанов Бадрудин Гасанович Доктори илмҳои техникӣ, профессор, профессори кафедраи «Системаҳо ва комплексҳои байналхалқии мантиқӣ»	Гасанов Бадрудин Гасанович Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Международные логические системы и комплексы»	Gasanov Badrudin Gasanovich Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of International Logic Systems and Complexes
Донишгоҳи давлатии политехникӣи чанубии Русия (НПИ)	Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)	South Russian State Polytechnic University (NPI)
gasanov.bg@gmail.com		

УДК 546.621

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕТРАГИДРИДОАЛЮМИНАТОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МЕСТНЫХ РУД ТАДЖИКИСТАНА

Д.Т.Исозода

Институт энергетики Таджикистана

Аннотация: Хлорированием местных алюмосиликатных руд - аргиллитов Чашма-Санга и каолиновых глин Зидды получен хлорид алюминия, который использован для синтеза тетрагидридоалюминатов щелочных металлов. Синтез осуществлён взаимодействием хлорида алюминия с бинарными гидридами щелочных металлов в соответствующих органических средах.

Проведён системный анализ термодинамических характеристик компонентов процесса синтеза алюмогидридов щелочных металлов. Определены и/или уточнены значения термодинамических характеристик некоторых гидридных соединений. Установлены отличительные особенности характеристик гидридов лития и натрия от аналогичных соединений подгруппы калия. Установлены закономерность и математические модели изменения термодинамических характеристик алюмогидридов щелочных металлов.

Ключевые слова: руда, хлорид алюминия, синтез алюмогидридов щелочных металлов, анализ термодинамических характеристик, закономерность.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE PROCESSES OF OBTAINING ALKALI METAL TETRAHYDRIDE ALUMINATES FROM LOCAL ORES OF TAJIKISTAN

Abstract: By chlorination of local aluminosilicate ores - Chashma-Sanga mudstones and Zidda kaolin clays, aluminum chloride was obtained, which was used for the synthesis of alkali metal tetrahydridoaluminates. The synthesis was carried out by the interaction of aluminum chloride with binary hydrides of alkali metals in the appropriate organic media.

A systematic analysis of the thermodynamic characteristics of the components of the process of synthesis of alkali metal aluminum hydrides has been carried out. The values of thermodynamic characteristics of some hydride compounds have been determined and/or refined. The distinctive features of the characteristics of lithium and sodium hydrides from similar compounds of the potassium subgroup have been established. Regularity and mathematical models of change of thermodynamic characteristics of aluminum hydrides of alkali metals are established.

Key words: ore, aluminum chloride, synthesis of alkali metal aluminum hydrides, analysis of thermodynamic characteristics, regularity

В настоящее время боро- и алюмогидриды щелочных металлов широко применяются, как основной реагент для получения гидридных соединений разного класса других элементов и производятся в промышленных масштабах [1,2]. Значительная энергоёмкость гидридных соединений легких металлов позволяет использовать их в качестве компонентов твердого ракетного топлива. Боро- и алюмогидриды металлов содержат ионы ЭН₄-группы (где Э = В, Al), способные к образованию полиэдрических и полигидридных анионов. Гидридные соединения применяются в качестве источника водорода при процессах полимеризации, получении катализаторов с высокими избирательными способностями в тонком органическом синтезе [1-8].

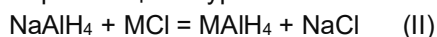
Данная работа является продолжением серии наших исследований [5,7,9,10] и посвящена синтезу и термодинамическому анализу процесса получения тетрагидридоалюминатов щелочных металлов. Хлорид алюминия (AlCl₃), как исходное сырьё для последующего синтеза алюмогидридов щелочных металлов, получен из местных алюмосиликатных руд - аргиллитов Чашма-Санга и каолиновых глин Зидды [11-14].

Экспериментальная часть

Для получения эфирата AlCl₃ алюмосиликатная руда (аргиллиты, каолины) предварительно подвергается обжигу и затем обрабатывается минеральными кислотами (HCl, H₂SO₄) для удаления соединений железа, затем руда помещается в реактор для хлорирования. Хлорирование проводим при температуре 800-1000°C, содержание восстановителя (угля) в шихте (30%). Размер частиц алюмосиликатной руды и угля 0,1 мм. Возгон хлорид алюминия проходит через специальный фильтр и поглощается в диэтиловом эфире. Получение эфирата хлористого алюминия (AlCl₃·Et₂O) выгодно отличается от других методов, так как AlCl₃·Et₂O получают непосредственно взаимодействием хлора с алюмосиликатной рудой, предварительно удаляя из руды ионы железа. По указанной методике также получены растворы AlCl₃ в тетрагидрофуране и диглиме для получения алюмогидридов натрия и калия. Полученный хлорид алюминия для синтеза NaAlH₄ в ТГФ непосредственно взаимодействует с суспензией бинарных гидридов МН, где М – щелочной металл, с образованием тетрагидридоалюминатов по реакции: 4МН+AlCl₃→MAlH₄+3MCl, где М = Li, Na (I)

В ходе данного синтеза алюмогидридов металлов необходимо добавление 0,5-1,0 г сольвата гидрида алюминия в качестве инициатора.

Поскольку бинарные гидриды металлов подгруппы калия труднодоступны, для синтеза алюмогидридов калия, рубидия и цезия, нами использованы хлориды указанных металлов MCl, где M = K, Rb, Cs. Синтез алюмогидридов калия, рубидия и цезия проведён по методике [10] в среде диглима по реакции обмена, выражающейся уравнением



Термодинамическое обоснование технологических процессов создаёт научную основу по подбору эффективных реагентов, рациональных способов, условий проведения переработки минерального сырья и способствует широкому применению бинарных и комплексных гидридов в прикладных разработках.

Проведён термодинамический анализ процесса получения алюмогидридов щелочных металлов взаимодействием бинарных гидридов щелочных металлов с хлоридом алюминия (схема I), полученного хлорированием местных минеральных руд Таджикистана. Для сравнения проведён аналогичный анализ

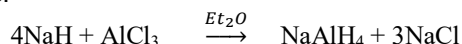
Таблица 1 Справочные [15,16] и оценённые (*) нами термодинамические характеристики соединений: ($\Delta_f H^0$ и $\Delta_f G^0$, кДж/моль; S^0 , Дж/(моль·К))

Функ- ции	MH					MAlH ₄					
	Li	Na	K	Rb	Cs	Li	Na	K	Rb	Cs	
$-\Delta_f H^0$	90,5	56,3	57,7	52,3	54,0	122,6	115,7	163,6	170,0	177,0	
$-\Delta_f G^0$	68,3	33,5	34,0	30,1*	31,7*	44,7	38,7	94,6	99,0	110,3	
S^0	20,0	40,0	50,0	63,7*	73,0*	78,7	89,7	119,0	130,0	150,0	
Функ- ции	MCl					AlCl ₃					
	Li	Na	K	Rb	Cs						
$-\Delta_f H^0$	408,6	411,2	436,5	435,4	443,0	704,2					
$-\Delta_f G^0$	384,4	384,1	408,5	407,8	414,5	628,8					
S^0	59,3	72,1	82,6	95,9	101,2	109,3					

для процесса, протекающего по схеме (II).

Необходимые для расчёта величины термодинамических характеристик компонентов рассматриваемых систем взяты из справочников [15,16], которые обобщены в таблице 1. Отсутствующие в литературе значения термодинамических характеристик для бинарных гидридов рубидия и цезия (*) оценены нами методами сравнительного расчёта и разностей [17].

В качестве примера приведён расчёт термодинамических характеристик процесса (I) получения алюмогидрида натрия взаимодействием бинарного гидрида с хлоридом алюминия, который протекает в среде диэтилового эфира по схеме:



$\Delta_f H$	-56,3	-704,2	-115,7	-411,2
S	40	109,3	89,7	72,1
$\Delta_f G$	-33,5	-628,8	-38,7	-384,1

$$\Delta(\Delta H_{\text{пр}}) = (-115,7 + 3 \cdot (-411,2)) - (4 \cdot (-56,3) + (-704,2)) = (-115,7 - 1233,6) + 225,2 + 704,2 = -1349,3 + 929,4 = -419,9;$$

$$\Delta S_{\text{пр}} = (89,7 + 3 \cdot 72,1) - (4 \cdot 40 + 109,3) = (89,7 + 216,3) - (160 + 109,3) = 306,0 - 269,3 = 36,7;$$

$$\Delta(\Delta G_{\text{пр}}) = \Delta(\Delta H_{\text{пр}}) - T \Delta S_{\text{пр}} = -419,9 - 298 \cdot (0,0367) = -419,9 - 10,9 = -430,8;$$

$$\Delta(\Delta G_{\text{пр}}) = (-38,7 + 3 \cdot (-384,4)) - (4 \cdot (-33,5) + (-628,8)) = (-38,7 - 1153,2) - (-134,0 - 628,8) = -1191,9 + 762,8 = -429,1.$$

Расчёт термодинамических характеристик процесса получения тетрагидридоалюминатов щелочных металлов (схема (II)) на примере KAlH₄ произведён следующим образом

$\text{NaAlH}_4 + \text{KCl} = \text{KAlH}_4 + \text{NaCl}$ (II)	
$\Delta_f H$	-115,7 -436,5 -163,6 -411,2
S	89,7 82,6 119,0 72,1
$\Delta_f G$	-38,7 -408,5 -94,6 -384,1

$$\Delta(\Delta H_{\text{пр}}) = (-163,6 - 411,2) - (-115,7 - 436,5) = -574,8 + 552,2 = -22,6;$$

$$\Delta S_{\text{пр}} = (119,0 + 72,1) - (89,7 + 82,6) = 191,1 - 172,3 = 18,8; 22,6 - 5,6 = -28,2;$$

$$\Delta(\Delta G_{\text{пр}}) = (-94,6 - 384,1) - (-38,7 - 408,5) = -478,7 + 447,2 = -31,5.$$

Полученные, таким образом, термодинамические характеристики процесса синтеза алюмогидридов щелочных металлов по уравнениям (I) и (II) приведены в таблице 2.

Таблица 2 Термодинамические характеристики процессов получения AlH_3 (ΔH^0 и ΔG^0 , кДж/моль; ΔS^0 , Дж/(моль·К))

Функции	Процесс (I)					Процесс (II)			
	Li	Na	K	Rb	Cs	Li	K	Rb	Cs
$-\Delta H^0$	282,2	419,9	538,1	562,8	585,0	9,5	22,6	30,1	29,5
$-\Delta G^0$	302,3 ⁽¹⁾ 295,9 ⁽²⁾	430,8 ⁽¹⁾ 429,1 ⁽²⁾	555,2 ⁽¹⁾	578,8 ⁽¹⁾	600,6 ⁽¹⁾	10,0 ⁽¹⁾ 5,7 ⁽²⁾	28,2 ⁽¹⁾ 31,5 ⁽²⁾	35,0 ⁽¹⁾ 36,6 ⁽²⁾	35,8 ⁽¹⁾ 41,2 ⁽²⁾
ΔS^0	67,3	36,7	57,5	53,6	52,3	1,8	18,8	16,5	21,2

Примечание:

- (1)- рассчитано по формуле $\Delta G^0_{\text{проц.}} = \Delta H^0_{\text{проц.}} - 298\Delta S^0_{\text{проц.}}$;

(2) - рассчитано по формуле $\Delta G^0_{\text{проц.}} = \sum(\Delta fG^0)_{\text{продуктов}} - \sum(\Delta fG^0)_{\text{реагентов}}$

Совпадение значений величины $\Delta G^0_{\text{проц.}}$ в пределах ошибки экспериментов, рассчитанные разными способами, свидетельствует о достоверности исходных термодинамических величин. Закономерности изменения термодинамических характеристик - энтальпия, энергия Гиббса процесса получения алюмогидридов щелочных металлов по схемам (I) и (II) имеют идентичный характер (рисунки 1(a) и (б)).

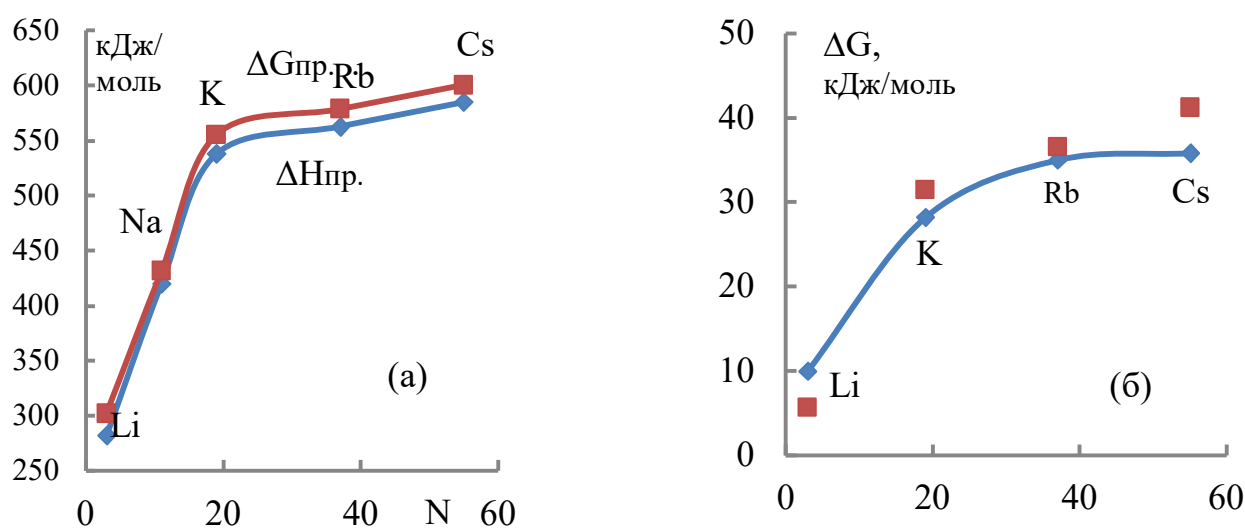


Рисунок 1. - График зависимости термодинамических характеристик процессов (I) (а) и (II) (б) получения AlH_3 от природы (N) металлов.

Полученные сведения (таблица 2) показывают, что с ростом порядкового номера щелочных металлов термодинамическая вероятность протекания процессов возрастает. Характер закономерности изменения термодинамических характеристик процессов отличается. Для процесса (I) (рис. 1(а)) в ряду алюмогидридов типичных элементов $Li \rightarrow Na$ наблюдается резкое повышение энергии Гиббса, которое замедляется для алюмогидридов подгруппы калия. Для процесса (II) рост величины энергии Гиббса имеет монотонный характер в пределах всей группы щелочных металлов.

Полученные, таким образом, полные сведения термодинамических свойств процессов получения алюмогидридов щелочных металлов с применением хлорида алюминия, полученного путём хлорирования

из минеральных руд Таджикистана, позволили проводить математическое моделирование установленных закономерностей их изменения в зависимости от природы щелочных металлов. Моделирование проведено по стандартной программе MICROSOFT OFFICE и MATLAB. Термодинамические характеристики соединений и процесса (I) получения алюмогидридов типичных элементов Li, Na обрабатывались отдельно, так как они выпадают из общих закономерностей, характерных для каждой группы соединений. Отклонение свойств типичных металлов Li и Na от общей закономерности обусловлено их электронным строением, появлением кайносимметричных р-орбиталей у атома Li и виртуальных d-орбиталей у атома Na. Результаты математической обработки данных приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Уравнения закономерностей изменения термодинамических характеристик процесса получения алюмогидридов щелочных металлов от их природы

Процесс (I)		4MН+AlCl ₃ →MAIH ₄ +3MCl		
M	Свойство	Уравнения	Тип тренда	R ²
Li, Na	-ΔH	y = 1,4645x + 6,6064	Л	1,00
	-ΔG	y = 1,4026x + 6,7922	Л	1,00
	-ΔS	y = -0,1135x + 11,341	Л	1,00
K, Rb, Cs	-ΔH	y = 1,3028x + 513,76	Л	0,99
	-ΔG	y = 1,2611x + 531,54	Л	1,00
	-ΔS	y = 0,004x ² - 0,4414x + 64,437	П	1,00
Процесс (II)		NaAlH ₄ + MCl = MAIH ₄ + NaCl		
Li, K, Rb, Cs	-ΔH	Y = -0,0122x ² + 1,0923x + 6,3095	П	1,00
	-ΔG	Y = -0,0153x ² + 1,3695x + 6,4818	П	0,99
	-ΔS	Y = 0,0009x ³ - 0,087x ² + 2,6x - 5,2409	П	1,00
Примечание: y – свойства; x – порядковый номер M; R ² – степень достоверности; линия тренда – (П) – полиномиальная, (Л) – линейная.				

Заключение

Из данных таблицы 2 можно сделать заключение, что оба фактора – энтальпийный и энтропийный способствуют протеканию рассматриваемых процессов получения тетрагидридоалюминатов щелочных металлов. Наибольшую термодинамическую вероятность осуществления имеет процесс (I) при доминирующем влиянии энтальпийного фактора при стандартных условиях. Для процесса (II) влияния обоих термодинамических факторов выравниваются при малых значениях энтальпийного фактора.

Для процесса (I) ключевым исходным компонентом являются бинарные гидриды щелочных металлов. Для корректных термодинамических расчётов нужны достоверные термодинамические характеристики всех компонентов. Анализ имеющихся сведений и расчёты показывают, что величины энергии Гиббса образования и энтропии гидридов RbH и CsH заметно отличаются. Нами внесены соответствующие исправления, отмеченные в таблицах (*). Получены полные сведения по термодинамическим свойствам бинарных гидридов (табл.1) и впервые для процесса образования тетрагидридоалюминатов щелочных металлов урав. (I) с применением хлорида алюминия, полученного хлорированием минеральных руд Таджикистана (табл.2). Эти сведения позволили установить закономерности их изменения в пределах группы сходных соединений. Установлено, что системы с участием типичных элементов лития и натрия по своим характеристикам отличаются от систем с участием металлов подгруппы калия: калия, рубидия и цезия. Для систем с участием типичных металлов лития, калия и металлов подгруппы калия математическая обработка данных проведена отдельно.

В научно-познавательном и прикладном аспектах обобщение и системный анализ термодинамических свойств гидридных соединений имеет определённое значение. В теоретическом аспекте такие исследования особенно важны, так как гидрид-ион является чутким индикатором на малейшие изменения в свойствах атомов-партнёров. Определение и анализ достоверных сведений о свойствах гидридных соединений, особенно бинарных, в которых наиболее ярко проявляются индивидуальные особенности атомов-партнёров, позволяют установить закономерности их изменения в пределах групп. В практическом аспекте установленные закономерности изменения фундаментальных характеристик гидридов и их математические модели позволяют подбирать и широко применять вещества в тонком органическом

синтезе в качестве восстановителей функциональных групп, подбирать катализаторы, а также использовать и в других отраслях наукоемкой техники и технологии.

Литература

1. Мирсаидов, У.М. Синтез, свойства и химические превращения боро- и алюмогидридов металлов / У.М. Мирсаидов. – Душанбе: Дониш, 2005. – 295 с.
2. Бакум, С.И. Синтез и свойства гидридоалюминатов щелочных металлов: дис. ... канд. хим. наук / С.И. Бакум. -М., 1970. -168 с.
3. Бакум, С.И. Получение алумо- и галлогидридов тяжёлых щелочных металлов / С.И. Бакум, С.Ф. Ерешко // Известия АН СССР. Серия химия. -1981. -№10. -С.2183-2185.
4. The Lithium Aluminum Hydride - Ethyl Ether System at 25°C / S.C. Chatteroy, C.A. Hollingsworth, D.H. Medaniel, G.B. Smith // J. Inorg. Nucl. Chem. -1962. -V.24. -P.101-105.
5. Бадалов, А. Синтез, термическая устойчивость и термодинамические характеристики гидридных соединений бора и алюминия: дис. ... д-ра хим. наук / А. Бадалов. - Ташкент, 1992.
6. Гавриленко, В.В. Синтез и физико-химическое исследование гидридных соединений алюминия и галлия: дис. ... д-ра хим. наук / В.В. Гавриленко. -М., 1980. -184 с.
7. Мирсаидов, У.М. Алюмогидриды металлов / У.М. Мирсаидов. –Душанбе: Дониш, 2004.
8. Гатина, Р.Ф. Синтез и свойства гидридных соединений алюминия в одностадийном (совмещённом процессе): автореф. дис. д-ра хим. наук / Р.Ф. Гатина. -Ташкент, 1993.
9. Mirsaidov, U.M. Modeling of Synthesis of Aluminum Hydride via Binary Hydrides of Alkaline Earth Metals / U.M. Mirsaidov, M. Yu. Akramov, I.U. Mirsaidov, O.A. Azizov // Journal of applied Solution Chemistry and Modeling. -2018. -№7. -P.9-13.
10. Азизов, О.А. Особенности выделения и очистки алюмогидридов калия, рубидия и цезия / О.А. Азизов, С.И. Бакум, А. Бадалов, У.М. Мирсаидов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. -2018. -№4(173). -С.112-117.
11. Мирзоев, Д.Х. Получение эфирата хлористого алюминия из аргиллитов и каолиновых глин / Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Аъзамов, Ш.Д. Отаев, О.А. Азизов, Д.Х. Джураев // XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан». –Душанбе, ИХ АН РТ, 2019. -С.29-30.
12. Малый патент № TJ 1109 от 19.08.2020. Способ получения металлов из алюмосиликатных руд / У.М. Мирсаидов, Д.Х. Мирзоев, Ш.Д. Отаев, О.А. Азизов, А. Бадалов, Ш.О. Аъзамов. – Бюл. №163, 2020. -4 с.
13. У.Мирсаидов, О. Азизов, Д.Т. Исозода, А. Бадалов. Моделированный механохимический синтез гидридных соединений бора и алюминия и их энергетические, термодинамические характеристики (Монография). Душанбе, Дониш, 2021.- 94 с.
14. О.А. Азизов, И. Мирсаидзода, Х.А. Зоиров, А. Бадалов. Получение алюмогидридов щелочных металлов из местных руд Таджикистана и их термодинамическое обоснование. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №3(51)-2020.- с.62-65.
15. Термические константы веществ: Справочник. – М.: АН СССР, ВИНТИ, ИВТ, 1978. -Вып.2. -Ч.1. - 527 с.
16. Волков, А.И. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Минск: Современная школа, 2005. - 608 с.
17. Киреев, В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1975. -536 с.

Сведения об авторе

TJ	RU	EN
Исозода Диловаршоҳ Тарик	Исозода Диловаршоҳ Тарик	Isosoda Dilovarshoh Tariq
н.и.к	к.х.н	Candidat of chemistry sciences
Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон	Институт энергетикӣ Таджикистана	Institute of Energy of Tajikistan
	Isoev-d@mail.ru	

УДК 544.45/.454: 544.016: 544.2

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА НЕОЧИЩЕННОГО КОАГУЛЯНТА ИЗ КАОЛИНИТСОДЕРЖАЩИХ ГЛИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЗИДДИ»

Н.А. Наимов

ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»

В данной работе приведено технико-экономическое обоснование процесса получения неочищенного коагулянта из каолинитсодержащих глин способом сульфатизации. В ходе проведенных исследований установлены оптимальные параметры процесса сульфатизации каолинитсодержащих глин месторождения «Зидди»: температура 250-280 °С, продолжительность 120 мин., концентрация серной кислоты 95%, дозировка 100-110% согласно стехиометрическим расчетам; при этом степень извлечения сульфата алюминия составляет более 97%. По результатам лабораторных исследований составлено технико-экономическое обоснование получения неочищенного коагулянта: себестоимость одной тонны неочищенного коагулянта, полученного по разработанной технологии, составила около 106 долларов США при стоимости одной тонны импортируемого коагулянта порядка 400 долларов США. На основе проведенных лабораторных исследований и технико-экономических расчетов можно сделать вывод об эффективности технологии получения неочищенного коагулянта и необходимости её внедрения в производство.

Ключевые слова: технико-экономическое обоснование, каолинитсодержащая глина, месторождение «Зидди», сульфатизация, неочищенный коагулянт, водоподготовка.

АСОСҲОИ ТЕХНИКИЮ ИҚТИСОДИИ ИСТЕҲСОЛИ КОАГУЛЯНТИ ТОЗАНАШУДА АЗ ГИЛИ КАОЛИНДОРИ КОНИ «ЗИДДӢ»

Дар кори мазкур асосҳои техникию иқтисодии раванди ҳосилкунии коагулянти тозанашуда аз гили каолиндор бо усули сульфаткунӣ оварда шудааст. Дар натиҷаи гузаронидани таҳқиқотҳо, параметрҳои оптималии раванди сульфаткунӣ гили каолиндори кони «Зиддӣ» муқаррар карда шуд: ҳарорат 250-280 °С, давомнокии раванд 120 дақиқа, консентратсияи кислотаи сульфат 95%, воияи кислотаи сульфат 100-110% мувофиқи ҳисобҳои стехиометрӣ; дар ҷунин шароит дараҷаи ҷудошавии сульфати алюминий зиёда аз 97%-ро ташкил медиҳад. Мувофиқи натиҷаи таҳқиқотҳои лабораторӣ, асосҳои техникию иқтисодии ҳосилкунии коагулянти тозанашуда тартиб дода шуд: арзиши аслии як тонна коагулянти тозанашуда, ки бо технологияи мазкур ҳосил мешавад, тақрибан 106 доллари ИМА-ро ташкил намуда, арзиши аслии як тонна коагулянти воридотшаванда бошад тақрибан 400 доллари ИМА-ро дар бар мегирад. Дар асоси таҳқиқотҳои лабораторӣ ва ҳисобҳои техникую иқтисодии гузаронидашуда метавон оид ба самаранокии технологияи ҳосилкунии коагулянти тозанашуда ва зарурати татбиқи он дар истеҳсолот хулоса баровард.

Калимаҳои калидӣ: асосҳои техникую иқтисодӣ, гили каолиндор, кони «Зиддӣ», сульфаткунӣ, коагулянти тозанашуда, тозакунии об.

FEASIBILITY STUDY OF OBTAINING UNPURIFIED COAGULANT FROM KAOLIN CLAYS OF ZIDDI DEPOSIT

In this work presents feasibility study of the process of obtaining a crude coagulant from kaolinite-containing clays by the method of sulfatization. In the course of the studies, the optimal parameters of the process of sulfatization of kaolinite-containing clays of the «Ziddi» deposit were determined: temperature 250-280 °C, duration 120 minutes, sulfuric acid concentration 95%, dosage 100-110% according to stoichiometric calculations; the degree of extraction of aluminum sulfate is more than 97%. Based on the results of laboratory studies, a feasibility study was drawn up for obtaining a crude coagulant: the cost of one ton of crude coagulant obtained using the developed technology was about 106 US dollars, while the cost of one ton of imported coagulant was about 400 US dollars. On the basis of laboratory studies and technical and economic calculations, it can be concluded that the technology for obtaining a crude coagulant is effective and that it is necessary to introduce it into production.

Key words: feasibility study, kaolinite-containing clay, «Ziddi» deposits, sulfatization, crude coagulant, water treatment.

ВВЕДЕНИЕ

Каолинитсодержащая глина, в основном, применяется при получении коагулянта для очистки воды (неочищенного сульфата алюминия), $Al(OH)_3$, Al_2O_3 , фарфора, фаянса, керамики электрохимической и строительной областей, огнеупорных изделий, цемента и др. [1,2]. Согласно геологическим исследованиям над и под пластами углей месторождения «Зидди» в Таджикистане залегают каолинитсодержащие глины с запасами более 50 млн. т. [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью реализации предложенной технологии сульфатизации каолиновых глин отобранная проба измельчалась до размера частиц 0,1-0,5 мм. Для выявления химического и минералогического состава

исходного, промежуточного и конечного продуктов были использованы титриметрические методы анализа и модернизированная установка Дрон-2.

Согласно государственной программе по переходу на использование местного сырья взамен получаемых по импорту основных видов сырья алюминиевой промышленности, а также с учетом промышленного производства серной кислоты на территории Республики Таджикистан (ООО «ТАЛКО Кемикал») [4] была проведена серия исследований по получению неочищенного сульфата алюминия, гидроксида алюминия и глинозёма способом сульфатизации из каолинитсодержащих глин месторождения «Зидди» [5,6].

ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с проведенным рентгенофазовым анализом в составе каолинитсодержащих глин месторождения «Зидди» содержатся минералы каолинит, кварц и гематит [7,8]. Химический состав каолинитсодержащих глин приведён в таблице 1.

Таблица 1.

Наименование	Химический состав каолинитсодержащих глин месторождения «Зидди» Содержание компонентов, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂
Каолиновая глина	69.4	21.4	3.22	0.70	1.80	0.80	0.60	1.20

С целью получения неочищенного сульфата алюминия каолинитсодержащую глину предварительно подвергают измельчению до размера частиц 0,1-0,5 мм. В ходе проведенных лабораторных исследований установлены оптимальные параметры процесса сульфатизации каолинитсодержащих глин: температура 250-280 °С, продолжительность 120 мин., концентрация серной кислоты 95%, дозировка 100-110% согласно стехиометрическим расчетам; при этом степень извлечения сульфата алюминия составляет более 97%. [9]. По результатам процесса сульфатизации разработана технологическая линия получения неочищенного сульфата алюминия (рисунок).

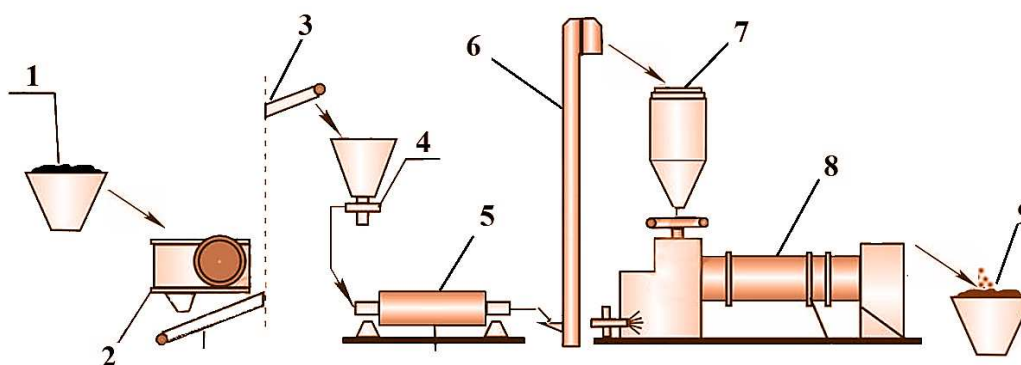


Рисунок. Аппаратурно-технологическая линия сульфатизации каолинитсодержащих глин: бункер исходного сырья; 1-дробилка щековая; 2-конвейер для перемещения дробленой глины; 3-питатель для равномерной подачи глины; 4-шаровая мельница для измельчения дробленой глины; 5-элеватор для подачи измельченной глины; смеситель; 6-печь для сульфатизации глины; 7-упаковочное оборудование.

Спёк, образующийся в процессе сульфатизации каолинитсодержащей глины, можно непосредственно использовать в качестве неочищенного каолинового коагулянта для очистки воды. После водной обработки сульфатизированного спёка можно получить очищенный сульфат алюминия, гидроксид алюминия и глинозём.

Для определения коагулирующей способности в лаборатории Центра контроля качества питьевых вод при ГУП «Душанбеводоканал» проведены испытания полученного сульфатизированного спёка по стандартной методике. Полученные в результате исследований физико-химические показатели свидетельствуют о соответствии неочищенного каолинового коагулянта требованиям ГОСТ 5155-74 (сульфат алюминия неочищенный) и частично требованиям ГОСТ 12966-75 (сульфат алюминия очищенный) [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно технологическим регламентам для реализации химических технологий в промышленности основным фактором процесса внедрения в производство является проведение технико-экономических расчетов [11,12].

С этой целью были рассчитаны основные затраты при сульфатизации каолинитсодержащих глин:

Стоимость одной тонны исходного сырья – каолинитсодержащей глины на месторождении, включая погрузочные работы, равна 50 сомони (5,3 долл. США).

Стоимость транспортировки одной тонны исходного сырья от месторождения до предприятия-переработчика (расстояние туда / обратно 280 км) равна 22,4 сомони (2,4 долл. США); таким образом стоимость одной тонны сырья с транспортными затратами составляет 72,4 сомони (7,7 долл. США).

Стоимость используемой концентрированной серной кислоты для сульфатизации одной тонны каолинитсодержащей глины составляет 1697 сомони (180 долл. США).

По стехиометрическим расчетам при сульфатизации одной тонны исходной каолиновой руды расходуется 900 кг концентрированной серной кислоты, при этом образуется около 1800 кг сульфатсодержащего спёка (неочищенного сульфата алюминия). С учетом этого рассчитали расход необходимых материалов для получения одной тонны неочищенного коагулянта, а именно:

- расход исходного каолинового сырья с учётом доставки равен 555,5 кг на сумму 41 сомони (4,27 долл. США);

- расход концентрированной серной кислоты составит 500 кг на сумму 943 сомони (100 долл. США).

По энергопотреблению основного технологического оборудования рассчитали расход электроэнергии:

Щековая дробилка – 5 кВт/час; Конвейер – 3 кВт/час; Питатель – 3 кВт/час; Шаровая мельница – 5 кВт/час;

Элеватор – 3 кВт/час; Смеситель – 5 кВт/час; Печь для сульфатизации – 10 кВт/час;

Упаковочное оборудование – 1 кВт/час.

1. Затраты на электроэнергию составили $35 \cdot 0,52 \cdot 2 \cdot 0,5 = 18,2$ сомони (1,93 долл. США), где:

35 кВт/час – расход электроэнергии,

0,52 сомони – стоимость 1 кВт/час электроэнергии,

2 часа – продолжительность процесса сульфатизации,

0,5 – коэффициент использования оборудования в процессе производства (50%).

Затраты по получению неочищенного сульфата алюминия из каолинитсодержащей глины месторождения «Зидди» способом сульфатизации приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Технико-экономические затраты по выпуску неочищенного сульфата алюминия

№	Наименование затрат	Ед. изм.	Расход сырья на 1 т продукции	Цена на 1 т продукции:	
				Сомони	Долл. США
1	Стоимость сырья	кг	555.5	41.0	4.27
2	Концентрированная серная кислота	кг	500	943	100
3	Электроэнергия	кВт/час	35	18.2	1.93
	Итого	-	-	1002.2	106.2

Согласно проведенным исследованиям из образовавшегося неочищенного сульфата алюминия можно получить глинозем с максимальной степенью извлечения 97-98%. Также без дополнительных технологических операций сульфатизированный спек, полученный при оптимальных условиях, можно применять в качестве неочищенного каолинового коагулянта, а твердый остаток использовать в производстве строительных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из проведенных расчетов, стоимость одной тонны привозного очищенного коагулянта на внутреннем рынке Таджикистана составляет порядка 400 долларов США (по курсу на начало 2021 г.), а стоимость одной тонны неочищенного сульфата алюминия, полученного из каолинитсодержащей глины месторождения «Зидди», составляет около 106 долларов США.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что стоимость неочищенного каолинового коагулянта без учета заработной платы и существующих налогов почти в 4 раза ниже стоимости импортируемого коагулянта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грим, Р.Э. Минералогия и практическое использование глин / Р.Э. Грим. -М.: Мир, 1967.-511 с.
2. Tantawy M. A, Alomari A. A. Extraction of Alumina from Nawar Kaolin by Acid Leaching. Orient J Chem 2019;35(3).
3. Ёров З.Ё., Кабилов Ш.О., Муродиён А., Сироджев Н.М., Минерально – сырьевая база химико – металлургической промышленности Таджикистана. Душанбе 2012. Отп. в «Мега Басым», Стамбул, Турция. -416с.
4. Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Бобоев Х.Э., Сафиев А.Х., Сафиев Х. Физико-химические аспекты сульфатизации каолинитсодержащих глин Таджикистана. – ДАН РТ, 2017, т. 60, №7-8, с.356-361.
5. Al-Zahrani, A., Al Zaitone, B., Production of alumina from Saudi clay by sulfuric acid leaching. International journal of engineering sciences and research technology, 2017, 6(2), 285-293.
6. Сернокислотная переработка высококремнистого алюминиевого сырья / А.К. Запольский – Киев: Наук. Думка, 1981. – 208 с.
7. Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Аминджони Г., Сафиев А.Х., Бобоев Х.Э., Мухамедиев Н.П., Рафиев Р.С., Сафиев Х. Комплексная переработка каолинитсодержащих глин месторождения «Зидди». – ДАН РТ, 2018, т. 61, №3, с.286-292.
8. Орифов А., Джанабилов М. Геология. – Душанбе, 1998.
9. Наимов Н.А., Шерматов Н., Аминджони Г., Бобоев Х.Э., Салимова П.Т. Математический расчет определения влияния параметров на степень извлечения глинозема. ТГУ. Политехнический Вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – №1(45) – С.24-28.
10. Получение неочищенного коагулянта способом сульфатизации из каолинитсодержащих глин Зиддинского месторождения / Н.А.Наимов, Д.Р.Рузиев, А.Х.Сафиев, Х.Э.Бобоев, Г.Аминджони // Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников ТНУ, посвященной Международному десятилетию действия «Вода для устойчивого развития, 2018-2028 годы», «Году развития туризма и народных ремесел», «140-ой годовщине со дня рождения Героя Таджикистана Садриддина Айни» и «70-ой годовщине со дня создания Таджикского национального университета». Душанбе – 2018, с. 671.
11. Техничко-экономическое обоснование проектирования цеха химического производства: учебное пособие / сост. Е.Л. Бойцова, Ф.А. Ворошилов, Е.В. Меньшикова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 85 с.
12. Дыбина П.В., Соловьева А.С., Вишняк Ю.И. Расчеты по технологии неорганических веществ. М.: Высшая школа, 1967. - 524 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Наимов Носир Абдурахмонович номзади илмҳои техникӣ, муовини директор оид ба корҳои илмӣ	Наимов Носир Абдурахмонович кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе	Naimov Nosir Abdurahmonovich Candidate of Technical Sciences (PhD), Deputy Director for scientific work
МД «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ЧСК «Ширкати Алюминийи Тоҷик»	ГУ «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»	State Institution «Scientific Research Institute of Metallurgy» JSC «Tajik Aluminum Company»
nosser2016@outlook.com		

НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT

УДК 621.87, 39.335.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА В ТРАНСМИССИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Султонов Х. Н.

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Аннотация: В данной статье рассмотрены и предложены конструкции трансмиссии с планетарным механизмом с целью устранения основного недостатка ходового механизма строительных экскаваторов с механическим и гидравлическим приводом. Известно, что такими недостатками являются сложность и прерывистость управления потока мощности при маневрах экскаватора с механическим приводом и влияние больших динамических нагрузок в трансмиссии экскаваторов с гидравлическим приводом. Конструирование и использование такого механизма позволяет упростить управление приводом машины при его маневрах и достигать снижения динамических нагрузок в трансмиссии гидравлических приводов. Предлагаемые элементарные конструкции по сравнению с обычными обладают рядом существенных преимуществ, которыми являются: уменьшение габаритов, снижение массы и увеличение долговечности трансмиссий, а также защита приводов и трансмиссий от перегрузок при стопорении исполнительного органа.

Ключевые слова: ходовой механизм экскаватора, трансмиссия, планетарный механизм, управление мощности, снижение динамических нагрузок.

ИСТИФОДАИ МЕХАНИЗМОИ ПЛАНЕТАРӢ ДАР ТРАНСМИССИЯХОИ ЭКСКАВАТОРХОИ СОХТМОӢ

Аннотация: Дар мақолаи мазкур, ба мақсади бартараф намудани яке аз камбудии асосӣ дар механизми ғашти экскаваторҳои сохтмонӣ, ки аз мавҷудияти душвори идоракунии ҷараёни тавоноии дар ҳаракатоварандаҳои механикӣ ҳангоми ҳаракати мошин дар шароитҳои гуногун ва таъсири сарборихоӣ динамикӣ ба ҳаракатоварандаҳои гидравликии онҳо иборат мебошад, таҳлил ва пешниҳоди конструксияи трансмиссияи мучҷаҳаз бо элементҳои механизми планетарӣ пеш оварда шудааст. Истифодаи чунин механизм бобати ба осонӣ идоракунии ҳаракатоварандаи механикии он ҳангоми ҳаракати мошин ва паст намудани таъсири сарборихоӣ динамикӣ ба ҳаракатоварандаҳои гидравликии он мусоидат менамояд. Сохти тарҳрезии маҷмӯаи дар асоси таҳлилҳои пешниҳодшуда боиси кам гардидани вазн, андозаҳо, дарозумрии трансмиссияи мучҷаҳаз бо механизми планетарӣ ва ҳамчунин ҳимояи ҳаракатоваранда ва трансмиссия аз сарборихоӣ динамикӣ мегардад.

Калимаҳои калидӣ: механизми ғашти экскаватор, трансмиссия, механизми планетарӣ, идоракунии тавоноӣ, паст намудани сарборихоӣ динамикӣ.

THE USE OF A PLANETARY MECHANISM IN THE TRANSMISSION OF CONSTRUCTION EXCAVATORS

In this article, transmission designs with planetary mechanisms are considered and proposed, in order to eliminate the main drawbacks of the running gear of construction excavators with mechanical and hydraulic drive. It is known that such disadvantages are the complexity and intermittency of power flow control during maneuvers of a mechanically driven excavator and the influence of large dynamic loads in the transmission of excavators with hydraulic drives. The design and use of such a mechanism makes it possible to simplify the control of the machine drive during its maneuvers, and to achieve a reduction in dynamic loads in the transmission of hydraulic drives. The proposed elementary designs, compared with conventional ones, have a number of significant advantages, which are: reduction in size, weight reduction and increased durability of transmissions, as well as protection of drives and transmissions from overloads when the executive body is stopped.

Введение

В современных строительных экскаваторах используются в основном механические и гидравлические гидрообъемные трансмиссии, в число которых входят гидродинамические и гидростатические. Качество управления и маневренность экскаватора во многом зависят от его типа трансмиссии.

В устройстве гидроприводов экскаваторов и её трансмиссии основную роль играют вытеснитель рабочей жидкости, такие как динамические насосы и турбины. А с помощью гидромолоты или гидротрансформатора напрямую передается мощность от электродвигателя к исполнительному органу. Это означает возможность передачи большей мощности по сравнению с другими гидравлическими трансмиссиями.

В устройстве трансмиссии механических приводов соединение и разрыв соединительного элемента кинематической цепи передачи осуществляются при достижении определенной нагрузки, которая размещена на одной из ступеней силовой передачи механизма.

Переключение передач в механических трансмиссиях осуществляется с помощью стандартной, либо автоматической или полуавтоматической коробки передач. При использовании стандартной коробки передач переключение осуществляется при полной остановке машины, а с автоматической или полуавтоматической коробкой передач это действие производится под нагрузкой, то есть без остановки машины, что считается важным процессом.

Проведенные исследования в соединительных устройствах строительных экскаваторов показали, что защита приводов и трансмиссий от динамических нагрузок является одной из актуальных задач. Эти нагрузки особенно увеличиваются по величине при режиме передачи крутящего момента от электродвигателя к исполнительному органу и стопорении исполнительного органа [1, 2, 3].

В качестве соединительных устройств, которые устанавливают на быстроходных или на тихоходных ступенях редукторов, используются муфты, и они служат для уменьшения динамических нагрузок в трансмиссии привода исполнительного органа. Иногда даже встраивают конструкции соединительных механизмов в виде планетарных в ступень силовой передачи механизма или исполнительный орган машины. Однако существующие конструкции полностью не обеспечивают поставленную задачу.

На основе анализа источников информации в области динамики приводов исполнительных органов строительных машин мною сделан вывод о том, что в качестве предохранительного устройства следует применить дополнительное устройство, содержащее планетарный механизм для механической трансмиссии и планетарный механизм с объемом гидравлической машины для гидравлической трансмиссии [4, 5, 6, 7, 8].

Метод исследования

С целью устранения главного недостатка в ходовом механизме строительного экскаватора с механическим приводом, который является сложным и прерывистым управлением потоками мощности при его маневрах, и снижения динамических нагрузок в трансмиссии гидравлических приводов рассмотрим и предлагаем для проектирования приводов ряд конструкций элементарных дифференциалов, состоящих из сателлита - g , f , эпицикла - b , b_1 и водила - H , кинематические схемы которых изображены на рисунке 1.

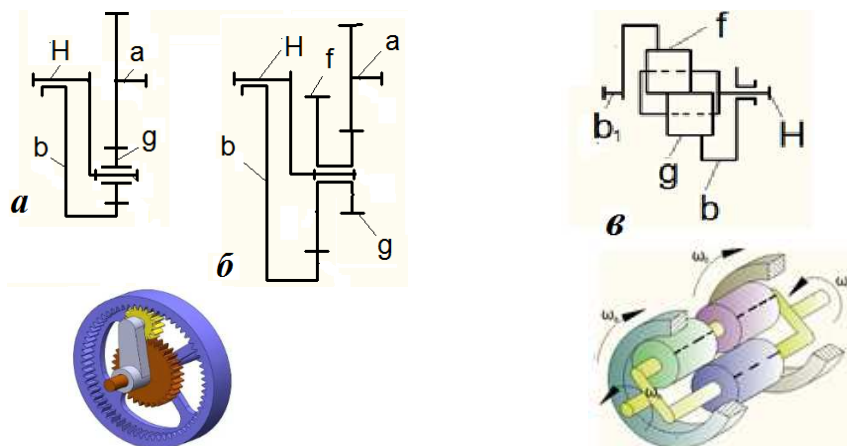


Рисунок. 1- Кинематическая схема трехзвенного дифференциала с: **а** - однорядным сателлитом g ; **б** - двухрядным сателлитом g, f ; **в** - двумя эпициклами b, b_1

Составляем кинематическое уравнение трехзвенного дифференциала с однорядным, двухрядным сателлитами (рис. 1 а, б) и с двумя эпициклами без солнечной шестерни (рис. 1 в) в зависимости от угловых скоростей их основных звеньев [9]:

$$\omega_a + (u_{aH}^b - 1)\omega_b - u_{aH}^b \omega_H = 0 \quad (1)$$

$$\omega_b + \omega_{b1} + \frac{u_{bH}^{b1}}{u_{bH}^{b1} - 1} \omega_H = 0 \quad (2)$$

где: $\omega_a, \omega_b, \omega_{b1}, \omega_H$ – угловые скорости солнечной шестерни, эпициклы и водила соответственно; u_{aH}^b – передаточное отношение валов шестерни к водиле при закреплении его на эпицикле – b на внешнем узле неподвижным; u_{bH}^{b1} – передаточное отношение валов первого эпицикла к водиле, при закреплении его на эпицикле – b_1 на внешнем узле неподвижным.

В конструкции дифференциала с отсутствием солнечной шестерни дифференциал может работать только при равенстве делительных диаметров сателлитов, и поэтому тут передаточное отношение может быть равно двум ($u_{bH}^{b1} = 2$). С учетом этого уравнение (2) принимает вид:

$$\omega_b + \omega_{b1} + 2\omega_H = 0 \quad (3)$$

С целью определения направления вращения ведомых звеньев дифференциалов проводим исследования методом по очереди закреплению его основных звеньев на внешнем узле ($\omega_H = 0$; $\omega_b = 0$; $\omega_a = 0$). Тут с учетом направления вращения ведущего звена дифференциала можно уверенно определить направление вращения его ведомого звена (см. рисунки, приведенные в табл. 1), и с учетом реверсирования движения ведущего звена можно получить несколько передач с различным кинематическим эффектом.

Таблица 1.

Вид элементарного трёхзвенного дифференциала	Схема вращения ведомого звена дифференциала при остановке:					
	Водила $\omega_H = 0$	Кинематическая уравнения дифференциала	Эпицикл $\omega_b = 0$ $\omega_{b1} = 0$	Кинематическая уравнения дифференциала	Солнечная шестерня $\omega_a = 0$	Кинематическая уравнения дифференциала
1. С солнечной шестерней: а) с 1-рядными сателлитами а) с 2-рядными сателлитами		$\omega_b = \frac{\omega_a}{1 - u_{aH}^b}$		$\omega_H = \frac{\omega_a}{u_{aH}^b}$		$\omega_b = \left(\frac{u_{aH}^b}{u_{aH}^b - 1} \right) \omega_H$
2. Без солнечной шестерни:		$\omega_b = \omega_{b1}$		$\omega_H = -\frac{\omega_{b1}}{2}$	$\omega_H = -\frac{\omega_b}{2}$	

Результаты исследования

Анализ схем трехзвенного дифференциала с солнечной шестерней свидетельствует, что направление скоростей вращения ведомых звеньев как у дифференциала с однорядными, так и с двухрядными сателлитами при заданном направлении скорости вращения ведущего звена дифференциала совпадают.

Анализ схем трехзвенного дифференциала без солнечной шестерни свидетельствует, что при изменении направления вращения ведущего звена направление вращения ведомого звена водилы меняется противоположно.

Выражая угловые скорости вращающихся звеньев дифференциала в кинематическом уравнении через их число зубьев можно определить передаточное отношение - u_{aH}^b трехзвенного однорядного дифференциала, который составляет:

$$- \text{однорядными сателлитами} - u_{aH}^b = 1 + Z_b/Z_a; \tag{4}$$

$$- \text{двухрядными сателлитами} - u_{aH}^b = 1 + Z_b/Z_f \tag{5}$$

где: Z_a, Z_b, Z_f – число зубьев солнечной шестерни, эпицикла и сателлита дифференциала, соответственно рисункам в таблице 1.

Обращая внимание на значение передаточного отношения - u_{aH}^b элементарного дифференциала, с точки зрения конструкторского соображения, надо отметить, что выход из его нижнего предела приводит к малым диаметрам размеров сателлитов, изготовление опор для подшипников качения представляется невозможным в связи с применением таких подшипников. При малых значениях передаточного отношения размещение опоры качения внутри сателлитов невозможно, приходится их размещать в водиле, а это приводит к усложнению конструкции, так как потребуется увеличение осевого размера.

В случае выхода за верхний предел величины передаточного отношения - u_{aH}^b приходится весьма уменьшить диаметр солнечной шестерни, а это в свою очередь приводит к снижению её нагрузочной способности. Кроме того, с увеличением передаточного отношения приходится увеличивать размеры сателлитов, которые осуществляют возрастание момента инерции, а это отрицательно сказывается на динамических характеристиках привода.

На основе анализа различных конструкций планетарных передач [9,10] и с учетом вышеизложенного следует, что оптимальный диапазон изменения величины передаточного отношения для трехзвенного однорядного дифференциала составляет с однорядным сателлитом $3 \leq u_{aH}^b \leq 8$, с двухрядным сателлитом $8 \leq u_{aH}^b \leq 16$.

Заключение

При проектировании трансмиссии механических и гидравлических приводов строительных экскаваторов использование конструкции элементарных дифференциалов планетарного вида в вышеупомянутых диапазонах величиной передаточного отношения является оптимальным, так как оно решает вопросы снижения динамических нагрузок в трансмиссии и упрощает управление приводом машины при его маневрах в различных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Н. Репин. Исследование надежности срабатывания защитного устройства от перегрузок для горных машин. Автореферат канд. дисс., 1968, 14с.
2. М.И. Хрисанов. Исследование и расчет основных параметров ПРПМ в подъемно-транспортных и других машинах со стопорным режимом нагружения. Автореферат докт. дисс., Львов, 1970, 24 с.
3. З. В.Ф. Сандалов. Исследование гидромеханического защитного устройства привода исполнительного органа роторного экскаватора. Канд. дисс. М.: МГИ, 1977, 143 с.
4. В.Н. Хорин. Гидропривод забойного оборудования. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1963, 408 е., с ил.
5. А.В. Топчиев, В.И. Ведерников, М.Т. Коленцев и др. Горные машины и комплексы. Изд-во «Недра», 1970, 560 с.
6. А.В. Докукин, Ю.Д. Красников, З.Я. Хургин и др. Динамические процессы горных машин. – М.: «Наука», 1972, 212 с.
7. Е.А. Этингф. Исследование динамических и энергетических характеристик объемного гидропривода роторного колеса карьерных экскаваторов. Автореферат канд. дисс., М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977, 14 с, с ил.
8. А.В. Докукин, В.М. Берман, А.Я. Рогов и др. Исследования и оптимизация гидропередач горных машин. - М.: «Наука», 1978, 196 с., с ил.
9. R. Y. Poderni and others, 1989. « Power drive for working organ of industrial machine». Australian patent AU-B-79193/87.
10. В.Н. Кудрявцев, Ю.Н. Кирдяшев. Планетарные передачи. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд - ние), 1977, 536 с., с ил.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Султонов Хайдар Назарович	Султонов Хайдар Назарович	Sultonov Khaidar Nazarovich
Н.и.т.	К.т.н.	Candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi
Sultonov-1963@mail.ru		
ORCID Id 0000-0001-6956-2384		

DIGITALIZATION AS ONE OF THE MOST IMPORTANT TOOLS TO SIMPLIFY INTERNATIONAL TRANSPORTATION OF GOODS BY ROAD

Shodiev Sorbon. M., Abdulloev M. A.

Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi

Abstract: The article discusses a topical issue - simplification of international transportation of goods by road, using new digital technologies. The essence of the Convention and the TIR system, as well as the accession of the Republic of Tajikistan are given. A brief description of the formation and development of the TIR system in the Republic of Tajikistan is given, the advantage of using this system. The importance and timeliness of the transition to eTIR, which is considered a further step in the digitalization of this system, as well as an additional means for the recovery and recovery of the country's economy during and after the pandemic, is noted. It should be noted that the IRU in this aspect plays an important role, which, in cooperation with other international and regional organizations, assists in the search for new and modern mechanisms for the harmonization and integration of activities, of the relevant state and international structures to improve and efficient transportation of goods by road. Preconditions for the implementation of the eTIR project in the Republic of Tajikistan are given. The key obstacles and bottlenecks for the implementation of the e-TIR project in the Republic of Tajikistan, as well as the tasks that need to be solved, including technical, legal and coordination, have been analyzed. In order to minimize the risks described in the article, as well as to implement the eTIR project in the Republic of Tajikistan with maximum efficiency, the authors' recommendations on overcoming the existing obstacles and difficulties are given.

Keywords: e-CMR, e-TIR, TIR-EPD, transport, international transportation, transport services, road transport, transit, trade facilitation.

РАҚАМИКУНОӢ ҲАМЧУН ОМИЛИ МУҲИМТАРИНИ СОДДА ҲАМЛУ НАҚЛИ БАЙНАЛМИЛАЛӢ ТАВАССУТИ НАКЛИЁТИ АВТОМОБИЛӢ

Аннотация: Дар мақола як масъалаи мубрами - соддагардонии ҳамлу нақли байналмилалӣ борҳо тавассути роҳи автомобилгард, бо истифода аз технологияҳои нави рақамӣ баррасӣ мешавад. Аҳамият ва муҳлатҳои гузариш ба eTIR, ки як қадами минбаъдаи рақамикунони ин система, инчунин як воситаи иловагӣ барои барқарорсозӣ дар давраи пандемия ва пас аз он ба ҳисоб меравад, кайд карда мешавад. Бояд гуфт, ки TIR дар ин самт нақши муҳим дорад, ки дар ҳамкорӣ бо дигар созмонҳои байналмилалӣ ва минтақавӣ дар сустҷӯи механизмҳои наву муосири ҳамроҳангсозӣ ва ҳамгирии фаъолият, сохторҳои дахлдори давлатӣ ва байналмилалӣ барои бехтар ва самарабахшии интизули борҳо тавассути роҳҳои автомобилгард мусоидат мекунад. Шартҳои пешаки татбиқи лоиҳаи eTIR дар Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудаанд. Монеаҳои асосӣ дар роҳи татбиқи лоиҳаи e-TIR дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, инчунин вазифаҳо, ки бояд ҳал шаванд, аз ҷумла масъалаҳои техникӣ, ҳуқуқӣ ва ҳамроҳангсозӣ таҳлил карда шудаанд. Бо мақсади кам кардани хавфҳои тавсифшуда, инчунин бо самаранокии ҳади аксар татбиқи намудани лоиҳаи eTIR дар Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияҳои муаллифон оид ба рафъи монеаҳо ва душвориҳои мавҷуда дода шудаанд.

Калидвожаҳо: e-CMR, e-TIR, TIR-EPD, нақлиёт, ҳамлу нақли байналмилалӣ, хизматрасонии нақлиётӣ, нақлиёти автомобилӣ, транзит, соддагардонии тичорат.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ОДИН ИЗ НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРОЩЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Аннотация: В статье рассматривается актуальный вопрос - упрощение международных перевозок грузов автомобильным транспортом с использованием новых цифровых технологий. Дано краткое описание становления и развития системы TIR в Республике Таджикистан, преимущества использования данной системы. Отмечается важность и своевременность перехода на eTIR, который считается дальнейшим шагом в цифровизации этой системы, а также дополнительным средством для оздоровления и подъема экономики страны во время и после пандемии. Следует отметить, что важную роль в этом аспекте играет IRU, который во взаимодействии с другими международными и региональными организациями оказывает помощь в поиске новых и современных механизмов гармонизации и интеграции деятельности соответствующих государственных и международных структур. улучшить и повысить эффективность перевозки грузов автомобильным транспортом. Приведены предпосылки для реализации проекта eTIR в Республике Таджикистан. Проанализированы ключевые препятствия и уязвимые места для реализации проекта e-TIR в Республике Таджикистан, а также задачи, которые необходимо решить, в том числе технические, юридические и координационные. В целях минимизации описанных в статье рисков, а также реализации проекта eTIR в Республике Таджикистан с максимальной эффективностью даны авторские рекомендации по преодолению существующих препятствий и трудностей.

Ключевые слова: e-CMR, e-TIR, TIR-EPD, транспорт, международные перевозки, транспортные услуги, автомобильные перевозки, транзит, упрощение процедур торговли.

INTRODUCTION

Currently, several transport corridors of international importance flow through the Republic of Tajikistan, but it is worth noting that most transport companies transport goods bypassing the Republic of Tajikistan due to the lack of harmonized regulatory rules and procedures. The task is to attract additional flows of transport companies, thereby ensuring, along with a developed infrastructure, the introduction of modern digital technologies, safety standards, quality and transparent procedures.

One of the key tasks until 2025 in accordance with the State Target Program for the Development of the Transport Complex of the Republic of Tajikistan is to properly ensure the competitiveness of domestic transport and communication complexes in the world market and increase trade flows through the country.

Currently, over 71 countries of the world are members of the TIR Convention and use the TIR system as the international system for customs transit with the largest geographic coverage. The TIR procedure, like other customs transit rules and procedures, makes it possible to transport goods using customs control across international borders without paying duties and taxes that are usually imposed on imports and exports. One of the main conditions of the TIR system is that the carriage of goods will be carried out by road transport.

Goods that are transported from one point to another point of destination under the international customs transit document TIR Carnet provide a financial guarantee for the payment of duties and taxes in the country of the importing cargo in the event that the vehicle crosses the border, but for some reason does not deliver the cargo to destination and do not clear customs. The guarantee system is administered by an international organization that is currently the IRU - IRU. For 70 years now, the TIR Convention has proven its effectiveness with millions of transports carried out. Under this Convention, one hundred parties to the IRU have developed new electronic products to facilitate transit and trade.

The functioning of the TIR system in the Republic of Tajikistan

Customs Convention on the International Carriage of Goods under the Application of TIR Carnets (TIR Convention), adopted in 1975. (as currently applied) is a fundamental instrument that facilitates the international transport of goods by road and facilitates world trade. It establishes international principles for the actions of both the public and private sectors, which guarantees parity and uniform rules for all participants, in any country that is a signatory of the TIR Convention. The main advantages of the TIR system are transparency, uniform standards that have been worked out over many years, a guarantee for the customs structures of the signatory states that in case of a violation during a TIR transport, all the required amounts will be reimbursed within the maximum guarantee for the TIR Carnet, simplification and acceleration procedures of customs formalities, with reduced risk, as well as the international recognition of this system as one of the most convenient and functional.

The Republic of Tajikistan joined the TIR Convention (1975) in 1996 on the basis of the Resolution of the Government of the Republic of Tajikistan No. 123 of March 26, 1997, "On measures to develop and improve the organization of international road transport in the Republic of Tajikistan." The competent authority for the TIR Convention (1975) on the territory of the Republic of Tajikistan on the basis of the Decree of the Government of the Republic of Tajikistan (dated January 6, 1997, No. 23 - "On the determination of international road freight carriers of Tajikistan to ensure the implementation of the International Road Transport System (TIR) in Republic of Tajikistan) is the Association of International Road Carriers of the Republic of Tajikistan (ABBAT). According to the "Regulations on the Procedure for the Application of the Customs Convention on the International Carriage of Goods under the Application of TIR Carnets, on a practical level, the conditions and procedures for the application of the TIR Convention were determined, both by carriers - Holders of TIR Carnets and the customs authorities responsible for their control and proper registration. Thus, by the end of 1996, on the territory of Tajikistan there were all the conditions necessary for the proper functioning of the TIR System.

According to the official statistics of the International Road Transport Union - an international organization responsible for the effective organization and functioning of the international guarantee system under the TIR Convention (1975), as well as the centralized distribution and control of TIR Carnets - over the past five years (at the end of 2019), the Association ABBAT has increased the volume of used TIR Carnets.

All the above testifies to the constant expansion of the application of the TIR System in Tajikistan, as well as the growing interest in it on the part of road transport companies as a tool to facilitate international road transport of goods. This is also due to the fact that the Republic of Tajikistan, as a landlocked country, is actively developing land transport corridors designed to ensure efficient and diversified trade with external partners and access to world markets. This approach, as well as the desire to increase the export potential of goods produced in Tajikistan, stimulates the reduction of transport costs and other associated costs arising in the process of international trade, during which road transportation of goods is actively involved. The TIR system is one of the components of the development of the greater attractiveness of these land corridors.

The importance and convenience of the TIR System has been particularly noticeable during the current COVID-19 coronavirus pandemic, which has been repeatedly emphasized by international organizations. The move to eTIR can be not only a further step in the digitalization of the system, but also an additional means of helping the global economy recover after the pandemic is over. In this aspect, the IRU plays an important role and its interaction with other international players in the search for common approaches that allow the formation of harmonized, integrated solutions for the transport of goods by road.

Prerequisites for the implementation of the eTIR project in the Republic of Tajikistan

The key factors for the implementation of the eTIR project in the Republic of Tajikistan, in addition to the direct active development of the TIR System, are:

1. Active development of road transport in Tajikistan in general, as well as close attention to this sector of the economy on the part of the state;
2. Favorable geographical position of Tajikistan, through which a number of important international transit routes pass in the direction from China-Russia-Kazakhstan in the direction of Afghanistan-Turkmenistan-Iran-Turkey, as well as in the direction of the countries of the Middle East and the EU;
3. Active introduction of modern digital technologies related to the TIR System.

The transport industry, along with the construction sector, agriculture and processing industry, are the key drivers of the economic development of the Republic of Tajikistan.

In the field of transport, and road transport, in recent years, colossal reforms have been carried out in the country aimed at strengthening it everywhere and increasing its productivity. The result of these reforms is the increase and modernization of the rolling stock of national road carriers, the expansion of benefits provided to road transport companies, the creation of conditions for diversifying foreign trade routes.

An important factor for the implementation of the eTIR project in Tajikistan is also the technical readiness of all parties for its full implementation. The Customs Service under the Government of the Republic of Tajikistan, together with the International Union of Road Transport and the ABBAT Association in Tajikistan, implemented the TIR-EPD and RealTime SafeTIR (RTS) systems, which create the basis for interaction (customs-customs, customs-carrier) for the eTIR system. This became possible since the Customs Service at that time had long and successfully operated the "Unified Automated Information System (UAIS)", linking absolutely all stages of customs control by the Customs Union, as well as integrating various other functions (including control over risks) required in customs activities. In addition, this system ensures the functioning of communication between the central office of the CU and all regional customs offices / posts in the Republic of Tajikistan in real time, which is a prerequisite for the timely control of processes through the eTIR system. Thus, in 2019, the main digital components of the future eTIR system were laid. Since the implementation of the TIR-EPD system and RealTime SafeTIR in Tajikistan, the transfer of data on the termination of the TIR procedure by the customs authorities, in accordance with Appendix 10 to the TIR Convention (1975), has been organized as fully and promptly as possible, which indicates the integration of internal customs procedures with electronic components and automation of the applied processes.

Analysis of key obstacles and bottlenecks for the implementation of the e-TIR project, as well as the availability of the necessary documents / infrastructure

Despite the very dynamic and positive development of the TIR System, the implementation of the eTIR project involves the solution of certain complex tasks and the fulfillment of a number of conditions for its successful launch, which include technical, legal and coordination aspects.

Technical aspects:

1. Implementation of all necessary modules into the internal systems of the Customs Service and the ABBAT Association, allowing the transmission of a complete package of messages required for the implementation of the eTIR project.
2. Testing these modules and the messages they transmit for all possible eTIR transport scenarios (including force majeure, message rejection, request for additional information, etc.) between all parties in a test environment.
3. Conducting primary (trial) tests in a production environment with confirmation of the correct and complete exchange of all necessary data in real time.

Legal aspects:

For the normal operation of the eTIR system, a basic set of documents between the parties is required, which provides a legal framework for their interaction, in which the guarantee coverage will be provided not by a paper document of a standard model - a TIR Carnet, but by a certain set of messaging. This set of documents will form a practical legal environment within which the parties will be able to solve the same issues and follow the same logic of the processes that are currently taking place when using a paper TIR Carnet. These documents include:

1. Addendum to the guarantee agreement between ABBAT and the Customs Service. This addition is necessary to ensure coverage of the guarantee of electronic messages of a certain format transmitted to the Customs Service by the ABBAT Association and received by the Customs Service, as well as to determine the practical environment for interaction between the parties in the event of claims from the Customs Service.
2. Supplement to the act-obligation of the Association to the IRU, establishing the necessary procedures for working with electronic guarantees and Holders using them;
3. Addendum to the Declaration of Commitment of the TIR Carnet Holder to the Association, describing the mandatory control measures that should be followed by the Holder using electronic guarantees.
4. Addition to the act of the IRU's obligation to the Association, establishing the necessary procedures for dealing with electronic guarantees and Associations using them.

Coordination aspects:

The implementation of any complex goals / projects involving multiple parties requires very good and well-coordinated coordination. This applies even more to the eTIR project, since all stages of its preparation and implementation are tied to several parties involved, each of which is responsible for a certain part of the work. Taking into account the fact that in each of the above parties, more than one person (and sometimes several different departments) is usually responsible for the implementation of the project, this interaction is also

complicated by the internal procedures in the organizations involved themselves. Thus, the coordination aspect is one of the most difficult (in procedural terms) of those listed above and requires special attention, since it is highly susceptible to the "human factor". The coordination aspect includes procedures for the preparation and training of the necessary personnel among all parties who will be involved in the implementation of the project. For all the seeming simplicity, it is the coordination aspect that poses the greatest risks, since, in addition to its own value, it also directly affects the fulfillment of the conditions prescribed by the technical and legal aspects.

Any of the above points, not performed or performed inappropriately, may carry risks for the project, which can be summarized as follows:

Aspect	Risks
Technical	Failure to implement the implementation of the necessary modules in the internal systems of the Customs Service / ABBAT
	Incomplete testing of scenarios of possible interactions in a test / production environment
	Deviation of test results in production environment compared to test environment
	Technical unavailability / underdevelopment of the working environment for interaction across the entire volume of transmitted messages
	Delaying deadlines for completing all works on the technical aspect
Legal	Failure to sign the necessary documents by the parties involved
	Long-term approval of documents and delay in the terms of their signing
Coordinating	Non-professional coordination between the parties
	Delaying the terms of negotiations / responses from the parties on the discussed issues of project implementation
	Transfer of incomplete / inaccurate information from one side to the other according to the degree of readiness of the project implementation
	Lack of awareness / poor awareness of one party about the results of coordination, activities by other parties on project implementation

Suggested Recommendations for Overcoming Certain Barriers

To minimize the above risks, as well as implement the project with maximum efficiency, the following measures are proposed:

1. Creation of a unified action plan covering the stages of the project with the responsible parties involved in the project;
2. Appointment of competent persons responsible for the coordination of the implementation of the above action plan from each party involved;
3. Planning and coordination of actions to be performed at the internal level in the parties involved and operational interaction with other parties involved in the event of any difficulties / problems in this aspect to ensure a unified approach in terms of timing and stages of implementation;
4. Tracking progress on the above action plan by all parties involved with constant control of the quality of the work performed and the timing (which are determined and promptly regulated by the parties involved) of their implementation;
5. Conducting regular coordination negotiations (by phone, online communication, e-mail correspondence) between designated competent persons from the parties involved to identify emerging problems and their solutions. During the selected periods (week, ten days of the month) - holding coordination meetings to clarify the overall progress in the implementation of the project and the timeliness of the implementation stages. Constant feedback from the parties involved in case of any problems / shortcomings in the project, the solution of which is outside their competence;
6. Implementation of an off-site event at the selected checkpoint (between Tajikistan and Uzbekistan) under the project with the presence of experts from the parties to monitor traffic through the eTIR system, the procedures used and transmitted electronic messages from the customs authorities;
7. Implementation of the project in 3 phases:
 - a) Carrying out transportations with a regular paper TIR Carnet with the parallel application of eTIR messaging to track the correctness and completeness of transmitted messages in the working environment and eliminate possible deficiencies / errors;
 - b) Carrying out transportations under the eTIR system, in which the carriers participating in the project, in addition to the standard exchange of electronic messages, will use a document imitating a real TIR Carnet.
 - c) Conducting eTIR shipments without duplicate documents, exclusively using the exchange of electronic messages.

This three-phase approach will allow you to gradually abandon the paper medium, with constant monitoring of the completeness and quality of transmitted messages in the working environment. At the same time, it will allow you to quickly eliminate emerging technical problems and, due to the presence of a duplicate document at the first two stages, to continue transportation even despite the obstacles that have arisen.

Proposed corridor for the eTIR project: selection criteria, economic viability, and its prospects

To build a working corridor for the eTIR project, the following is required:

1. Countries included in such a corridor must have contiguous customs borders;
2. Countries must have the necessary technical infrastructure to enable them to initiate such transport (they must have all the necessary systems and messaging in place to enable the launch of eTIR);
3. Countries (representatives of their competent / authorized bodies) should express their consent / interest to participate in such a project.

Based on the above objective factors, the only suitable partner of the Republic of Tajikistan for building an operating eTIR corridor is the Republic of Uzbekistan, which has the longest border with Kazakhstan, has the necessary technical infrastructure, and has also expressed interest in the implementation of such a project.

The rest of the countries that have a neighboring territory with Tajikistan (Kyrgyzstan, Afghanistan, China) either do not have the necessary technical infrastructure (or do not have it in full) or have not expressed interest in participating in the project.

At the same time, Uzbekistan is an extremely important partner of Tajikistan in trade and transport routes.

Despite the change in the countries included in the largest export / import directions using TIR Carnets, in comparison with similar ones from among the largest trading partners or those to which delivery by road is generally carried out in general - Uzbekistan, is still among the most important partners. Likewise, among the largest destinations for TIR transport are Russia, the EU countries and the TRACECA countries - delivery to which is also carried out by transit routes through the territory of Uzbekistan.

In summary, the following conclusions can be drawn as to why Uzbekistan is the most profitable and promising partner in the implementation of the eTIR project together with Tajikistan:

1. This country is in the neighborhood with the Republic of Tajikistan and has the longest border with the Republic of Tajikistan, as well as the largest number of checkpoints through it with international status.
2. Uzbekistan has the proper technical infrastructure for the implementation of the project and the necessary support from the competent state authorities wishing to implement the project.
3. Uzbekistan is an important, strategic trade and transport partner of Tajikistan, with which there is not only effective bilateral trade, but also through the territory of which the main transport corridors go for the delivery of goods to / from third countries.

The implementation of the eTIR project with Uzbekistan will allow, in the future, to connect such countries as China, Russia and Azerbaijan (across the Caspian Sea) to the corridor, which ensures effective interfacing with the largest trading partners of Tajikistan, as well as access to promising markets (EU, Middle East countries), those. provides the greatest efficiency in building diversified routes for the delivery of goods and intercountry / regional interface.

In support of the above, the Customs Service under the Government of the Republic of Tajikistan has sent a letter to the IRU about their interest in participating in pilot shipments using the eTIR system.

eTIR Roadmap for the implementation of the eTIR corridor

The draft roadmap for the implementation of the eTIR corridor reflects only those aspects and parties that are involved in its launch by the Republic of Tajikistan (in direct cooperation with the IRU). The success of the project along the corridor as a whole also depends on how similar steps will be implemented in the Republic of Uzbekistan.

CONCLUSIONS

It is obvious that further trade facilitation within the framework of agreements already signed can only be achieved through the proper application of TIR procedures for the movement of goods in the territory of the countries parties to the TIR Convention and making them available for the carriage of goods between the participating countries, as a result of which the economic efficiency of the TIR system will continue benefit the transport and economies of the member states of the TIR Convention. In addition, it is clear from the example of many countries that IT tools for TIR management, and e-TIR, TIR-EPD, act as a catalyst for the simplification and security of TIR procedures, as well as facilitation of trade and transit procedures.

Indeed, modern information and communication technologies can significantly contribute to making customs operations more efficient and efficient. The introduction of IRU IT tools, including e-TIR, TIR-EPD, within the framework of the signed agreements, will allow the customs authorities to take advantage of new technologies and modernize their management systems in line with modern trends. The IRU, together with its member

associations, intend to actively work with the competent authorities, the WCO Commission and the EurAsEC to ensure the proper functioning of the TIR system within the framework of the signed agreements.

Reference

1. Road Transport of Tajikistan IRU Blue Book, Dushanbe 2007.
2. Analysis "Problems of international cargo transportation within Central Asia and the CIS countries" L. Kislyakova 2016 (GIZ)
3. Evseeva, A.A. International transportation: a practical guide / A.A. Evseeva, E.V. Sarafanova [Text]. - Rostov n / a: Phoenix, 2011 - 413 p.
4. Economic Commission for Europe: International Trade Facilitation Measures, Recommendation 18 // United Nations Economic Commission www.unece.org/fileadmin/DAM/cefact/recommendations/rec18/rec18_ecetrd271r.pdf
5. European Economic Commission. UN Layout Key for Foreign Trade Documents. Guidelines for application
6. Measuring and Monitoring the Performance of CAREC Corridors (2014) ADB UNECE Conventions and Agreements: Benefits, Obligations, Procedures // International Union of Road Transport
7. Kulipanova E. International transport in Central Asia: understanding of trends in cooperation. - 2013.
8. International Convention on the Harmonization of Frontier Control of Goods (October 21, 1982, Geneva, Switzerland).
9. M. Bekmagambetov, "Prospects for cooperation and coordination of efforts of international organizations and national governments in the implementation of transport projects in the Central Asian region.", 2010, Almaty Kazakhstan
10. "Assessment of foreign economic activity procedures by business entities of CA countries". Z-Analytics Tajikistan in the framework of the GIZ Program "Facilitating Regional Trade in Central Asia". 2019, Dushanbe, Tajikistan
11. Best Practices at Border Crossing Points: Trade and Transport Facilitation. OSCE Handbook - UNECE. // Organization of security and Cooperation in Europe [Electr. resource] - 2012 - Mode of access: www.osce.org/ru/eea/99872?download=true - Date of access: 05/07/2013.
12. Statistical Yearbook of the Republic of Tajikistan 2015, 2016, 2017, 2018, 2019. Publisher: Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan Publishing House LLC "Torus", pp. 20-476.
13. Trade facilitation implementation guide. Unece with UNCEFACT <http://tfig.itcilo.org/contents/org-unece-with-uncefact.htm> - Date of access: 05/06/2013.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Шодиев Сорбон Мухаммадҷонович	Шодиев Сорбон Мухаммадҷонович	Sayrahmonov Rahimjon Huseynovich
Унвонҷӯи кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ»	соискатель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»	Applicant of the department "Operation of road transport"
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
sho-sorbon@mail.ru		
TJ	RU	EN
Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек	Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек	Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek
н.и.т., дотсент,	к.т.н., доцент	Ph.D., associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осими	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
mamadamonabdullo@ttu.tj		
ORCID Id 0000-0002-6253-5946		

СОҲТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК 624.042

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ С УЧЁТОМ РАБОТЫ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР

Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков, И.К. Каландарбеков

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

Аннотация. В статье изложены результаты расчёта, полученные на основе разработанной математической модели здания с учётом и без учёта работы сейсмоизоляции. На основе прямого метода численного интегрирования проведены исследования свободных и вынужденных колебаний динамической модели многоэтажного здания. Приводятся результаты численных решений линейной и нелинейной работы сейсмоизолирующих опор на основе модели Bouc-Wen. Нелинейное дифференциальное уравнение решается численным методом Рунге-Кутты. Представлены результаты численных экспериментов сейсмоизолированного здания от действия акселерограмм землетрясений.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, сейсмозащита, суперструктура, восстанавливающая сила, гистерезисная модель Bouc – Wen, резинометаллические опоры, вязкое затухание, синтезированная акселерограмма, межэтажный сдвиг.

МОДЕЛКУНОНИИ МАТЕМАТИКИИ БИНОҶО БО БАҲСОБИРИИ КОРИ ТАКЯГОҶОИ РЕЗИНОФИЛИЗӢ

Аннотатсия. Дар мақола натиҷаҳои ҳисоб дар асоси модели математикӣ коркард шудаи бино бо дарназардошти кори маҳдудкунакҳои сеймикӣ ва бе баҳисобгирӣ онҳо бадаст оварда шудааст. Дар асоси методи ростии интегратории ададӣ таҳқиқоти лапшишҳои озод ва маҷбурии модели динамикии бинои бисёршӯна гузаронида шудааст. Натиҷаҳои ҳалли ададии кори ҳатти ва ғайриҳаттии такаҷоҳҳои резинифилизӣ дар асоси модели Bouc-Wen оварда шудааст. Муодилаи дифференсиалии ғайриҳаттӣ бо методи ададии Рунг-Кутта ҳал карда мешавад. Натиҷаҳои эксперименти ададии биноҳои дорои ҷудокунакҳои сеймикӣ аз таъсири акселерограммаи заминҷунбӣ оварда шудааст.

Калид вожаҳо: ҷудокунакҳои сеймикӣ, ҳифзкунакҳои сеймикӣ, суперструктура, қувваи барқароркунанда, модели гистерезисии Bouc – Wen, такаҷоҳҳои резинифилизӣ, саҳтии чандирӣ, ҳомушавии часпанда, акселерограммаи сунъӣ, шитоб, ғеҷиши байнишӯнаӣ.

MATHEMATICAL MODELING OF BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE WORK OF RUBBER-METAL SUPPORTS

Annotation. The article presents the results of the calculation obtained on the basis of the developed mathematical model of the building with and without taking into account the work of seismic isolation. Based on the direct method of numerical integration, studies of free and forced oscillations of a dynamic model of a multi-storey building were carried out. The results of numerical solutions of linear and non-linear operation of seismic isolation supports based on the Bouc-Wen model are presented. The nonlinear differential equation is solved by the Runge-Kutta numerical method. The results of numerical experiments of a seismically isolated building from the action of earthquake accelerograms are presented.

Keywords: seismic isolation, seismic protection, superstructure, restoring force, Bouc-Wen hysteresis model, rubber-metal bearings, elastic stiffness, viscous damping, synthesized accelerogram, accelerations, floor shift.

Введение

Необходимо отметить, что человечество не в силах предотвратить землетрясения. Однако это вовсе не значит, что мы не можем устранить их катастрофические последствия. Чтобы исключить опасные последствия землетрясения, следует возводить такие здания, которые устояли бы при сильных колебаниях поверхности земли без серьезных повреждений.

Вопросы обеспечения сейсмостойкости сооружений и безопасности проживания людей на сейсмически активных территориях являются актуальными. Проблема защиты зданий и сооружений от сейсмических нагрузок является задачей первостепенной важности. Следует совершенствовать методы расчёта с учётом разработки новых математических моделей зданий и воздействий. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты зданий и сооружений является сейсмоизоляция. Данный способ сейсмозащиты предусматривает снижение сейсмических нагрузок на сооружения за счёт регулирования их динамических характеристик во время колебательного процесса при землетрясениях.

Вопросами исследования систем активной сейсмозащиты зданий и сооружений занимались такие учёные как Я.М. Айзенберг, Т.Ж. Жунусов, А.В. Дукарт, Л.Ш.Килимник, Б.Г. Коренев, А.М. Курзанов, О.В. Мкртычев, Низомов Д.Н., С.В. Поляков, Ю.Л. Рутман, О.А. Савинов, В.И. Смирнов, А.М. Уздин, Ю.Д. Черепинский, R.I. Skinner, W.N. Robinson, J.M. Kelly, A.K. Chopra, I. Hirokazu и другие.

Главная идея сейсмоизоляции состоит в том, чтобы увеличить основной период свободных колебаний здания и выйти из области преобладающих периодов сейсмических воздействий. Наиболее эффективным

способом сейсмоизоляции считается использование резинометаллических опор (РМО) [1,2]. РМО [1] представляют собой слоистые конструкции из поочерёдно уложенных друг на друга листов натуральной или искусственной резины. Внутренние слои резины толщиной от 3.0 до 8.0 мм со стальными пластинами толщиной от 1.5 до 4.0 мм. Количество слоёв резины может быть от 20 до 40, количество стальных пластин от 19 до 39. Верхняя и нижняя соединительная пластины РМО изготавливаются толщиной 10 – 40 мм и необходимы для крепления к фундаменту и надпорным конструкциям [2]. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают особую эффективность сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор [1-6].

Анализ имеющихся патентов, статей и публикаций по данной теме показывает, что полученные в результате проведённых теоретических и экспериментальных исследований сейсмоизолированных конструкций данные ещё не достаточны, чтобы делать окончательные выводы об их эффективности и надёжности.

На основе вышеизложенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее важным направлением современной науки о сейсмостойком строительстве становится разработка способов сейсмозащиты и расчётной оценки их эффективности на основе различных математических моделей систем «сооружение - изоляция - фундамент - основание» с учётом характера сейсмического воздействия в форме инструментальных записей землетрясений.

Теория

Рассмотрим математическую модель здания, которая состоит из субструктуры, системы сейсмоизоляции и суперструктуры. Уравнение движения суперструктуры представляется в матричной форме

$$M_S \ddot{W}_S + C_S \dot{W}_S + K_S W_S = -M_S I (\ddot{z}_g + \ddot{w}_b), \quad (1)$$

где:

M_S, C_S, K_S – диагональная матрица масс, матрицы затухания и жёсткости;

$W_S = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$, \dot{W}_S , \ddot{W}_S – векторы относительных смещений, скоростей и ускорений;

\dot{w}_b, \ddot{z}_g – относительное ускорение массы фундаментной плиты m_b и ускорения грунта соответственно;

I – единичный вектор.

Уравнение движения массы опорной части m_b представляется в виде

$$m_b \ddot{w}_b + f_b - k_1 w_1 - c_1 \dot{w}_1 = -m_b \ddot{z}_g, \quad (2)$$

здесь:

f_b – восстанавливающая сила сейсмоизоляции;

k_1, c_1 – коэффициенты жёсткости и демпфирования первого этажа.

Динамическое поведение сейсмоизолирующих опор в виде графика зависимости восстанавливающей силы от смещения обычно аппроксимируется либо билинейной, либо эквивалентной линеаризованной моделями. Гистерезисная модель Bouc – Wen [7,8] математически описывает динамическое поведение механической системы, согласно которой восстанавливающая сила в резинометаллических опорах определяется по формуле

$$F_b = c_b \dot{w}_b + \alpha k_b w_b + (1 - \alpha) F_y z, \quad (3)$$

где:

F_y – предел текучести, при которой жёсткость переходит от упругой к пластической стадии;

$\alpha = k_f / k_i$ – отношение жёсткостей;

k_b – начальная жёсткость опоры;

C_b — коэффициент вязкого демпфирования;

Z — безразмерный гистерезисный компонент смещения, удовлетворяющий нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка

$$w_y \dot{z} = A \dot{w}_b - \beta |\dot{w}_b| |z|^{n-1} z - \gamma \dot{w}_b |z|^n. \quad (4)$$

Здесь:

w_y — смещение текучести;

β, γ, A — безразмерные параметры, выбранные таким образом, чтобы

график функции $F_b = f(w_b)$, полученный из (3) и (4), совпадал с

экспериментальными данными;

n — целое число, которое контролирует плавность перехода от упругой стадии к пластической.

Если учесть, что $z = |z| \cdot \text{sgn}(z) | \dot{w}_b | = w_b \cdot \text{sgn}(z)$, то уравнение (4) можно представить в виде

$$\dot{z} = \dot{w}_b \left\{ A - |z|^n [\beta \cdot \text{sgn}(\dot{w}_b) \cdot \text{sgn}(z)] + \gamma \right\} / w_y, \quad (5)$$

где:

$\text{sgn}(z)$ - функция знака: $\text{sgn}(z) = 1, 0, -1$ при $z > 0, z = 0, z < 0$

соответственно.

Нелинейное дифференциальное уравнение (5) решается численным методом Рунге–Кутта 4 – го порядка:

$$\begin{aligned} k_1 &= \dot{w}_{bi} \left\{ A - |z_i|^n [\beta \cdot \text{sgn}(\dot{w}_{bi}) \cdot \text{sgn}(z_i)] + \gamma \right\} / w_y, \\ k_2 &= \dot{w}_{bi} \left\{ A - |z_i + hk_1 / 2|^n [\beta \cdot \text{sgn}(\dot{w}_{bi}) \cdot \text{sgn}(z_i + hk_1 / 2)] + \gamma \right\} / w_y, \\ k_3 &= \dot{w}_{bi} \left\{ A - |z_i + hk_2 / 2|^n [\beta \cdot \text{sgn}(\dot{w}_{bi}) \cdot \text{sgn}(z_i + hk_2 / 2)] + \gamma \right\} / w_y, \\ k_4 &= \dot{w}_{bi} \left\{ A - |z_i + hk_3|^n [\beta \cdot \text{sgn}(\dot{w}_{bi}) \cdot \text{sgn}(z_i + hk_3)] + \gamma \right\} / w_y, \\ z_{i+1} &= z_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6, \quad i = 0, 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (6)$$

где:

h — шаг интегрирования.

Восстанавливающая сила, соответствующая моменту времени t_i , представляется в виде

$$f_{bi} = c_b \dot{w}_{bi} + \alpha k_b w_{bi} + (1 - \alpha) f_y z_i. \quad (7)$$

Согласно [3] нелинейный закон изменения восстанавливающей силы может быть заменён эквивалентной линейной модели на основе эффективной упругой жёсткости и эффективного вязкого затухания

$$f_b = k_{eff} w_b + c_{eff} \dot{w}_b, \quad (8)$$

$$k_{eff} = k_2 + f_0 / \Delta_2, \quad c_{eff} = 2\xi_{eff} M \omega_{eff}, \quad \omega_{eff} = 2\pi / T_{eff}, \quad T_{eff} = 2\pi \sqrt{N / k_{eff} g},$$

здесь:

M — масса суперструктуры;

$N = Mg$, ξ_{eff} , T_{eff} — эффективные коэффициент затухания и основной период свободных колебаний изоляции.

Для численного моделирования задачи по определению сейсмической реакции суперструктуры, векторы скоростей и ускорений в (1) и (2) аппроксимируются выражениями.

$$\ddot{W}_i = \frac{\alpha_1}{\tau_i^2}(W_i - W_{i-1}) - \frac{\alpha_2}{\tau_i}\dot{W}_{i-1} - \alpha_3\ddot{W}_{i-1}, \quad (9)$$

$$\dot{W}_i = \frac{\beta_1}{\tau_i}(W_i - W_{i-1}) - \beta_2\dot{W}_{i-1} - \tau_i\beta_3\ddot{W}_{i-1}, \quad (10)$$

где:

τ_i – шаг интегрирования на отрезке времени $[t_{i-1}, t_i]$;

α_j, β_j – коэффициенты аппроксимации [9].

Внося (9) и (10) в (1) и (2), получим систему алгебраических уравнений, которая решается на каждом шаге итерационным методом Зейделя.

Результаты и обсуждения

Пример расчёта. Рассматривается 10-этажное каркасное здание размерами в плане 36×18м,

сеткой колонн 6×6 м, высота этажа $h = 3$ м (рис. 1). Сечение колонн – 0.5×0.5 м, сечение ригелей – 0.3×0.45 м, толщина плит – 0.2м.

$$k_0 = 12 \times EJ / h^3 = 12 \times 2 \cdot 10^6 \times 9.81 \times 0.5 \times 0.5^3 / (12 \times 3^3) = 45416.7 \text{ кН/м};$$

$$k_i = 28 \times k_0 = 1271666.7 \text{ кН/м};$$

$$m_b = m_{10} = 481,87 \text{ т}; m_1 = m_2 = \dots = m_9 = 508.125 \text{ т};$$

$$\omega_i = \sqrt{k_i / m_i} = \sqrt{1271666.7 / 508.125} = 50.02 \text{ 1/с};$$

$$c_i = 2\xi\omega_i m_i = 2 \times 0.05 \times 50.02 \times 508.125 / 9.81 = 259.12 \text{ кН}\cdot\text{с/м};$$

$$M = 9 \times 508.125 + 2 \times 481.785 = 5536.69 \text{ т}; N = 54314.98 \text{ кН};$$

Шаг интегрирования $\tau = 0,001$ с. Для изоляции здания используются 28 РМО типа SI-H 500/102 фирмы «FIP Industriale» [4].

Параметр затухания для суперструктуры $\xi = 0.05$, а для изоляции $\xi_{eff} = 0.1$. В качестве сейсмических воздействий использованы акселерограммы землетрясений El Centro (1940) и синтезированная акселерограмма SA-482 с пиковыми ускорениями 0,31g и 0,4g соответственно.

Сопоставление результатов ускорений покрытия здания, полученных при линейной аппроксимации восстанавливающей силы в зависимости от горизонтального смещения сейсмоизоляции, представлено на рис. 2.

Необходимо отметить, что в обоих случаях сейсмического воздействия, максимальное ускорение в сейсмоизолированной модели (кривая 2) уменьшается примерно в 4 раза по сравнению с моделью без сейсмоизоляции (кривая 1).

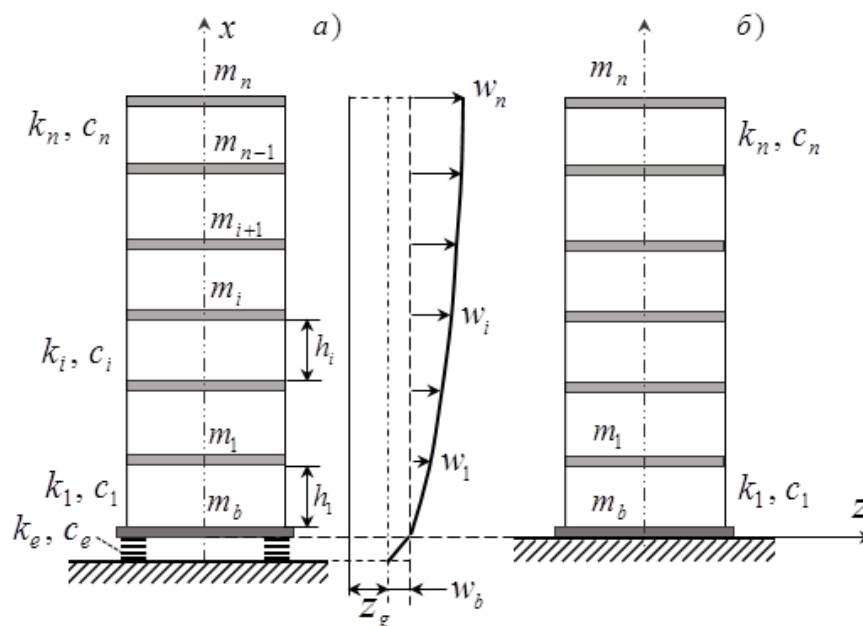


Рисунок 1. Динамическая модель здания: а – с сейсмоизоляцией, б – без сейсмоизоляции

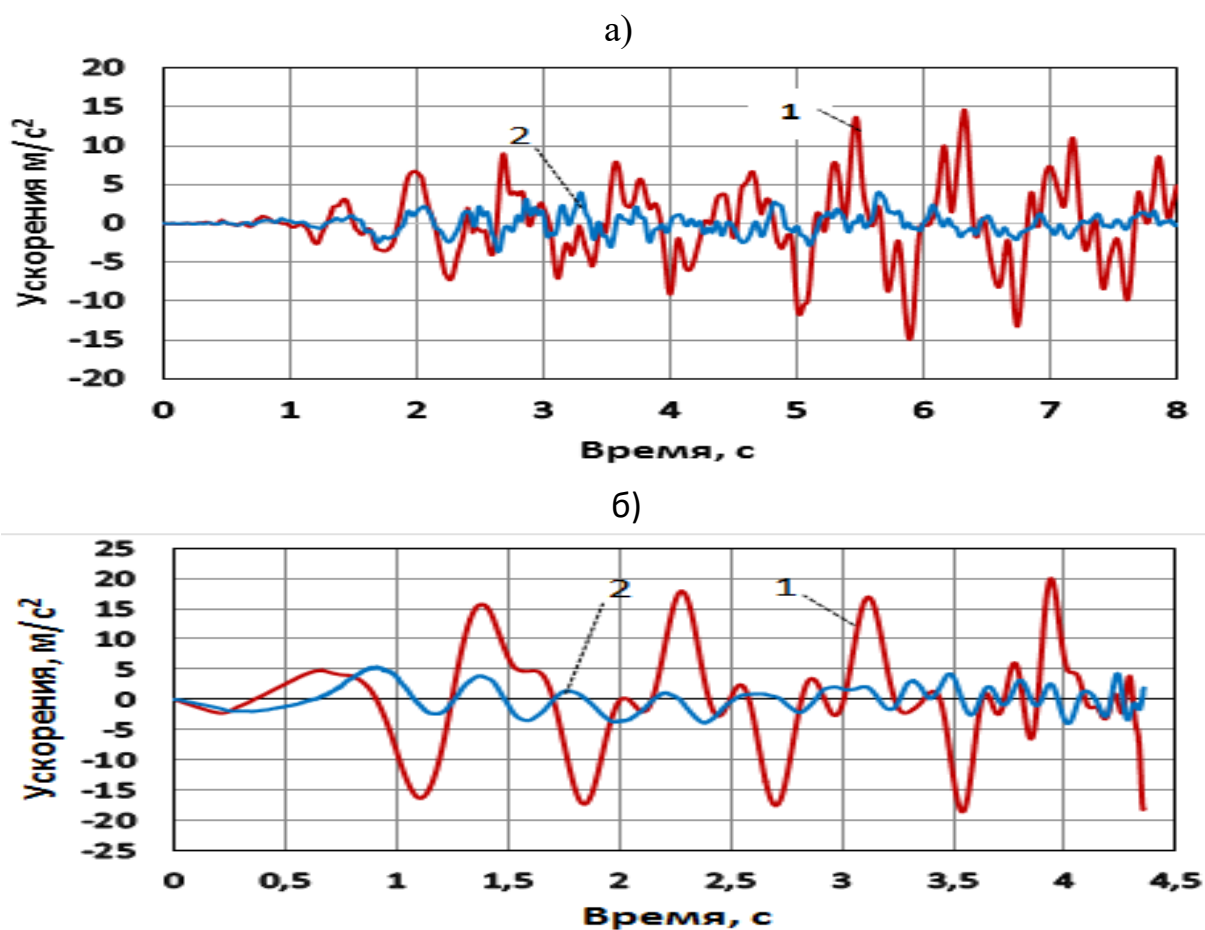


Рисунок 2. Графики изменения ускорения $\ddot{w}_{10}(t_i)$ при различных воздействиях: а – El Centro, б – CA – 482, 1– фиксированная суперструктура, 2– изолированная суперструктура

Вывод

Разработаны математическая модель и компьютерная программа, которые позволяют исследовать напряжённо-деформированное состояние модели сейсмоизолированного здания при линейной работе резинометаллических опор. Полученные результаты численного моделирования на основе разработанных алгоритмов и программ подтверждают эффективность сейсмоизолирующих резинометаллических опор. Показано, что использование сейсмоизоляции приводит к значительному уменьшению ускорения и относительного межэтажного сдвига, но при этом увеличивается абсолютное перемещение здания по сравнению со зданием без сейсмоизоляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП. Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования /В.И.Смирнов, А.А.Бубис //Центр исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Институт ОАО НИЦ Строительство. – М.: Мин. регион России, 2013, 45 с.
2. Айзенберг, Я.М. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор /Я.М. Айзенберг, В.И. Смирнов, Р.Т. Акбиев // – М.: РАСС, 2008, 46 с.
3. Uniform Building Code, International conference of building officials, Whittier; California, USA, 1997, p. 1079.
4. Каландарбеков, И.К. Сравнительный анализ различных типов сейсмоизоляции в многоэтажных зданиях /И.К. Каландарбеков, Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков //Известия АН РТ. Отд. физ – мат., хим., геолог. и техн. наук, 2016. – №4 (165). – С. 58 – 64.
5. Каландарбеков, И.К. Инновационные методы защиты зданий и сооружений от землетрясений /И.К. Каландарбеков, Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков //Известия АН РТ. Отд. физ – мат., хим., геолог. и техн. наук, 2018. – №1 (170). – С. 64 – 72.
6. Низомов, Д.Н. Исследование свободных колебаний сейсмоизолированных зданий с учётом кручения и поворота инерционных масс /Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков, И.К. Каландарбеков //Научный журнал. Душанбе, Политехнический вестник, Серия инженерные исследования, №4(44). – 2018. – С. 165 -170.
7. Bouc, R. Forced vibrations of mechanical systems with hysteresis /R. Bouc //Proceedings of the 4th Conference on Nonlinear Oscillations. – Prague, Czechoslovakia, 1967. – PP. –315 – 321.
8. Wen, Y. K. Method for random vibration of hysteretic systems /Y. K. Wen //Journal of the Engineering Mechanics Division, 102 (2). – 1976. – PP. 249 – 263.
9. Низомов, Д.Н. Метод сосредоточенных деформаций /Д.Н. Низомов, И. Каландарбеков //Душанбе: Дониш, 2015, 435 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Низомов Чаҳонгир Низомович	Низомов Джаҳонгир Низомович	Nizomov Jachongir Nizomovich
Доктори илмҳои техникӣ, профессор	Доктор технических наук, профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Институти геология, сохтмони ба заминҷунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана	Institute of Geology, Seismic Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Kalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техникӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Кандидат технических наук Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Kandidat of Technical Sciences Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
ties@mail.ru 0000-0002-6467-0789	iftikhor791@mail.ru 0000-0002-4807-0169	kalandarbekov-55@mail.ru 0000-0002-4807-0169
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Kalandarbekov Imomyorbek Kalandarbekovich

<i>Доктори илмҳои техникӣ</i> <i>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон</i> <i>ба номи академик М.С.Осимӣ</i>	<i>Доктор технических наук</i> <i>Таджикский технический</i> <i>университет имени академика</i> <i>М.С.Осими</i>	<i>Doctor of Technical Sciences</i> <i>Tajik Technical University named</i> <i>after Academician M.S.Osimi</i>
--	---	--

УДК: 691.

ТАҲҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ СЕМЕНТОБЕТОНИ ДАР АСОСИ СЕМЕНТҲОИ ОМЕХТА БО ИЛОВАГИҲОИ МИНЕРАЛӢ ВА ОРГАНИКӢ БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ КОНСТРУКСИЯҲОИ ЗЕРИРЕЛСИИ РОҲИ ОҶАН

Ш.Р. Маҳмадов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Аннотатсия. Дар мақолаи мазкур усулҳои баланд бардоштани сифати бетон дар асоси таҳқиқоти сементҳои омехта бо иловагиҳои минералӣ ва органикӣ барои истеҳсоли конструкцияҳои пешаки шиддатноккардашудаи зерирелсии роҳи оҷан, ки хосияти хуби истифодабарӣ доранд, пешниҳод мешавад. Инчунин раванди гирифтани мустаҳкамии бетон дар асоси истифодаи маводҳои маҳаллӣ, модификаторҳои химиявӣ ва минералӣ пешниҳод гардидааст. Вобаста бар ин мустаҳкамии бетон дар шароити муқарарӣ ва шароити буғию-ҳароратӣ бо назардошти таъсири иловагии омехтаи онҳо таҳлил шудааст. Мақсади асосии кор таҳқиқоти хосиятҳои сементобетони бо истифода аз сементҳои омехта ва иловагиҳои минералӣ, органикӣ барои истеҳсоли конструкцияҳои зерирелсии роҳи оҷан пешбини шудааст.

Калидвожаҳо: сементи портланди, таъсири иловагиҳо, коркарди ҳароратию-намӣ, мустаҳкамии бетон, конструкцияҳои зерирелсӣ, маводҳои часпак, иловагиҳои минералӣ, модификаторҳои химиявӣ, пурқундаҳои таркиби бетон, шиддатнокунии шпал, шпалаҳои оҷанубетонӣ, хамираи семент.

STUDY OF THE PROPERTIES OF CEMENT-CONCRETE ON THE BASIS OF MIXED AND ORGANIC ADDITIVES FOR MANUFACTURE OF UNDERGROUND RAILWAY STRUCTURES

Abstract: The article presents a new hypothesis for obtaining high-quality concrete, based on the research of a cement mixture with mineral and organic additives for the production of prestressed under-rail prefabricated structures with good performance properties. There are also known cases of obtaining concrete strength based on the use of local materials, chemical and mineral modifiers.

In this regard, the strength of concrete was tested under normal conditions and temperature and humidity conditions, taking into account the effect of additives in the mixture. The main purpose of the work is to study the properties of cement concrete using cements with the addition of mineral and organic additives for the production of under-rail structures.

Key words: Portland cement, additives, heat and moisture treatment, concrete strength, concrete structures, adhesives, mineral additives, chemical modifiers, concrete aggregates, sleeper reinforcement, reinforced concrete sleepers, additives, solutions.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ СМЕСИ И МИНЕРАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДРЕЛЬСОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В данной статье приведены методы повышения качества бетона на основе анализа смешанных бетонов с минеральными и органическими добавками для производства предварительно напряженных подрельсовых конструкций, обладающих хорошими эксплуатационными свойствами. А также известны случаи получения прочности бетона на основе применения местных материалов, химических и минеральных модификаторов. В связи с этим был проведен анализ прочности бетона в нормальных условиях и температурно-влажностном режиме с учетом влияния добавок в смесь. Основной целью работы является исследование свойств цементобетона с применением цементов с добавлением минеральных и органических добавок для производства подрельсовых конструкций.

Ключевые слова: портландцемент, добавки, тепловлажностная обработка, прочность бетона, подрельсовые конструкции, минеральные добавки, химические модификаторы, заполнители бетона, предварительно напряженные шпалы, железобетонные шпалы, добавки, раствор.

Яке аз конструкцияҳои асосии хати роҳи оҷан ин таҳкурси зери релсии он ба ҳисоб меравад, ки онҳоро дар аксари мамлакатҳои дунё ба сифати шпалаҳои оҷанубетонӣ истифода мебаранд.

Аз ин сабаб бетон яке аз маводҳои асосӣ барои истеҳсоли ингуна конструкцияҳо ба ҳисоб меравад. Омехтани таркиби бетон дар ин асно барои баланд бардоштани сифати истифодаи он яке аз варианти муҳими илми ва истеҳсоли ба ҳисоб меравад. Айни ҳол қисми зиёди корҳои сохтмонӣ бо истифода аз бетонҳо ба роҳ монда мешаванд. Таркиби бетон аз маводҳои гуногуни сангӣ ва часпаки ғайриорганики иборат мебошад. Аз сабаби он, ки бетонро дар соҳаҳои гуногуни истеҳсолот истифода мебаранд, вобаста ба ин дар аксари ҳолатҳо зарурат пеш меояд, ки онҳо бояд мустаҳкамии таҳвилиашонро дар муҳлатҳои кутоҳ гирифта тавонанд. Дар аксари кишварҳои дунё ҳангоми истеҳсоли конструкцияҳои сохтмонӣ барои гирифтани мустаҳкамии бетон дар муҳлатҳои кутоҳтарин усулҳои коркарди буғию-ҳароратиро (то муҳлати 12 соат дар ҳарорати то 80°C нигоҳ доштани бетон) истифода менамоянд. Аз таҷрибаи истеҳсоли конструкцияҳои оҷану-бетонии яклухт бармеояд, ки истеҳсолкунандагон кушиш ба ҳарч меҷаҳанд, ки ҳангоми истеҳсоли ин намуди маводҳо ҳароратӣ изотермиро паст намоянд, аниқтар то 50°C чунки ба ақидаи муаллифони [1,2] истифодаи ин технологияи сифати истифодабарии бетонҳоро зиёд менамояд. Таҳқиқотҳои пешин нишон медиҳад, ки семент бо иловагиҳои истифодашаванда яъне хокистари ангишт, воллостанит ва сулфонати модификаторионашудаи техникии нисбат ба сементобетони бе иловагӣ, қобилияти пластификатории хеле хубро дорад. Устувории сементобетонро бо иловагиҳо ва бе иловаги бо истифода аз усулҳои муаллиф [2] омехта шудаанд. Дар асоси нишондоди адабиётҳо ва таҷрибаҳо, ҳулоса кардан ба маврид аст, ки истеҳсоли бетонҳои сифаташон баланд дар муҳлати кутоҳ читавреки дар шароити муътадил ҳамон тавр дар шароити истифодаи буғию-ҳароратӣ дорои мустаҳкамии баланд буда бо истифодаи иловагиҳои химиявӣ -органикӣ ва минералӣ ба роҳ монда мешаванд.

Бо ақидаи дигар ин иловагиҳоро дар маҷмӯ иловагиҳои комплексӣ ном мебаранд. Дар аксари ҳолатҳо барои тезонидани суръати мустаҳкамшавии талаботи бетон иловагиҳоро истифода менамоянд, ки муҳлати сахтшавии бетонро метезонанд.

Ин намуди иловагиҳоро ба ду гурӯҳ ҷудо менамоянд:

-пайвастагиҳои химиявӣ дар асоси хлорид;

-пайвастагиҳои химиявие, ки дар таркибашон хлоридҳоро (сулфати алюминӣ, карбоний, силикати натрий, алюминати калсий) надоранд.

Бинобар он, ки намакҳои-хлорид ба маводҳои оҳанини таркиби конструкцияҳои оҳанубетонӣ таъсири манфӣ мерасонанд, истифодаи онҳо дар истеҳсолот тавсия дода намешавад. Аз ҳамин сабаб имрӯзҳо ҷиҳати истифодаи иловагиҳои пластификатсионии муосир, ки муҳлатҳои ибтидои сахтшавии бетонро ҳангоми истеҳсоли конструкцияҳои зерирелсӣ роҳи оҳан таъмин менамоянд, гузаронидани корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ зарур мебошад. Тибқи ақидаи муаллифон [3,4] ҷиҳати истифодаи иловагиҳои поликарбоксилатҳо дар таркиби бетонҳои зерконструкцияҳои роҳи оҳан корҳои илмӣ-таҳқиқотии зиёд гузаронидаанд, ки истифодаи ин иловагиҳо аз як тараф хароҷоти маводи часпакро кам намояд аз тарафи дигар муҳлати ибтидои сахтшавии бетонро метезонад. Ба ақидаи муаллифон [5,6] дар ҳолатҳои дигар, истифодаи иловагиҳои поликарбоксилата имконпазир буда, суръати сахтшавии омехтаи маҳлули бетонино аз меъёр зиёд метезонад ё ин, ки онро аз ҳад зиёд дурушт намуда хосияти иловагиҳо вобастаги надорад балки ба хосият ва таркиби минерологӣ маводи часпак яъне семент вобастагӣ дорад. Аз ин лиҳоз истифодаи муфиди ин иловагиҳо дар таркиби бетонҳо барои истеҳсоли конструкцияҳои яклухти зерирелсӣ бояд мо таркиби химиявӣ ва минерологӣ сементро хуб омӯхта вобаста ба он истифодаи иловагиҳоро ба роҳ монем. Аксари олимони аз он ҷумла муаллифон [7,8] раванди сахтшавии бетонро дар муҳлатҳои аввал ба таркиби минерологӣ ва дараҷаи суръат, муҳлати сахтшавии семент шарҳ додаанд. Онҳо ибтидо намудаанд, ки сементи портландӣ барои бетонҳои баландсифат ва сахтшавӣ дар шароити буғию-ҳароратӣ бояд фаъол бошад. Онҳоро пеш аз дубора истифода бурдан бо иловагиҳои минералӣ омехта намуда суфта кардан зарур аст. Сементҳои истифодашуда барои истеҳсоли бетонҳои баландсифати тамғаи М400 ва М500, ки дар корхонаҳои дохили Ҷумҳурии Тоҷикистон истеҳсол карда мешаванд дар пойгоҳи озмоиши назди кафедра таҳқиқот гузаронидаем. Аз таҷрибаҳои истеҳсолкунандагони берун аз кишвар ба назар мерасад, ки истеҳсоли бетонҳои зерконструкцияҳои роҳи оҳан сементҳои тамғаи М-500-ро истифода менамоянд. Хосияти сементҳои дар қори мазкур истифодашаванда дар ҷадвали 1, 2 ва 3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.

Хосияти химиявӣ сементҳои портландӣ.

Номгуи семент	С	О	Si	Al	Fe	Mg	S	Cl	Zn	Na	SO ₄	Н	Н
ПЦ-1 М-400	56,82	22,40	5,11	2,65	2,13	2,40	-	-	-	-	-	7,26	
ПЦ-2 М-500	59,02	23,66	4,13	2,89	2,50	2,58	-	-	-	-	-	4,27	
ПЦ-3 сулфат тобовар	62,40	21,92	3,50	4,34	2,85	1,75	-	-	-	-	-	2,26	
ПЦ-4 М-400	63,04	20,25	5,26	4,54	1,94	2,02	0,28	0,41	0,59	0,72	0,80		
ПЦ-5 СС М-400	62,64	21,50	4,67	5,49	1,89	1,96	0,21	0,37	0,51	0,48	0,25		

Ҷадвали 2

Хосиятҳои физикӣ сементҳои портландӣ

Рақами ҷойгиршавии семент	Дараҷаи судагии ва боқимнда дар элак 008, %	Меъёри миёнаи ғализи, %	Муҳлати сахтшавии намунаҳои семент, (соат, дақиқа)		Фаъолияти мустаҳкамшавии семент, МПа (28 шабона руз)	Фаъолнокии хангоми коркард дар ҳолати буғию-ҳарорати, МПа	Гурӯҳи фаъолияти коршоями дар ҳолати ҳолати буғию-ҳарорати
			Оғози сахтшавии	Анҷоми сахтшавии			
ПЦ-1 М-400	10,9	24,7	156	223	44,30	26,30	коршоям
ПЦ-2 М-500	6,5	25,80	154	219	52,60	32,0	коршоям
ПЦ-3 сулфат тобовар	9,5	23,8	177	262	47,0	25,1	коршоям
ПЦ-4 М-400	12,6	24,50	135	350	42,8	27,5	1

Рақами чойгиршавии семент	Дараҷаи судагии ва боқимнда дар элак 008, %	Меъёри миёнаи ғализи, %	Муҳлати сахтшавии намунаҳои семент, (соат, дақиқа)		Фаъолити мустаҳкамш авии семент, МПа (28 шабона руз)	Фаъолноки ҳангоми коркард дар ҳолати буғию- ҳарорати, МПа	Гурӯҳи фаъолияти коршоёми дар ҳолати ҳолати буғию- ҳарорати
			Оғози сахтша ви	Анҷоми сахтшави			
ПЦ-5 СС М- 400	11,2	24,00	150	410	43,4	---	---

Ҷадвал 3

Таркиби минералии клинкер

Номгӯй	Семент	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
ПЦ-1	ПЦ М-400 ҚДММ "МПК Чунгтай моҳир семент"	54,24	18,71	7,85	9,48
ПЦ-2	ПЦ М-500 ҚДММ "МПК Чунгтай моҳир семент"	54,51	24,96	2,42	13,38
ПЦ-3	ПЦ М-400 Д0- "ҚСК Сементи тоҷик"	58,05	14,26	6,24	13,80
ПЦ-4	ПЦ СС М-400 Д0- "ҚСК Сементи тоҷик" Ба сулфат тобовар	50,51	23,54	3,06	16,69

Ба ақидаи олимони дигар ба монанди муаллифони [6,10] барои баланд бардоштани мустаҳкамии бетон дар муҳлатҳои аввали сахтшавии ин боиси истифодаи маводҳои часпаки тез сахтшаванда дар таркиби онҳо мегардад. Аз сабаби он, ки ингуна сементҳо қимати хело зиёд доранд онҳо ҳоло дар истеҳсолоти истифода карда намешаванд. Ҳамин тариқ яке аз роҳҳои истеҳсоли бетонҳои тезсахтшаванда чи дар шароити муътадил ва чи дар шароити буғию-ҳароратӣ ин истифодаи иловагӣҳои химиявӣ-минералии маҳали мебошад, ки ҷиҳати иқтисоди ва экологӣ барои Ҷумҳурии мо хело ҳам муфид мебошанд. Айни ҳол ҳангоми истеҳсоли маснуотҳои оҳану бетони яклухт барои дар муҳлатҳои аввали сахтшавӣ гирифтани мустаҳкамии онҳо истифодаи коркарди гармию-намӣ хело ҳам муфид мебошад. Истифодаи ин усул дараҷаи истеҳсоли маснуотҳои оҳану-бетониро метезонад ва хароҷоти захираҳо ва инчунин манбаҳои гармиро кам менамоянд. Бо ақидаи муаллифон [11] роҳҳои баланд бардоштани нишондодҳои сифати бетон ҳангоми истифодаи усули коркарди буғи-ҳароратӣ (КБҲ) ин паст намудани вобастагии О/С, обу семент ва истифодаи раванди муносиб мебошанд. Дар ин раванди коркарди буғию-ҳароратӣ бояд вақти ба шакли муайян даромадани сохти таркиби бетон низ ба назар гирифт, чунки ин раванд ба сифати маснуоти оҳану-бетонӣ таъсир мерасонад. Бо ақидаи муаллифон [12,13] истифодаи ин усул яъне (КБҲ) ҳангоми дар шароити гарм сахтшавиро нигоҳ доштани аз меъёр зиёд, мумкин ба хосиятҳои сохтӣ-техникии у таъсири манфӣ расонад. Аз таҷрибаҳои гузашта маълум мебошад, ки бағайр аз хосияти семент ва вобастагии обу семент дар раванди (КБҲ) боз нишондодҳои зерин ба мақсади аз меъёр зиёд гарм намудан тез тағироти суръати баландшавии ҳароратро ба инобат нагирифта вобаста бар ин суръати хунуқшавӣ, таъсири иловагиро мерасонанд. Чунин таъсири иловагӣҳои маҳали чи химиявӣ ва чи минералӣ ба муҳлати сахтшавии бетонҳо ва маводи часпаки таркиби онҳо дар шароити буғи-ҳароратӣ ҳоло омӯхта нашуданд. Вобаста бар ин раванд барои амали намудани усулиҳои дар боло иброз кардашуда корҳои илмӣ таҳқиқоти мебояд гузаронид. Зарур мебошад, ки ин нишондодҳо бо истифодаи иловагӣҳо ва бе истифодаи иловагӣҳо барои истеҳсоли конструкцияҳои оҳану-бетони, ки дар муҳлати кутоҳ бояд мустаҳкамии талаботи дошта бошанд мумкин аст.

Хулоса

Аз натиҷаи таҳқиқотҳо дар ин соҳа маълум гашт, ки истеҳсоли бетонҳои сифаташон баланд дар асоси омӯзишӣ хосияти сементҳои омехта бо иловагӣҳои минералӣ ва органикӣ барои истеҳсоли бетонҳои баландсифат, ки дар асоси он истеҳсоли конструкцияҳои пешаки шиддатноккардашудаи шпалаҳои роҳи оҳан ба роҳ мондашудааст, хосияти хуби истифодабарӣ доранд тавсия мешаванд. Вобаста аз гуфтаҳои боло маълум мегардад, ки ба даст овардани нишондодҳои техникӣ-сохтмони ингуна бетонҳо дар асоси интиҳоби дурусти маводҳои таркиби бетон ва истифодаи иловагӣҳои минералии ниҳоят суфта ва ё наҳмонанд, инчунин пластификаторҳои дараҷаи баланд дар таркиби бетон зарур мебошанд. Албата дар минбаъда зарур меояд, ки ба ҷойи бетонҳои анъанавӣ бетонҳоеро истифода намоем, ки таркиби маводи часпаки онҳо нафақат аз як семент балки аз якчанд маводҳои ба семент аз ҷиҳати таркибашон монандро дар бар гирифта бошанд. Барои ин зарур меояд, ки технологияи коркардашонро дар кишвар ҳарчи зудтар ба роҳ монда шавад.

Руйхати адабиёт:

1. Сайраҳмонов Р.Х., Модифицирование цементно - волластонитовых вяжущих химическими добавками [Текст] / Сайраҳмонов Р.Х // Автореф. дисс. на соискание ученой степени к.т.н. 05.17.11. – г. Тошкент, 1995. - 25с.
2. Махмадов Ш.Р., Шарифов А., Сайраҳмонов Р.Х. Бетон на смешанном цементе с комплексной минеральной добавкой из волластанита и золы угля для подрельсовых конструкций железнодорожного пути. //Вестник ТТУ серия: Инженерные исследования №2 (42) 2018 –с 112-114
3. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю. М. Баженов // М.: Изд-во АСВ. 2007. - 526с.
4. Шарифов А., Цементно - волластонитовые вяжущие и химические добавки для повышения стойкости бетона в агрессивных средах. Душанбе: Дониш. -1994. 283ст
5. Махмадов Ш.Р., Сайраҳмонов Р.Х. Исследование свойства бетона на основе смешанного цемента с органоминеральными добавками. //Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №4 (44) – 2018 - с 85-89
6. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подрельсовых конструкций. [Текст] / Смирнова О.М. // Автореф. дисс. на соискание ученой степени к.т.н. 05.23.05 – г. Москва, 2013. - 186с.
7. Серенко, А.Ф., Петрова, Т.М. Беспропарочная технология производства подрельсовых конструкций [Текст] / Серенко, А.Ф., Петрова, Т.М. // М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 136 с.
8. Баженов, Ю.М. Высококачественный бетон [Текст] / Ю.М.Баженов, В.И. Калашников, В.С. Демьянова // М.:Изд-во АСВ. 2007. -555 с.
9. Фаликман, В.Р. Новое поколение суперпластификаторов [Текст] / Фаликман В.Р., Вайнер А.Я., Башлыков Н.Ф. // Бетон и железобетон. - 2000. - №5. - С.5П7.
10. Petrova, T.M. et al. Moderne komplexe Zusatzmittel in der Fertigungstechnologie von Schwer- und Zellenbeton / T.M. Petrova et al. // 15. Internationale Baustofftagung. Band 1. Weimar, 2003. S.0913-0917.
11. Изотов, В.С. Результаты исследования разработанной комплексной добавки на основе гиперпластификатора и ускорителя твердения [Текст] / Изотов, В.С., Ибрагимов Р.А. // XV Академические чтения РААСН. Т. 1. Казань, 2010. С.215D 218.
12. Решетник, Л.Н. Модифицирование микроструктуры цементного камня в бетоне комплексными химическими добавками [Текст] / Л.Н. Решетник // Автореф. дисс. на соискание ученой степени к.т.н. 05.23.05. Харьков, 2006. 18с.
13. Ибрагимов, Р.А. Тяжелые бетоны с комплексной добавкой на основе эфиров поликарбоксилатов [Текст] / Р.А.Ибрагимов // Автореф. дисс. на соискание ученой степени к.т.н. 05.23.05. Казань, 2011. 21с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Махмадов Шохин Раҳматуллоевич	Махмадов Шохин Раҳматуллоевич	Mahmadov Shohin Rahmatulloevich
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior lecturer
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осимӣ.	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi.
sher_443305@mail.ru		
0000-0001-8040-4299		
(+992) 904-44-33-05		

УДК 624.042.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЯ С ОСНОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

И.К.Каландарбеков, У.М.Махмадиев, И.И.Каландарбеков

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье рассматривается численное моделирование задачи взаимодействия здания с основанием, для решения которой использован метод конечных элементов. Разработана модель грунтового массива с надземной частью здания. В результате расчёта получены: изополя осадки фундаментной плиты от статической нагрузки при учете коэффициентов жесткости упругого основания, изополя осадки фундаментной плиты с учётом грунтового массива, изополя распределения нормальных напряжений в толще грунта и горизонтальные перемещения здания при действии сейсмической нагрузки.

Ключевые слова: численное моделирование, объёмный конечный элемент, грунтовый массив, динамический модуль упругости грунта, коэффициент Пуассона, изополя, частота колебания, период колебания, осадка здания.

ТАҶҚИҚИ МАСЪАЛАҶОИ БА ҲАМТАЪСИРИ БИНО БО АСОС ДАР ШАРОИТИ БАЛАНДИ ЗИЛЗИЛАВӢ

Дар мақола моделсозии адабии масъалаҳои ба ҳамтаъсири бино ва асос, ки барои ҳалли онҳо усули унсурҳои охирик истифода шудааст, баррасӣ карда мешавад. Модели массиви хок бо қисми болоии бино тарғиб дода шудааст. Дар натиҷаи ҳисоб чунин маълумотҳо ба даст оварда шудаанд: изополияи нишасти тахтасанги таҳкурси аз борҳои статикӣ бо назардошти зарбҳои сахтии асоси чандирӣ, изополияи нишасти таҳкурси бо назардошти массиви хок, изополияи таксимоти шиддати нормалӣ дар қабати хок ва ҷойивазкунии уфуқии бино аз таъсири борҳои зилзилавӣ.

Калидвожаҳо: моделсозии адабӣ, унсурҳои охирикоки ҳаҷмӣ, массиви хок, модули динамикию чандирии хок, зарби Пуассон, изополя, зудии лапшиш, даври лапшиш, нишасти бино.

RESEARCH OF THE PROBLEM OF INTERACTION OF A BUILDING WITH A FOUNDATION IN CONDITIONS OF HIGH SEISMICITY

The article discusses the numerical modeling of the problems of interaction between the building and the base for the solution of which the finite element method is used. A model of a soil massif from the aboveground part of the building has been developed. As a result of the calculation, the following are obtained: isofields of the foundation slab settlement from a static load taking into account the stiffness coefficients of the elastic foundation, the isofield of the foundation slab settlement taking into account the soil massif, the isofield of the distribution of normal stresses in the soil layer and horizontal displacements of the building under the action of a seismic load.

Key words: numerical modeling, volumetric finite element, soil massif, dynamic modulus of soil elasticity, Poisson's ratio, isopole, oscillation frequency, oscillation period, building settlement.

Введение

В настоящее время проблема защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий является первостепенной задачей. Актуальность исследований в этой области в связи недавними разрушительными землетрясениями, а также ускоренным развитием инфраструктуры сейсмически активных регионов очевидна. Инженерный анализ и изучение последствий катастрофических землетрясений позволяет сделать важные выводы для получения новых данных и приводит к пересмотру и дополнению действующих нормативных документов.

Учитывая высокую сейсмическую опасность территории Республики Таджикистан, Основатель мира и национального единства, Лидер нации - Президент Республики Таджикистан, уважаемый Эмомали Рахмон подписал Закон «О сейсмической безопасности» от 30 мая 2017, № 1416. Этот закон обязывает всех ученых стремиться к проведению исследовательских работ, ведущих к повышению сейсмостойкости зданий и сооружений.

Многолетний опыт проектирования и эксплуатации зданий и сооружений показывает, что для обеспечения их эксплуатационной надежности недостаточно выполнять только расчеты на прочности при статическом нагружении. В истории было много крупных катастроф и разрушений, произошедших из-за недооценки при проектировании динамических воздействий на конструкции или их части. В настоящее время сооружения становятся все более сложными, их возведение осуществляется в короткие сроки и может быть любой формы и этажности. Тенденция к снижению стоимости строительных материалов часто приводит к уменьшению жесткостных и прочностных характеристик конструкций. Наряду с традиционными строительными конструкциями в практику строительства внедряются новые, еще не до конца изученные конструкции. По этим и другим причинам увеличивается вероятность разрушения конструкций от колебаний. Помимо обеспечения прочности и жесткости конструкций часто требуется учитывать влияние колебаний на технологические процессы и людей.

Основные требования к расчёту зданий на динамические воздействия

Приведённое во введении требование учёта колебаний показывает, что в результате расчеты зданий на динамические воздействия становятся актуальными и важными задачами. Колебания - одна из самых

распространенных форм движения. Это движение вызывает дополнительные напряжения и деформации конструкций, отрицательно влияет на людей и приводит к увеличению риска разрушения конструкций зданий и сооружений. Усилия в элементах при колебаниях носят знакопеременный характер, поэтому вызывают усталость материала, из которого возведено здание. Это, в свою очередь, приводит к разрушению конструкции и, как следствие, к аварийным ситуациям. Изучение колебаний имеет большое практическое значение, так как позволяет избежать нежелательных последствий колебаний за счет ограничения их уровня. Только на основе глубокого изучения различных типов колебаний можно установить оптимальные пропорции элементов конструкции. Лишь на основе теории колебаний могут быть решены важные практические задачи динамики конструкций. Несущие вертикальные конструкции (диафрагмы жесткости, пилоны, колонны, раскосы, подкосы и т. д.) играют огромную роль в обеспечении пространственной жесткости здания, уменьшении изгибающих моментов в отдельных несущих конструкциях каркасных зданий. Эти конструкции воспринимают часть вертикальных и основную часть сейсмических нагрузок, действующих на здание и передают их на фундамент [3]. Они также обеспечивают общую устойчивость и устойчивость зданий к крутильным колебаниям, исходя из правильного размещения диафрагмы жесткости. В руководствах по проектированию в очень минимальном объеме даётся информации о размещении диафрагм жесткости и их влиянии на деформативность каркаса. Поэтому проектировщик вынужден опираться на эту небольшую информацию и собственный опыт размещения диафрагмы жесткости с учетом конструктивного решения здания. Поскольку сегодня перед застройщиком стоит задача снижения материалоемкости и уменьшения стоимости возводимых объектов, определение мест наиболее эффективного расположения диафрагм в здании позволяет значительно снизить стоимость и ускорить возведение объектов. В настоящее время все меньше и меньше часов отводятся изучению влияния динамических воздействий на конструкцию. В результате усложняется задача ознакомления будущего специалиста с теоретическими основами, методами, алгоритмами и приемами расчета конструкций на колебании.

Сейсмические воздействия могут иметь любое направление в пространстве. Для зданий и сооружений с простым конструктивным и планировочным решением расчетные сейсмические нагрузки следует принимать как действующие горизонтально в направлении их продольной и поперечной осей. Отдельно следует рассмотреть действие сейсмических нагрузок в указанных направлениях. Расчетные сейсмические нагрузки на здания и сооружения со сложным конструктивно-планировочным решением необходимо определять с использованием пространственных расчетных динамических моделей зданий и с учетом пространственного характера сейсмических воздействий. При проектировании и строительстве многоэтажных каркасных зданий пространственная жесткость и устойчивость обеспечиваются установкой диафрагм жесткости между колоннами в обоих направлениях. Правильность и рациональность размещения диафрагм жесткости анализируется при выполнении расчетов пространственной схемы здания и увязывается с принятыми объемно-планировочными решениями. Диафрагмы, как элемент обеспечения пространственной устойчивости и жесткости, обладают значительно более высокими характеристиками сопротивления горизонтальным перемещениям по сравнению с элементом связи/

Метод расчёта

В соответствии с требованиями СП 52-103-2007 Железобетонные монолитные конструкции зданий п. 5.17 [9], нерегулярная несущая конструктивная схема должна быть рассчитана таким образом, чтобы центр масс и центр жесткости конструктивной системы располагались как можно ближе к месту действия равнодействующей вертикальной нагрузки. Вертикальная нагрузка создается собственным весом строительных конструкций и полезной нагрузкой, расположенной на перекрытия и массой снега, расположенного на покрытии здания.

Расчет произведен с применением программно-вычислительного комплекса «ЛИРА-САПР». Расчёт основан на методе конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчётной схемы. Исходя из этого, идеализация конструкции выполняется в форме, адаптированной к использованию данного метода, а именно: система представляется в виде набора тел стандартного типа (пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединены к узлам. Тип конечного элемента определяется его правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, геометрической формой, набором параметров (жёсткостью), входящих в описание этого закона, физический закон, определяющий зависимость между внутренними усилиями и деформациями и др. При деформации по координатам центра и углам поворота трех осей, жестко связанных с узлом, находится положение узлов в пространстве. Узел — это объект, который имеет шесть степеней свободы - три линейных перемещения и три угла поворота. Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, необходимо трактовать исключительно, как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки. Основная система метода перемещений выполняется путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих какие-либо узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих

связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей - основные неизвестные метода перемещений [1,2].

Численное моделирование

В настоящее время существует большое количество различных вариантов численного моделирования работы грунта. Важным является выбор наиболее рациональную модель работы основания. Иногда оказывается, что при использовании одного и того же программного комплекса конструктор может получить разные результаты расчета. Это означает, что разными методами реальная работа конструкции сводится к ее математической модели. Следовательно, актуальна разработка численных методов моделирования основания конструкции и проведение сопоставительного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции с различными вариантами моделирования.

В качестве объекта исследования рассмотрим реальное 16-ти этажное строящееся здание с подвальным помещением. Жилой дом строится в районе Фирдавси города Душанбе по улице Н.Карабаева 31/1 и состоит из трёх блоков (А, Б, В). Исследования проводились для блока (Б). Здание представляет собой прямоугольную форму в плане с размерами между внешними осями 26,20 x 17,00 м. Отметка верха стен технического этажа +63.45 м. Отметка пола подвала -7,2 м. Кровля плоская, рулонная, из двух слоёв рулонного материала по цементно-песчаной стяжке. Здание в конструктивном отношении представляет собой монолитный железобетонный ригельный каркас с диафрагмами и ядрами жёсткости. Пространственная жёсткость каркаса обеспечивается совместной работой колонн, пилонов, диафрагм жёсткости, ригелей и междуэтажных перекрытий. Основными вертикальными несущими конструкциями каркаса являются диафрагмы, пилоны и колонны, которые воспринимают все действующие вертикальные и горизонтальные нагрузки, включая сейсмические.

Монолитные перекрытия играют роль горизонтальных связей, которые соединены с жёсткими узлами ригелей и вертикальных элементов. Фундаментом здания является монолитная железобетонная плита толщиной 130 см. и принята из бетона класса В 20. Класс бетона для вертикальных и горизонтальных несущих элементов принят В 25. Толщина плиты перекрытия на отм. -3.900, +0.000 принята 180 мм, а для типовых этажей 160 мм. Стены выполняются из жжёного кирпича марки М 75 на растворе М 100 толщиной 380, 250, 120 мм. Категория кладки II и усилены вертикальными сердечниками из бетона В 15 и армированы горизонтальными сетками шагом 600 мм (через 8 рядов кладки). Статический расчёт системы выполнен в линейной постановке. Кроме равномерно – распределенной нагрузки на плиты перекрытия и покрытия при расчете учтены нагрузки от наружных стен и перегородок, которые заданы как погонная равномерно – распределенная нагрузка на стержневые элементы.

Математическая модель представляет собой пространственный каркас на упругом основании. Расчет пространственной системы производится на статические и динамические нагрузки с выбором расчетных сочетаний усилий (нагрузок) в соответствии со СП 20.13330.2016 [7], СП 63.13330.2012 [8].

Динамическая нагрузка формируется на основе статических загружений, включающих основные характеристики таких как, количество учитываемых форм колебаний, матрица масс и дополнительные параметры: поправочный коэффициент для сейсмических сил; тип сооружения; категория грунта; зона сейсмичности; значения расчётных коэффициентов в соответствии с нормами [9]; направления равнодействующих сейсмических воздействий.

Результаты расчёта и обсуждение

В результате расчётов получены вертикальные и горизонтальные перемещения от статических и динамических нагрузок, проанализированы формы собственного колебания сооружения их частоты и ускорения. В соответствии с СП «Нагрузки и воздействия» [10] первые две формы собственных колебаний – должны быть изгибными, а третья – крутильной, или все три формы колебания должны быть изгибно-крутильными. В связи с этим анализируем формы колебания здания и их динамические характеристики. Выявлено, что первая форма колебаний здания – изгибная, вторая – изгибная, а третья - изгибно-крутильная. Это обусловлено корректным расположением элементов связей в плане здания.

Для расчёта вышеуказанного объекта было использовано в качестве моделирования основания коэффициентов жесткости упругого основания $C_1=5000$ т/м³ и $C_2=20000$ т/м, а также одноузловой КЭ-56 упругих связей. Численное значение соответствующих элементов представлено на рисунках 1 и 2.

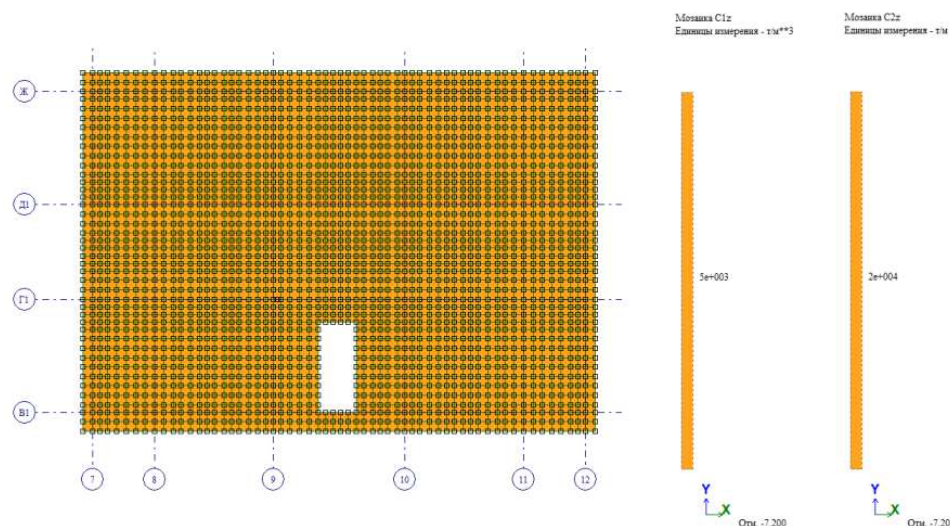


Рисунок 1. Мозаика распределения C_1 и C_2

Изополя осадка фундаментной плиты от суммы всех статических нагрузок (РСН - 4) представлены на рис. 2.

Для исследования взаимодействия здания с основанием используем объемные конечные элементы КЭ-36 (Универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ). Основным параметром для этого элемента является модуль упругости материала и коэффициент Пуассона. Согласно отчету инженерно-геологических изысканий, выполненных ОАО «ГИИНТИЗ», участок проектируемого строительства расположен в г. Душанбе, по ул. Н. Карабаева, район Фирдавси. В геоморфологическом отношении участок работ приурочен к поверхности I-ой правобережной террасы Душанбинки. Рельеф участка сравнительно ровной с незначительными колебаниями микрорельефа, абсолютные отметки составляют 780.30-783.70. Согласно полевому определению, усреднённый гранулометрический состав отложений, следующий: 81 – валуны – 20.0 % – галька – 55.70 % – гравий – 12.6 % – песок – 11.7 %, эти отложения относятся к галечниковому грунту с включением валунов. Согласно полевым определениям плотность грунта составляет 2.06 - 2.12 т/м³. Угол внутреннего трения составляет 37° – 42°. В соответствии с [6] расчетное сопротивление галечниковых грунтов составляет 600 кПа, сцепление - 0.001 МПа, модуль деформации - 40 МПа. При расчёте здания с учетом сейсмической силы был учтен коэффициент жесткости основания.

При определении осадки фундамента здания учитывались механические свойства грунта без учета сейсмической силы. Изополя осадки фундаментной плиты от статической нагрузки приведены на рис. 3.

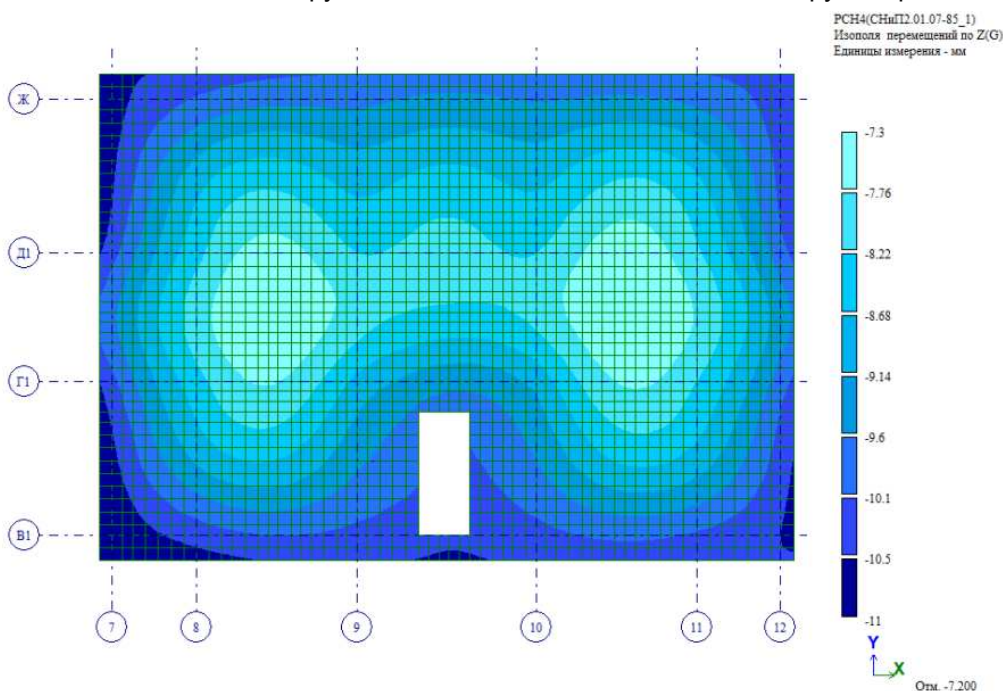


Рисунок 2. Изополя осадки фундаментной плиты

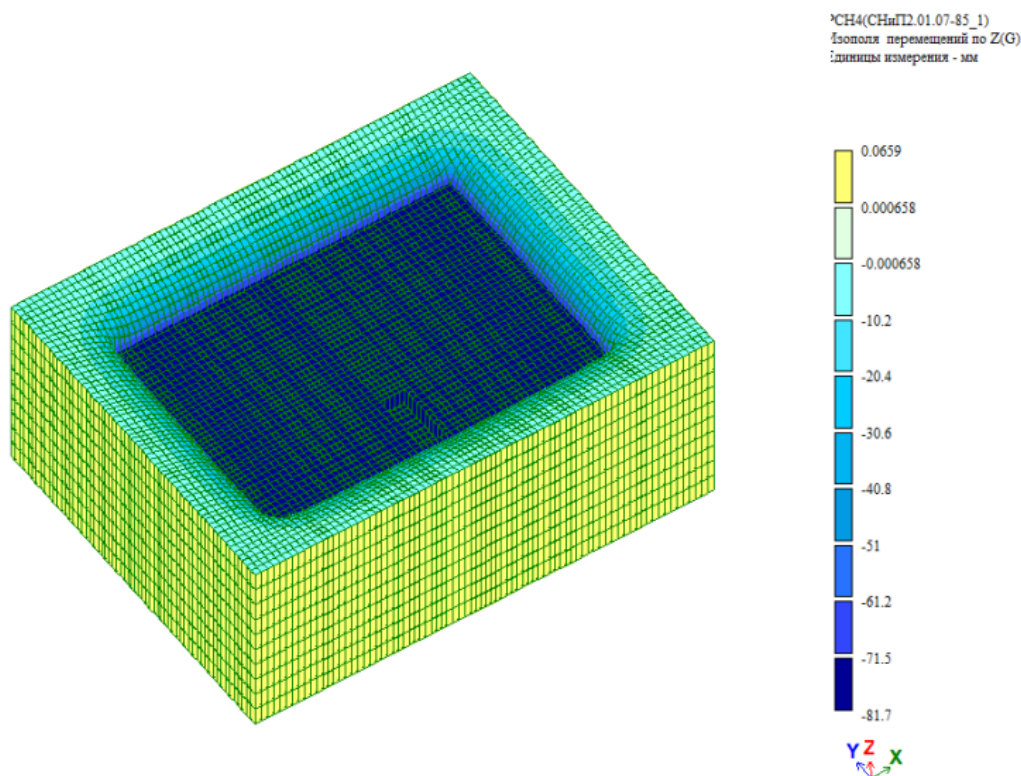


Рисунок 3. Изополю осадка фундаментной плиты от статической нагрузки

Как видно из рис. 3 максимальная осадка фундаментной плиты от статической нагрузки составляет 81.7 мм, что допустимо и меньше нормативного значения 120 мм. Поскольку в расчете используются сейсмические нагрузки, при моделировании объемных конечных элементов необходимо назначить модуль деформации грунта при динамическом воздействии. Для определения динамического модуля упругости грунтов в геологии используют импульсный метод, использующий непосредственное измерение времени прохождения звукового импульса через образец от передатчика к приемнику (прямое прозвучивание). Кроме того, модуль упругости зависит от скорости приложения нагрузки [4]. Анализ результатов различных авторов показывает, что динамический модуль упругости грунтов в большинстве случаев считается в 2 - 4 раза выше статического. Между значениями наблюдается линейная зависимость, которая может быть аппроксимирована уравнением

$$E_d = k \cdot E_{st} + b,$$

где k и b – эмпирические коэффициенты, имеющие различные значения для разных типов грунтов. Изучение данных исследований многих авторов показало значительную неоднородность соотношений статических и динамических модулей упругости. Так для суглинков по исследованиям Д.Д. Баркан статический модуль упругости изменяется от 31 МПа до 295 МПа, динамический модуль от 16,5 МПа до 51 МПа [5]. По мнению В.Н. Никитина [11], соотношение модулей упругости колеблется для различных типов грунтов от 1,4 до 11. Согласно отчету инженерно-геологических изысканий статический модуль деформации грунта составляет $E = 40$ МПа. На основании приведенных данных для перехода от статического модуля деформации к динамическому, статический модуль увеличиваем в 4,5 раза, в результате чего получим $E_d = 180$ МПа = 18345 т/м². Коэффициент Пуассона для галечных грунтов принят – 0,27. Граничные условия для объемного КЭ задаются, так как все боковые и нижние узлы жестко заземлены. Для моделирования основания из КЭ-36 используется объемный элемент 48750 и 55206 узлов, соединяющих эти элементы. Модель грунтовых массивов с надземной части здания и их граничные условия показаны на рис. 4.

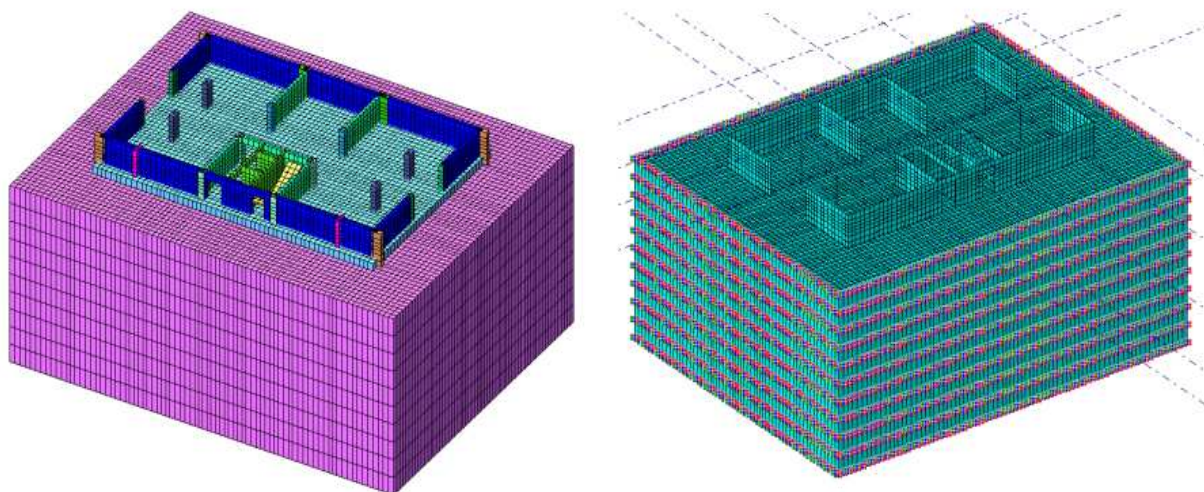


Рисунок 4. Основания в виде грунтовой массив из объёмных конечных элементов

Численные значения динамических характеристик здания при действии сейсмической нагрузки с учётом грунтового массива из объёмных конечных элементов КЭ-36 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частоты и периоды колебания здания при сейсмическом воздействии с учетом грунтового массива

№ ф/к	Частоты колебания		Периоды колебания	Собст. знач.	Кэф. распр.	Масса	Сумма масс
	Рад/с	Гц	с	с		%	%
	1	2	3	4	5	6	7
	2.825	0.450	2.223	0.354	1.547	27.045	27.045
	2.936	0.467	2.139	0.341	0.066	0.049	27.093
	3.986	0.635	1.575	0.251	-0.003	0.000	27.093
	11.785	1.877	0.533	0.085	0.918	6.649	33.742
	13.895	2.213	0.452	0.072	0.013	0.001	33.743
	14.389	2.291	0.436	0.069	0.031	0.007	33.750
	19.902	3.169	0.316	0.050	-0.003	0.000	33.750
	22.336	3.557	0.281	0.045	-0.389	1.757	35.507
	25.742	4.099	0.244	0.039	0.703	5.948	41.456
	27.888	4.441	0.225	0.036	0.255	0.307	41.762
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Анализ результатов динамических характеристик здания с применением коэффициентов и грунтового массива из объёмных конечных элементов приведены в табл. 2

Таблица 2

Сравнение динамических параметров здания при сейсмическом воздействии с учетом грунтового массива и коэффициентов жесткости основания

Варианты расчетов	Периоды колебания здания T (с)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ф/к										
С применением С1, С2 и КЭ-56.	2.139	2.032	1.567	0.524	0.447	0.425	0.265	0.251	0.225	0.218
С применением КЭ-36.	2.223	2.139	1.575	0.533	0.452	0.436	0.316	0.281	0.244	0.225
Разница (%)	3.78	5.00	0.51	1.69	1.11	2.52	16.14	10.68	7.79	3.11

Изополя осадка фундамента от РСН - 4 при учете грунтового массива и изополя напряжений по N_z представлены на рисунках 5 и 6.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что изополя осадки фундаментной плиты в первом и втором вариантах расчета почти не совпадают, но изополя осадки фундамента при моделировании основания из объёмных конечных элементов более близки к реальной, так как ядро жесткости здания

находится в зоне максимальной осадки и эта зона является наиболее нагруженной. Кроме того, из анализа изополя напряжения от статических нагрузок по РСН - 4 можно сделать вывод, что структура грунта в краевых зонах разрушается, так как максимальное значение, сжимающей силы в краевых зонах $N_z = 97 \text{ т/м}^2$ превышает значение расчетного сопротивления грунта $R=60 \text{ т/м}^2$. Горизонтальные перемещения от динамического воздействия при совместной работе здания с грунтовым массивом приведены на рисунках 7 – 9.

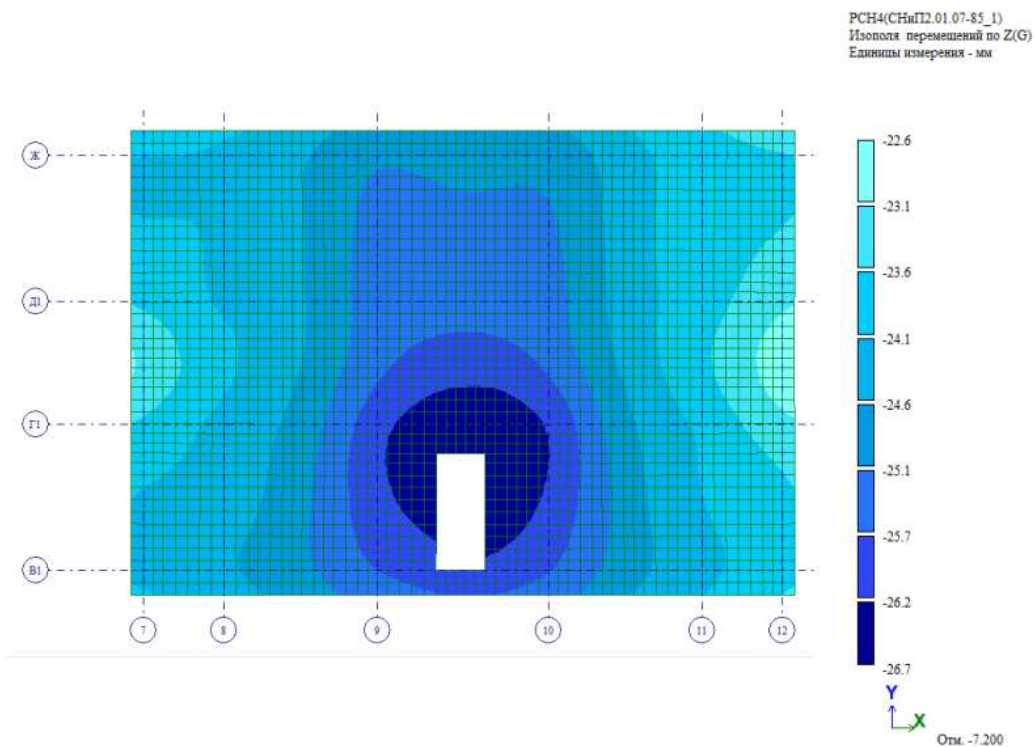


Рисунок 5. Изополя осадка фундаментной плиты с учётом грунтового массива

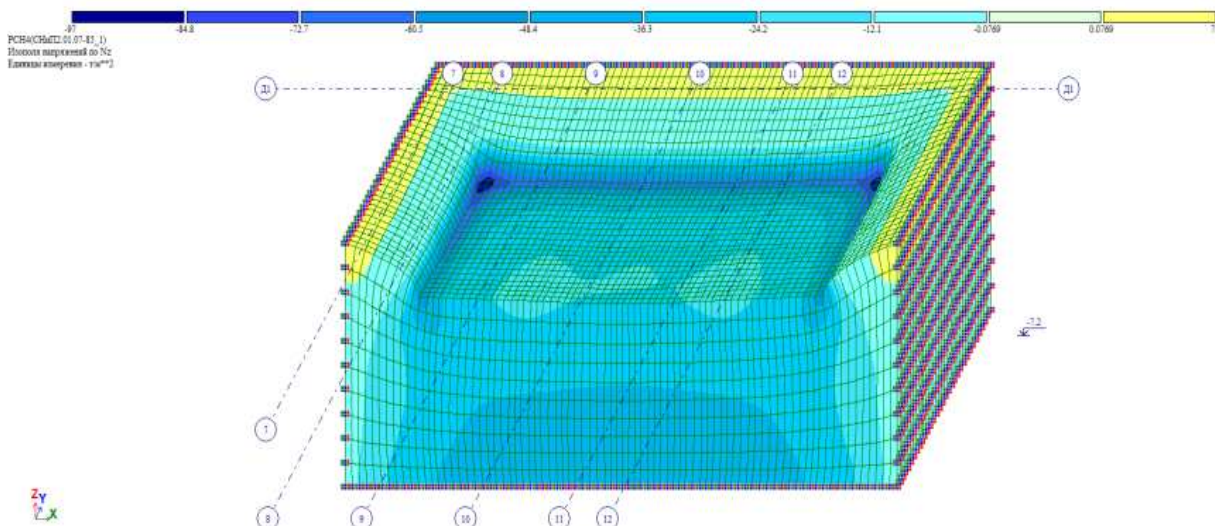


Рисунок 6. Изополя напряжений по N_z

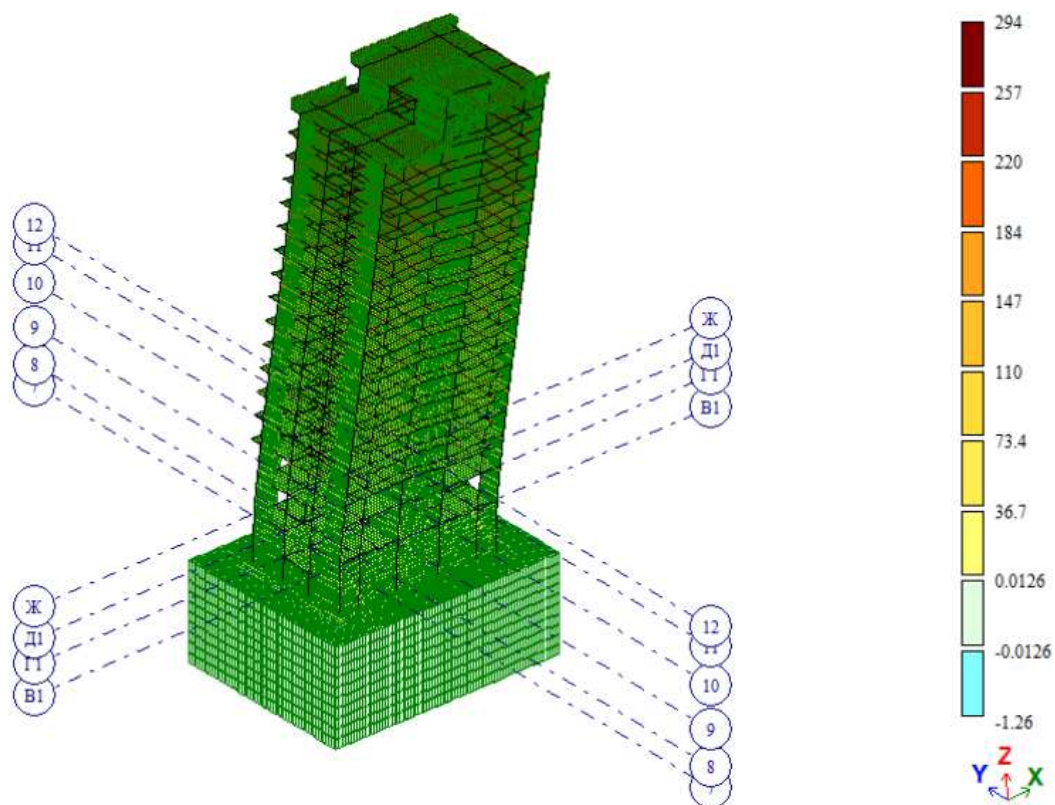


Рисунок 7. Горизонтальные перемещения при действии сейсмической нагрузки вдоль оси X

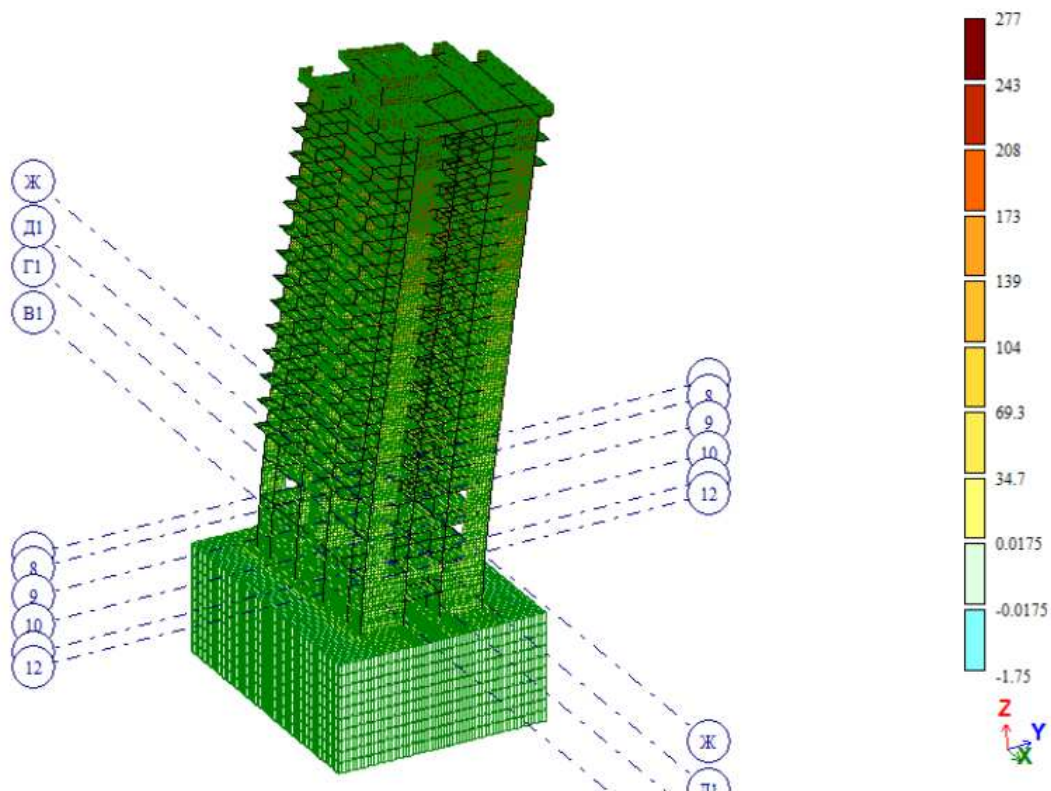


Рисунок 8. Горизонтальные перемещения при действии сейсмической нагрузки вдоль оси Y

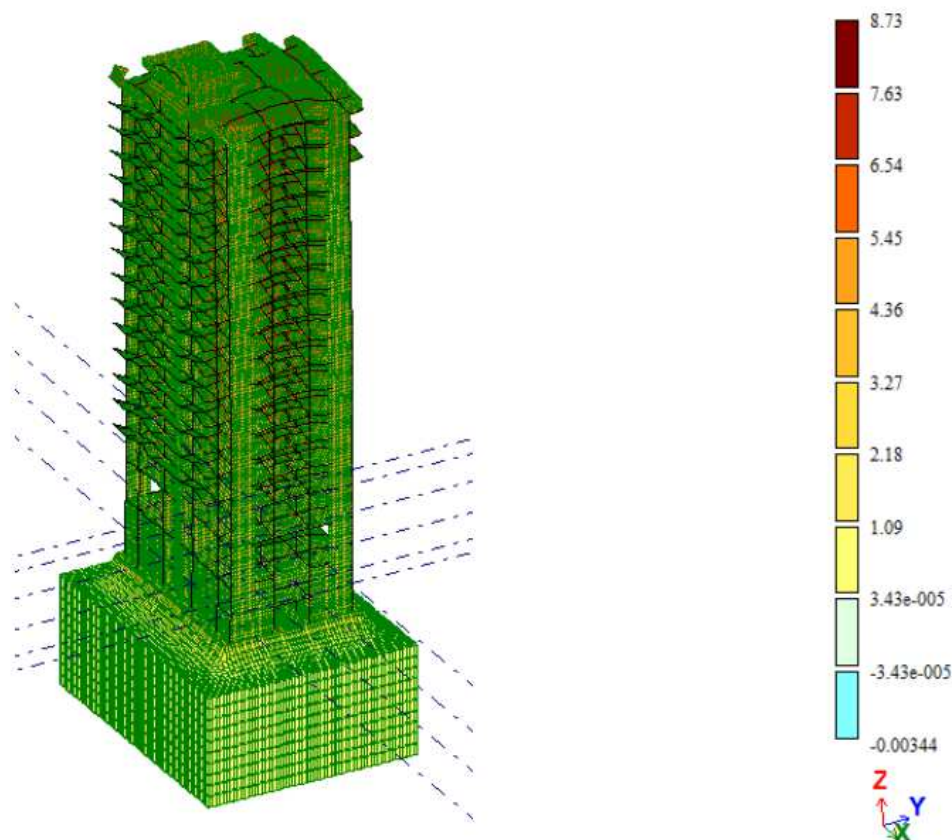


Рисунок 9. Горизонтальные перемещения при действии сейсмической нагрузки вдоль оси Z

Вывод. Анализируя значения изгибающих моментов, отметим, что учёт сейсмической нагрузки приводит к увеличению изгибающий момент на 44.3% при действии сейсмической нагрузки вдоль оси X, и на 36.6% при действии сейсмической нагрузки вдоль оси Y.

Численное моделирование задачи взаимодействия сооружения с основанием показывает, что картина распределения вертикальных перемещений фундаментной плиты зависит от коэффициента жесткости грунта основания. При его учете и учете упругого основания из объёмных конечных элементов характер осадки фундаментной плиты отличается друг от друга. Это, по-видимому, объясняется тем, что нагрузки на участке ядра жесткости больше, чем на других участках. Следовательно, работа упругого основания из объёмных конечных элементов более точно отражает его работу. Моделирование оснований зданий и сооружений с использованием объёмных конечных элементов позволяет более точно оценить динамическое поведения объекта при многокомпонентном сейсмическом воздействии, а также характер перераспределения усилий в фундаментной плите и толще грунта.

Библиографический список

1. Водопьянов Р.Ю. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Учебное пособие /Р. Ю. Водопьянов, Э.В. Гензерский, В. П. Титок, А.Е. Артамонова. – К.–М.: Электронное издание, 2012. – 249 с.
2. Городецкий Д.А. ЛИРА-САПР 2013. Учебное пособие /Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова. – К.–М.: Электронное издание, 2013. – 376 с.
3. Гринев В.В. Влияние диафрагм жесткости на деформативность монолитного каркаса /В.В. Гринев, П.А. Цингель //Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2016. № 3 Ч. 2. С. 64-69.
4. Ильицкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения /Е.И. Ильицкая и др.-М.: Недра, 1969.- 39 с.
5. Методические рекомендации по определению динамических свойств грунтов, скальных пород и местных строительных материалов. П 01-72. Ленинград, 1972.- 34 с.
6. СНиП РТ 22-07-2018. «Сейсмостойкое строительство» /Комитет по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан. – Душанбе: Издательство: ГУП «НИИСА» «Издательский центр», 2019 - 48с.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. – М.: ГУП ЦПП, 2016. – 80 с.
8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-012003. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 155 с.

9. СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. – 17 с.
10. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*. – М.: ГУП ЦПП, 2016. – 80 с.
11. Трофимов В.Т. Грунтоведение /В.Т.Трофимов, В.А.Королёв, Е.А.Вознесенский, Г.А.Голодковская, Ю.К.Васильчук, Р.С.Зиангиров -М.: Наука, 2005.-1024 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Qalandarbekov Imomyorbek Qalandarbekovich
Доктори илмҳои техникӣ, профессор, ДТТ ба номи академик М.С.Осими	Доктор технических наук, профессор ТТУ имени академика М.С. Осими	Doctor of technical sciences, professor TTU named after academician M.S. Osimi
kalandarbekov-55@mail.ru		
TJ	RU	EN
Маҳмадиев Усмонали Муродалиевич Докторанти PhD	Махмадиев Усмонали Муродалиевич Докторант PhD	Mahmadiev Usmonali Murodalievich PhD student
ДТТ ба номи академик М.С.Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Kalandarbekov Iftikhor Imomerbekovich
номзади илмҳои техникӣ	кандидат технических наук	candidate of technical sciences
ДТТ ба номи академик М.С.Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi

УДК 666.982.2

О НЕКОТОРЫХ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

И.И. Каландарбеков

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

Аннотация. В статье приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований модели трёхэтажного каркасного здания с учётом сейсмоизоляции и без учёта работы сейсмоизоляции. Приведены результаты экспериментальных исследований свободных колебаний динамической модели трёхэтажного здания и сопоставляются с расчётными данными. Представлены схемы расстановки измерительных приборов для регистрации колебаний в измерительных точках, расположенных в основании и по высоте физической модели здания. Для проведения эксперимента железобетонной модели здания были использованы контрольно - измерительные приборы: осциллограф Н-700, вибродатчики и вибратор. Показано, что применение сейсмоизоляции приводит к снижению уровня горизонтальных ускорений на конструкциях верхнего строения здания приблизительно в 2 раза как на уровне основания модели здания, так и на его покрытии.

Ключевые слова: сейсмоизоляция, виброплатформа, осциллятор, собственные колебания, круговая частота, статический прогиб, период колебаний, коэффициент затухания, декремент затухания.

ОИД БА БАЪЗЕ НАТИЧАҶОИ ТАҶҚИҚОТӢ - ТАҶРИБАВИИ БА ДАСТ ОВАРДА ШУДАИ МОДЕЛИ ФИЗИКИИ БИНОИ АЗ ОҶАНУБЕТОН

Аннотатсия. Дар мақола баъзе натиҷаҳои таҷқиқоти таҷрибавии модели сеошӯнаи синҷии бино бо баҳисобгирии ҷудокунакҳои сейсмиқӣ ва бебаҳисобгирии кори онҳо оварда шудааст. Натиҷаи таҷқиқоти таҷрибавии лаппиши озоди модели динамикии бинои сеошӯна ва қиёси ин натиҷаҳо бо маълумотҳои ҳисобӣ оварда шудааст. Схемани ҷойгиршавии асбобҳои ченкунанда барои қайди лаппиш дар нуқтаҳои ченкунанда, ки дар асос ва бо самти баландии модели физикии бино ҷойгир аст, нишон дода шудааст. Барои гузаронидани таҷрибаи модели бинои оҷанубетонӣ, асбобҳои назоратӣ-ченкунанда истифода бурда шудаанд: осциллограф Н-700, вибрдатчикҳо ва вибратор. Нишон дода шудааст, ки истифодабарии ҷудокунакҳои сейсмиқӣ ба кам шудани шитоби уфуқӣ дар конструкцияҳои болоии бино тахминан 2 маротиба, чи дар сатҳи асос ва чи дар сатҳи бомпуш оварда мерасонад.

Калид вожаҳо: ҷудокунакҳои сейсмиқӣ, виброплатформа, осциллятор, лаппиши хусусӣ, зудии даврӣ, хаамиши статикӣ, даври лаппиш, зарии хомушкунанда, декременти хомушкунанда.

ON SOME OBTAINED RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PHYSICAL MODEL OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING

Annotation: The article presents some results of experimental studies of the model of a three-story frame building, taking into account seismic isolation and without taking into account the work of seismic isolation. The results of experimental studies of free oscillations of the dynamic model of a multi-storey building are presented and compared with the calculated data. The schemes of arrangement of measuring instruments for recording vibrations at measuring points located at the base and along the height of the physical model of the building are given. For the experiment of the reinforced concrete model of the building, instrumentation was used: an H-700 oscilloscope, vibration sensors, a vibrator. It is shown that the use of seismic isolation leads to a decrease in the level of horizontal accelerations on the structures of the upper structure of the building by approximately 2 times both at the level of the base of the building model and on its cover.

Key words: seismic isolation, vibration platform, oscillator, natural vibrations, circular frequency, static deflection, oscillation period, damping coefficient, damping decrement.

Введение

Проблема обеспечения сейсмостойкости сооружений и безопасности проживания людей на сейсмически активных территориях является актуальной. Вопросы защиты зданий и сооружений от сейсмических нагрузок является задачей первостепенной важности. Необходимо совершенствовать методы расчёта зданий и воздействий. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты зданий и сооружений является сейсмоизоляция [1-3, 8-10]. Этот способ сейсмозащиты предусматривает снижение сейсмических нагрузок на сооружения за счёт регулирования их динамических характеристик во время колебательного процесса при землетрясениях.

Расчётная модель

Расчетная схема виброплатформы может быть задана в виде линейного осциллятора с небольшим затуханием [4-7]. При этом опорные стойки (рис. 1) представляются как стержни с защемленными концами при возможных горизонтальных перемещениях верхнего конца стойки. Задаваясь предварительно размерами стоек, период собственных колебаний платформы можно определить по формуле

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi \sqrt{m/k} = 2\pi \sqrt{Q\delta_{11}/g} = 2\pi \sqrt{X_{cm} / g}, \quad (1)$$

где ω – круговая частота свободных колебаний платформы,

$X_{cm} = Q\delta_{11}$ – статический прогиб стойки, g – ускорение силы тяжести.



Рисунок 1. Опоры виброплатформы

Статический прогиб опорной стойки X_{cm} определяется по формуле

$$X_{cm} = 2\pi \frac{(P/4)(l/2)^3}{3EJ}, \quad (2)$$

где l – рабочая длина гибкой стойки; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала стойки; $J = hb^3/12$ – момент инерции сечения стойки. Вес платформы 12000 кг. $E = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/см². $J = 104,16$ см⁴, $h = 10$ см, $b = 5$ см, $P = 12000$ кгс, $g = 981$ см/с², длина стоек $l = 43,5$ см,
 $X_{cm} = 6,28 \cdot 0,047 = 0,295$ см, $T = 6,28 \cdot 0,0173 = 0,1086$ с, $f = 9,2$ Гц.

С увеличением высоты стоек период колебаний будет увеличиваться, а частота колебаний уменьшаться.

Собственная частота колебаний виброплатформы, выведенной из состояния покоя коротким импульсом (ударное воздействие на платформу). При высоте стоек платформы 43,5 см собственная частота колебаний составила 9,1 Гц, что удовлетворительно согласуется с расчетными данными. Логарифмический декремент колебаний (декремент затухания) равен натуральному логарифму отношения двух последовательных амплитуд $\delta = \ln 1,13 = 0,122$. Коэффициент затухания системы равен декременту колебаний деленному на 2π , $\alpha = 0,122 / 2\pi = 0,02$

На рис.2 затухающие колебания колебаний виброплатформы при ударном воздействии, согласно которому при высоте опорных стоек 43,5 см собственная частота платформы составила 9,0 Гц.



Рисунок 2. Собственные затухающие колебания виброплатформы при ударном воздействии

Применяемые измерительные приборы.

Измерительные приборы для регистрации колебаний в измерительных точках ИТ 1,2,3 и 4, располагались в основании и по высоте физической модели здания. Установленная аппаратура производила регистрацию колебаний при помощи измерительной аппаратуры (сейсмометр и осциллограф), смещенной колебаниями на осциллографную фотобумагу. Ориентация направлений

колебаний – **У** вдоль платформы, **Х** – поперек платформы и **Z** в вертикальном направлении. Точки для измерения: **ИТ1** – расположена на основании платформы, **ИТ2** – на основании модели, **ИТ3** – на перекрытии 1–го этажа, **ИТ4** – на перекрытии 3–го этажа.

Для проведения испытаний железобетонной модели были использованы следующие контрольно-измерительные приборы: осциллограф Н-700, вибродатчики, вибратор. Приборы, использованные в ходе проведения экспериментальных исследований, представлены на рис. 3.



Рисунок 3. Пульт управления

Переносной универсальный осциллограф Н-700 (рис. 4) используется в комплексе с сейсмометрами ВЭГИК, СМ-3, С-5-С, ВБП и другими при инженерно-сейсмометрических наблюдениях в стационарных и экспедиционных условиях. Основные узлы прибора – магнитный блок с гальванометрами, осветитель, оптическая система, отметчик времени, лентопротяжной механизм, кассета с ведущим валом, панель управления. В корпусе прибора смонтированы все узлы, кроме кассеты, которая крепится к боковой стенке прибора на вертикальных направляющих. Передача движения кассете производится при помощи соединительных шестерен, выступающих из кассеты и корпуса осциллографа. Все органы управления находятся на верхней панели под крышкой.



Рисунок 4. Осциллограф Н-700

Колебания системы платформа-модель здания осуществлялись сейсмоприемником СМ-3. Период собственных колебаний $T_s = 2$ сек, максимальная амплитуда колебаний катушки преобразователя – 5мм. Общий вид сейсмометра изображен на рис. 5. На основании прибора закреплен кронштейн, к горизонтальной или вертикальной стороне которого крепится корпус, на котором смонтированы все детали и узлы прибора – маятник, магнитная система, координатный механизм с двумя регулировочными винтами, термокомпенсатор, система арретиров.

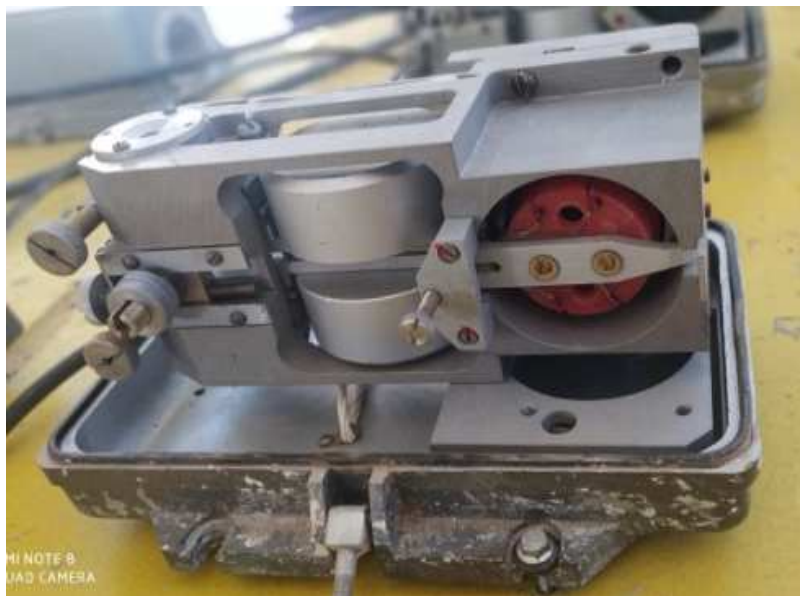


Рисунок 5. Сейсмометр СМ-3 горизонтальный

Колебание виброплатформы осуществляется вибратором реактивного действия (рис.6) в паре с асинхронным электродвигателем типа 4АМ 200L4 мощностью 45 квт. 1420 об/мин. Тип ротора электродвигателя трехфазный, короткозамкнутый, количество полюсов 4, вес 300 кг. В качестве основного возбудителя вибратора применен преобразователь частоты VFD - В мощностью 45квт. Напряжения 380В. Асинхронный электродвигатель – это электрический двигатель переменного тока, частота вращения ротора которого не равна (в двигательном режиме меньше) частоте вращения магнитного поля, создаваемого током обмотки статора. Трехфазный асинхронный электродвигатель, как и любой электродвигатель, состоит из двух основных частей – статора и ротора. Статор – неподвижная часть, ротор – вращающаяся часть. Ротор размещается внутри статора. Вибратор (рис.6) состоит из редуктора, с передаточным числом равным единице, имеющего один выходной вал, с помощью которого он соединяется с приводным электродвигателем, и два выходных вала, на которые насажены эксцентрики с грузами.



Рисунок 6. Крепление двигателя к нижней части виброплатформы

Специфическая особенность работы каркаса многоэтажных железобетонных зданий при действии горизонтальных сейсмических сил состоит в знакопеременных усилиях, которые в узлах рам близки к кососимметричным. Оценка эффективности работы системы сейсмоизоляции позволяют показатели снижения абсолютных ускорений на модели сейсмоизолированного здания. Согласно показаниям вибродатчиков применение сейсмоизоляции приводит к снижению уровня горизонтальных ускорений на конструкциях верхнего строения здания приблизительно в 2 раза как на уровне основания модели здания, так и на его покрытии.

Результаты и обсуждения

В табл. 1 сравниваются результаты горизонтальных перемещений модели с сейсмоизоляцией и без сейсмоизоляции при $f = 9 \text{ Гц}$, $m_1 = m_2 = 3,6 \text{ кг}$.

Таблица 1. Горизонтальные перемещения модели здания вдоль платформы при различных значениях массы эксцентриксов и частоты вращения ротора

№	Место установки сейсмометра	Ориентация	Коэф. загрузки, β	Увеличение V_β	Амплитуда на сейсмограмме(мм)	Смещение a (мм)
Модель с сейсмоизоляцией при $f = 9 \text{ Гц}$, $m_1 = m_2 = 3,6 \text{ кг}$						
2	Основание платформы	Y-Y	50	23.4	28.0	1.2
8	Основание конструкций	Y-Y	100	12.8	17.0	1.33
9	Перекрытия 1-го этажа	Y-Y	100	12.2	9.5	0.778
10	Перекрытия 3-го этажа	Y-Y	100	12.9	8.5	0.659
Модель без сейсмоизоляции при $f = 9 \text{ Гц}$, $m_1 = m_2 = 3,6 \text{ кг}$						
2	Основание платформы	Y-Y	100	11.7	14.0	1.2
8	Основание конструкций	Y-Y	10	128	16.5	1.32
9	Перекрытия 1-го этажа	Y-Y	100	11.2	8.0	0.714
10	Перекрытия 3-го этажа	Y-Y	100	11.9	7.0	0.6

На рис.7 приведены графики изменения перемещения в различных точках системы «платформа-модель здания» в зависимости от скорости вращения ротора. Из сравнения результатов, приведенных на рис.7, а следует, что движения различных точек модели в продольном направлении, при $m_1 = m_2 = 1,2 \text{ кг}$, по форме совпадают и достигают максимального значения при $\theta = 10 \text{ Гц}$. Колебания системы в поперечном направлении (рис.7, б) имеют на порядок меньше амплитуду, чем в продольном направлении.

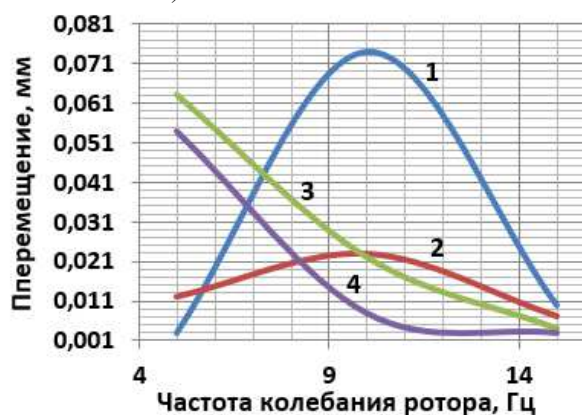


Рисунок 7. Графики перемещения различных точек модели с сейсмоизоляцией в зависимости от частоты вращения ротора при массе эксцентриксов $m_1 = m_2 = 1,2 \text{ кг}$: а- вдоль платформы; б- поперек платформы: 1 – поверхность платформы; 2 – опорная часть модели; 3 – плита перекрытия 1-го этажа; 4 – плита перекрытия 3-го этажа.

На рис.8 приведены результаты, полученные при массе эксцентрика 2,4кг. Можно увидеть, что с увеличением массы эксцентриксов в 1,5 раза, перемещение опорной части модели возрастает в 1,22 раза.

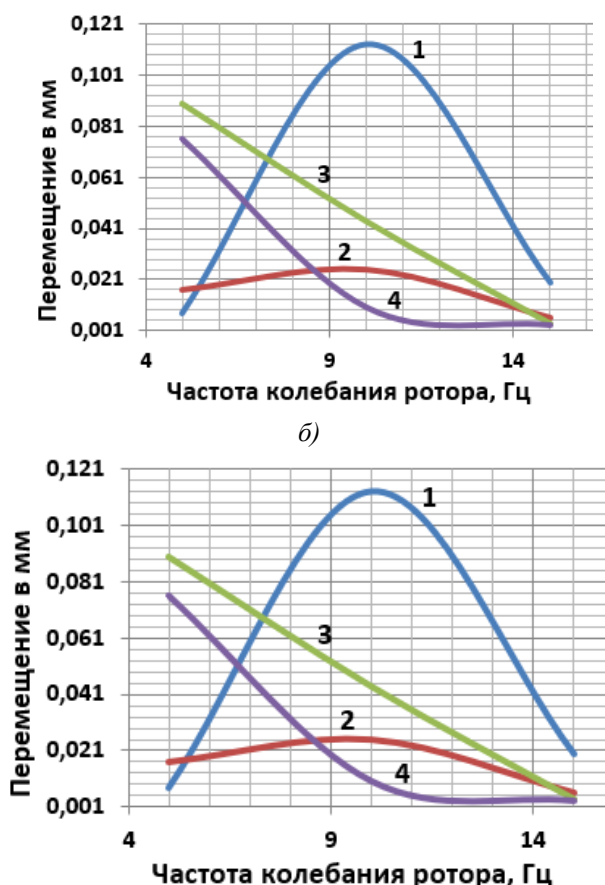


Рисунок 8. Графики перемещения различных точек модели с сейсмоизоляцией в зависимости от частоты вращения ротора при массе эксцентриков $m_1 = m_2 = 2,4$ кг: а - вдоль платформы; б - поперек платформы: 1 – поверхность платформы; 2 – опорная часть модели; 3 – плита перекрытия 1-го этажа; 4 – плита перекрытия 3-го этажа.

Вывод. Сопоставление результатов, частоты колебания от перемещения показывает, что движения различных точек модели в продольном направлении, при $m_1 = m_2 = 1,2$ кг, по форме совпадают и достигают максимального значения при $\theta = 10$ Гц. В поперечном направлении колебания системы имеют на порядок меньше амплитуду, чем в продольном направлении. Следует отметить, что при увеличении массы эксцентриков 1,5 раза, перемещение опорной части модели возрастает в 1,22 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП. Здания сейсмостойкие и сейсмоизолированные. Правила проектирования /В.И.Смирнов, А.А.Бубис //Центр исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Институт ОАО НИЦ Строительство. – М.: Мин. регион России, 2013, 45 с.
2. Айзенберг, Я.М. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор /Я.М. Айзенберг, В.И. Смирнов, Р.Т. Акбиев // – М.: РАСС, 2008, 46 с.
3. Uniform Building Code, International conference of building officials, Whittier; California, USA, 1997, p. 1079.
4. Каландарбеков И. Анализ поведения многоэтажных зданий на основе расчета с учетом упруго – пластических деформаций при действии мгновенного импульса. ДАН Республики Таджикистан, Т.50.- № 6, 2007, с. 560-568.
5. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Динамический расчёт многоэтажных зданий на основе метода сосредоточенных деформаций. Известия АН Республики Таджикистан. Душанбе, 2007. – № 1 (126), с. 98-106.
6. Каландарбеков И. Свободные колебания систем со многими степенями свободы с учетом упругопластических деформаций. Промышленное и гражданское строительство, Москва, 2009, №1, с. 37-38.
7. Каландарбеков И., Низомов Д.Н., Каландарбеков И.И. Сравнительный анализ различных типов сейсмоизоляции в многоэтажных зданиях. Известия АН РТ, 2016, №4 (165), с. 58-64.

8. Каландарбеков И.И., Каландарбеков И., Низомов Д.Н. Сейсмоизоляция как средство защиты зданий от землетрясений. Научный журнал. Наука и инновация. ТГНУ, 2017, с. 133-136.
9. Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И., Низомов Д.Н. Инновационные методы защиты зданий и сооружений от землетрясений. Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук.- 2018, №1(170), с. 64-72.
10. Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Каландарбеков И.И. Исследование свободных колебаний сейсмоизолированных зданий с учётом кручения и поворота инерционных масс. Научный журнал. Душанбе. Политехнический вестник. Серия инженерные исследования. №4(44), 2018, с. 165 -170.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Qalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техникӣ,	Кандидат технических наук	Kandidat of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
iftikhor791@mail.ru		
0000-0002-4807-0169		

ТАВСИЯҶО ОИДИ ЛОИҲАКУНИИ БИНОҶОИ ЭНЕРГОСАМАРАНОКИ ПАССИВӢ ДАР ШАРОИТИ ШАҲРИ ХУЧАНДИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Ф.З. Мирзоева, Н.О. Олимова

Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур лоиҳакунии бинои энергосамараноки пассивӣ барои шароити иқлимии шаҳри Хучанд пешниҳод карда шудааст. Дар бораи параметрҳои биноҳои пассивӣ, ки аз рӯи хусусиятҳои иқлимии шаҳри Хучанд таҳлил карда шуданд, маълумот дода шудааст. Дар раванди тадқиқот ҳамчун намуна лоиҳаи як бинои истиқоматии индивидуалӣ тарҳрезӣ карда шуда, дар натиҷаи таҳлилҳо оиди ҳалли тарҳию ҳаҷмӣ ва меъморӣ, инчунин интиҳоби масолахҳо тавсияҳо оварда шудаанд. Аз рӯи ҳисоби натиҷаҳо дар барномаи PHPP (пакети лоиҳакунии бинои пассивӣ) ба талаботи биноҳои пассивӣ мутобиқат кардани бинои лоиҳашуда исбот карда шуд, ки сарфи ҳади энергияи гармӣ барои системаи гармидиҳӣ истифодашаванда бояд на зиёд аз 15 кВт с/м² сол бошад.

Калимаҳои калидӣ: бинои пассивӣ, системаи ҳавотозакунӣ, энергияи Офтоб, офтобҳимоякунак, гармимуҳофиза, гармигузаронӣ, муқовимати гармигузаронии деворҳо.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПАССИВНЫХ ДОМОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА ХУДЖАНДА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В данной статье предложено проектирование энергоэффективного пассивного дома для климатических условий города Худжанда. Приведены сведения о параметрах пассивного дома, которые были анализированы с учётом климатических особенностей города Худжанда. В ходе исследования в качестве примера спроектирован индивидуальный жилой дом и представлены рекомендации по планированию – архитектурным решениям, а также выбору конструкций. По результатам расчётов в программе PHPP (пакет проектирования пассивного дома) было доказано соответствие спроектированного дома требованиям пассивных домов, в котором предельный расход энергии для отопительной системы не должен превышать 15 кВт ч/м² в год.

Ключевые слова: пассивный дом, система вентиляции, энергия Солнца, солнцезащитная система, теплоизоляция, теплопроводность, сопротивление теплопередачи стен.

RECOMMENDATIONS FOR DESIGNING AN ENERGY-EFFICIENT PASSIVE HOUSE IN THE CONDITIONS OF KHUJAND CITY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

This article proposes the design of an energy-efficient passive house for the climatic conditions of the city of Khujand. Information about the parameters of the passive house, which were analyzed taking into account the climatic features of the city of Khujand, is given. In the course of the study, an individual residential building was designed as an example and recommendations on planning and architectural solutions, as well as the choice of structures, were presented. According to the results of calculations in the PHPP (passive house project package), it was proved that the designed house meets the requirements of passive houses, in which the maximum energy consumption for the heating system should not exceed 15 kW h/m² in the year.

Keywords: passive house, ventilation system, solar energy, sun protection system, thermal insulation, thermal conductivity, wall heat transfer resistance.

Нархҳои барқ ва манбаъҳои гармкунӣ торафт афзуда истодаанд. Масъалаи ҳарҷҳои барои истифодабарии бино сарфшаванда тезу тунд аст. Аз ин лиҳоз ҳалли ҳар чӣ камсарф кардани хароҷотҳои истифодаи бино мувофиқи мақсад аст. Азбаски хароҷоти қувваи барқ муаммои ҳармоҳаи ҳамаи шаҳрвандон мебошад, кам кардани он мақсади ҳар шахс аст. Маҳз барои сарфаи энергия ва таҷҳизотҳои лоиҳакунии биноҳои аз ҷиҳати энергия самаранок ба роҳ монда шудаанд, ки бинои пассивӣ яке аз намуди камхарҷтарини онҳо мебошад.

Аз ин рӯ мутобиқ кардани лоиҳакунии бинои пассивӣ нақши назаррас дорад. Зеро дар **бинои пассивӣ** барои гармкунии ҳучраҳо дар давраи хуноки сол системаи гармкунӣ лозим намеояд. Бо ҳалли ҳаҷмию тарҳӣ, интиҳоби конструксияҳои гармиҳимоякунӣ ва системаи ҳавотозакунӣ рекуператордор ҳарорати 20°C-ро дар дохили ҳучраҳо таъмин кардан мумкин аст. Инчунин дар давраи гарми сол, бе таҷҳизоти хунуккунӣ (кондиционер), бо ёрии ҳамон системаи ҳавотозакунӣ ҳавои дохили ҳучра то 25°C хунук карда мешавад.

Нишондоди энергосамаранокии объектро аз рӯи сарфи энергияи гармкунанда барои метри квадратӣ дар як сол ёки давраи гармкунӣ ҳисоб мекунанд. Дар ҳисоби миёна он 100-120 кВт·с/м² - ро ташкил медиҳад. Бино аз ҷиҳати энергия самаранок ҳисобида мешавад, агар ин нишондод аз 40 кВт·с/м² кам бошад. Барои давлатҳои Аврупо ин нишондод боз ҳам камтар – дар атрофи 15 кВт·с/м².

Бинои пассивӣ, бинои аз ҷиҳати энергия самаранок ё ки бинои экологӣ – иншооте, ки хусусияти асосии он набудани талабот ба системаи гармкунӣ ва ё ҳарҷи ками энергия – дар ҳисоби миёна атрофи 15% аз сарфаи энергияи аз тарафи зиёди биноҳои ҳозиразамон сарфшаванда мебошад.

Дар намуди идеалӣ бошад, **бинои пассивӣ** бояд системаи энергетикӣ мустақиле бошад, ки барои ҳарорати комфортӣ дохили бино хароҷотро тамоман талаб накунад. Гармкунии бинои пассивӣ аз ҳисоби гармие, ки аз тарафи истиқоматкунандагон ин бино ва таҷҳизотҳои рӯзгор ҷудо мешавад, инчунин аз гармии Офтоб ба амал бароварда мешавад. Дар зарурияти гармкунии иловагӣ аз системаи ҳавотозакунӣ ва дигар сарчашмаҳои энергия истифода бурдан ҷои қабул аст [1].

Ҳоло дар Тоҷикистон сарфаи қувваи барқ масъалаи муҳим мебошад, зеро дар айни замон норасоии ҳамасолаи он дар атрофи 2,5 миллиард кВтс аст. Истеҳсоли зиёда аз 90%-и қувваи барқ ба нерӯгоҳҳои

оби барқӣ рост меояд. Ин ба вобастагии тамоми системаи барқии кишварро аз ҷараёни оби дарёи Вахш дар назар дорад, ки он дар тобистон зиёд шуда, дар зимистон бошад, ниҳоят кам мешавад. Баръакс, истеъмоли қувваи барқ бошад, дар зимистон меафзояд. Чунин масъалаи душворро мамлакати мо аз охири солҳои 90-уми асри гузашта ҳаракати ҳал карданро дорад [2]. Бо ин мақсад якҷанд ҳуҷҷатҳои нақшавию меъёри қабул карда шудаанд, ки яке аз онҳо “Нақшаи генералии истифодабарии самараноки энергия барои Тоҷикистон” мебошад. Он аз тарафи гурӯҳи экспертони байналмиллалӣ Барномаи Тараққиёти Ташкилоти Давлатҳои Муттаҳид коркард карда шудааст. Дар ин нақша дар бораи кам кардани истифодаи энергия дар шаҳрҳо ва деҳаҳо низ бандҳои алоҳида ҷудо карда шудаанд. Барои баланд бардоштани самаранокии истифодаи энергия дар шаҳрҳо бояд ба маълумотҳои меъерӣ ҳуқуқи таъаҷиб намуд. Барои деҳот бошад, чораҳои модернизатсияи биноҳо бо роҳи истифодабарии масолеҳҳои сохтмони дастрас, камхарҷ ва кадрҳои боихтисоси маҳаллӣ пешбинӣ карда шудаанд [3]. Инчунин роҳҳои ба даст овардани сарфаи энергия низ дар якҷанд усулҳои мувофиқ баён карда шудаанд:

гармиҳимоякунии биноҳо бо мутобиқи усули сохтмони анъанавӣ иҷро шаванд;

масолеҳҳои, ки барои баланд бардоштани сифати изолиронии конструкцияҳои ихотақунанда истифода мешаванд, бояд маҳсули маҳаллӣ буда, арзон ва дастрас бошанд. Коҳи биринҷ ва гандум аз қабилӣ чунин масолеҳанд. Инчунин қамиш, буттаҳо метавонанд масолеҳи изолятсионӣ гарданд...;

истифодаи тирезаҳо бо оинабандии дуқабата... [3].

Дар кишварамон бо мақсади баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ биноҳои истиқоматӣ Кумитаи сохтмон ва меъмурии Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳанӯз соли 2009 меъёру қоидаҳои нави гармиҳимоякунии биноҳоро коркард карда буд. Баъд аз соли 2013 барои ҳамаи биноҳои нав гирифтани шиносномаи энергетикӣ ҳатмӣ мебошад. Мувофиқати биноҳо ба стандартҳо бо ёрии таъминоти барномавӣ баҳо дода мешавад. Дар асоси нишондодҳои техникӣ объект барнома онро ба ин ё он гурӯҳи самаранокии энергия дохил мекунад. Ин гурӯҳҳо панҷгӯша ташкил мекунад: “А”, “В”, “С”, “D”, “Е”, ки яқини он аз ҷиҳати энергия аз ҳама самаранок ва охиронаш аз ҳама сарфкунанда мебошад. Биноҳои гурӯҳи сеюм аввал барои сохтмон иҷозат дода мешаванд. Аммо қисми асосии фонди манзилгоҳи Тоҷикистонро биноҳои шӯравӣ ташкил медиҳанд. Дар ҳолати гузаронидани таъмири асосӣ дар ин биноҳо бояд истиқоматкунандагон мувофиқи стандартҳои нави гармиҳимоякунии иҷро кунанд.

Дар айни замон дар Тоҷикистон баъзе биноҳо аз ҷиҳати энергияи самаранок мушоҳида карда шудааст, ки масалан, самараноктарини онҳо хонаи истиқоматӣ Шамсиддин Мирзоев мебошад. Бино дар наздикии машқоҳи ҳарбии Лоҳур, дар 30 км-и ҷанубу ғарбии шаҳри Душанбе, дар ноҳияи Рӯдакӣ ҷойгир шудааст. Ин бинои таҷрибавӣ аст, ки аз тарафи якҷанд ташкилотҳои байналмиллалӣ лоиҳакашӣ карда шудааст. Инчунин ташкилотҳои принципҳои бунёди бино ва масолеҳҳои сохтмониро низ интихоб намуданд. Лоиҳа аз рӯи ҳисобҳои муаллифони он, барои гармкунии бинои оддӣ бобарории ҳудро нишон дод, яъне бинои оддӣ дар як сол зиёда аз 3 тонна ангиштро сарф мекунад, барои бинои аз ҷиҳати энергия самаранок бошад, ҳамагӣ 1160 кг истифода мебарад. Лоиҳаи бинои дар боло зикргардида сеҳонагӣ мебошад, ки он аз меҳмонхона, ҳуҷраи хоб ва бинои умумӣ иборат аст. Намои асосии ин бино барои зиёд дохил шудани нурҳои офтоб ба ҷануб нигаронида шудааст. Аз тарафи шимол бошад, ҳуҷраҳои истиқоматӣ барои кам кардани гармиталафдиҳӣ бо ҳуҷраҳои ёрирасон (ошхона ва қисми санитарӣ) ҷудо карда шудаанд (расми 1) [2].



Расми 1. Бинои хонаи истиқоматӣ аз ҷиҳати энергосамаранок дар ноҳияи Рӯдакӣ, наздикии машқоҳи ҳарбии Лоҳур.

Инчунин, дар солҳои охир дар кишварамон бо ёрии ташкилотҳои байналмиллалӣ, азҷумла ташкилоти фаронсавӣ GERES (гурӯҳ аз рӯи муҳити зист, манбаъҳои энергияи барқароршаванда ва муттафиқӣ), якҷанд биноҳои аз ҷиҳати энергия самаранок сохта шуда истодаанд. Бинои пасивӣ бошад, яке аз биноҳои

энергиясамараноке мебошад, ки он сарфи энергияро барои гармкунии бино то 80-90% кам мекунад. То ҳол дар ҷумҳуриамон чунин бино сохта нашудааст. Бинои аз ҳама самаранок то 60% энергияро барои гармкунӣ сарфа мекунад. Аз ин лиҳоз лоиҳакунӣ бинои пассивӣ барои кишварамон дар мисоли шаҳри Хучанд аҳамияти калон дорад.

Иқлими Тоҷикистон гарм, хушк, континенталии шадид бо зимистони кӯтоҳу мулоим ва тобистонаш тӯлонии гарм мебошад. Иқлими Тоҷикистон дар натиҷаи таъсири мутақобилаи бисёр омилҳои гуногун, масалан: мавқеи ҷуғрофӣ, релеф, радиатсияи Офтоб, сиркулятсияи атмосфера ташаккул меёбад.

Тоҷикистон дар ҷанубу шарқи Осиёи Миёна, дуртар аз баҳру уқёнусҳо ҷойгир аст. Бинобар ин тағйироти унсурҳои метеорологии мавсимӣ ва шабонарӯзӣ дар ин ҷо зиёд мебошад. Вобаста ба релеф ва баландии маҳал аз сатҳи баҳр дар ҷумҳури чанд навъи иқлим ташаккул меёбад:

Иқлими хушки субтропикӣ (дар водихои Вахш ва Ҳисор), ки тобистон тӯлонӣ, гарм, зимистон кӯтоҳи нарм ва боришот кам (150-200 мм);

Иқлими хушки континенталӣ, ки тобистон гарм ва зимистон хунук буда, 350-700 мм боришот мешавад.

Тобистони кишварамон тӯлонӣ, хушк ва гарм буда, дар водихо ҳарорат то +40-45°C мешавад. Маҳалли гармтарини Тоҷикистон ноҳияи Шаҳритус (Айваҷ +48°C) ба шумор меравад. Дар баъзе ноҳияҳои Тоҷикистон бодҳои маҳаллӣ, ки вобаста ба фасли сол ва релеф мевазанд, омили иқлимҳосилкунанда мебошанд. Дар фаслҳои тобистон ва тирамоҳи Тоҷикистони Шимолӣ аз биёбонҳои Осиёи Миёна гармсел мевазад. Гармсел боди тасфону хушк буда, дар миқёси Осиёи Миёна аз ҳаракатҳои ҳавои тасфони биёбонҳои Қизилқум ва Қароқум ҳосил мешавад. Гармсел дар як сония то 15-20 метр вазида, ҳарораташ то ба 40°C мерасад.

Чадвали 1

Ҷамъи нурпошии офтоб (рост ва пароканда) ба ҳамвории амудӣ ҳангоми беабрии осмон барои ҳар моҳи сол: мҷ/м²

Маҳал	Арзи ҷуғрофӣ: дараҷаи а.ш.	Тараф	Моҳҳо											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вилояти Суғд														
Обанбори Қайроққум	40°16'	Шим. Ш.	-	106	184	239	296	275	272	236	169	117	84	-
		Ш.	167	192	296	339	415	394	371	358	305	254	191	155
		Ҷ.Ш.	502	474	412	400	415	376	380	396	409	432	404	448
		Ҷ.	673	605	476	385	332	266	280	341	422	508	515	600
		Ҷ.Ш.	502	474	412	400	415	376	380	396	409	432	404	448
		Ш.	167	192	296	339	415	394	371	358	305	254	191	155
		Шим. Ш.	-	106	184	239	296	275	272	236	169	117	84	-

Эзоҳ: Қиммати нурпошии офтоб барои маҳалли баррасишаванда бо роҳи интерполятсия: вобаста аз мавқеи ҷойгиршавӣ ва орографияи маҳал қабул карда мешавад. Барои шаҳрҳо ва шаҳракҳои дар минтақаҳои пасткӯҳ ҷойгирбуда – ба қимматҳои ш. Қўргонтеппа; дар минтақаҳои миёнакӯҳ ҷойгирбуда – ба қимматҳои ш. Душанбе, обанбори Қайроққум ва Ҳарамкўл ва дар минтақаҳои баландкӯҳ ҷойгирбуда – ба қимматҳои маҳалли ба номи ак. Горбунов (пиряхи Федченко) таъя намудан тавсия дода мешавад [6].

Ҳарорати миёнаи шаҳри Хучанд 15,3°C мебошад. Боришоти миёна бошад, дар як сол 376 мм-ро ташкил медиҳад. Аз ҳама моҳи хушктарин ин Август мебошад, ки боришот то 4мм ва боришоти зиёд, яъне дар ҳисоби миёна 67мм дар моҳи Апрель ба назар мерасанд. Моҳи Июл аз ҳама гарм ба ҳисоб рафта ҳарорати миёнаи он ба 28,7°C мерасад. Аз ҳама моҳи хунук бошад, Январ буда, ҳарорати миёнаи он ба 2,1°C баробар аст.

Қиммати нурпошии офтобро барои шаҳри Хучанд вобаста аз мавқеи ҷойгиршавӣ мувофиқи маҳалли обанбори Қайроққум аз рӯи МҚС ҶТ 23-01-2007 “Иқлимшиносии сохтмон” қабул мекунем (ҷадвали 1).

Барои пешгирии таъсири гармсел ба биноҳои пассивӣ дарахтшинонӣ, мавҷуд будани бинои дигар ва ё сохтани бинои ёрирасон аз тарафи шимолӣ бино ва дигар чораҳо мадад мерасонанд.



Аввалин бор дар таърих бинои пасивӣ дар Олмон дар шаҳри Дармштадт, ноҳияи Кранихштайн соли 1991 сохта шудааст. Дар он то ҳол 4 оила зиндагӣ мекунанд. Ин бино то дараҷае гармии камро сарф мекунад, ки аз системаи гармкунӣ метавонад даст кашад, яъне сарфи системаи гармкунӣ кам аз 1 литри сӯзишворӣ ба 1 м^2 дар як сол рост меояд (расми 2) [1].

Расми 2. Намои ҷанубии якумин бинои пасивии сохташуда дар ш. Дармштадт, Олмон.

Меъёрҳо барои сохтмони бинои пасивӣ:

сарфи ҳаддии энергияи гармӣ барои системаи гармидиҳӣ истифодашаванда бо ёрии “пакети лоиҳакашии бинои пасивӣ” маълумшуда набояд аз 15 кВт с/м^2 сол зиёд шавад;

истифодабарии умумии сарфи энергияи аввала барои ҳамаи эҳтиёҷоти маишӣ (системаи гармидиҳӣ, оби гарм ва энергияи барқӣ) аз 120 кВт с/м^2 сол набояд афзун бошад [2].

Дар раванди таҳқиқот аз тарафи муаллифони бинои пасивии истиқоматӣ барои як оила лоиҳабандӣ шуда, барои шаҳри Хучанд

пешбинӣ шудааст. Принципҳои асосии лоиҳакашии бинои пасивие, ки дар лоиҳа корбаст шудаанд, инҳо мебошанд:

Ҷойгиркунии дурусти бино ба тарафҳои рӯшноӣ: аз шамол Ҳимоякунии тарафи шимолӣ бино: бедару тиреза, баста шудани ин тараф бо дарахтҳои сабз, ҷангал, бинои дигар ва ғайра;

Оинабандии максималии бино аз тарафи ҷануб барои истифодаи гармии нурҳои Офтоб: тирезаҳо бояд дар намо бо чунин мутаносибӣ ҷойгир шаванд: 70-80%-и ҳамаи тирезаҳо аз тарафи ҷануб, 20-30% аз тарафи шарқ, 0-10% аз тарафи ғарб ва аз тарафи шимол тамоман набудани онҳо барои кам кардани талафоти гармии дохила;

Ихчамии (компактии) максималии бино: Монандии максималии шакли бино ба нимдоира ва ё доира аз ҳама намуди ихчам ба ҳисоб меравад;

Минтақабандӣ: тақсим кардан ба минтақаҳои буферӣ ва истиқоматӣ;

Ҷойгиркунии ҳучраҳои ёрирасон аз тарафи шимол ҳамчун минтақаҳои буферӣ;

Ҷойгиркунии минтақаи истиқоматӣ дар ҷанубу шарқ;

Мавҷудияти офтобҲимоякунаҳои тобистонаи беруна дар намуди элементҳои ба пеш барои маъморӣ: дар ин ҷо соябонҳо, ки ба тирезаҳо соя меафкананд ва ба бино дохил шудани нурҳои баланди офтоби тобистонаро пешгирӣ мекунанд (расми 3);

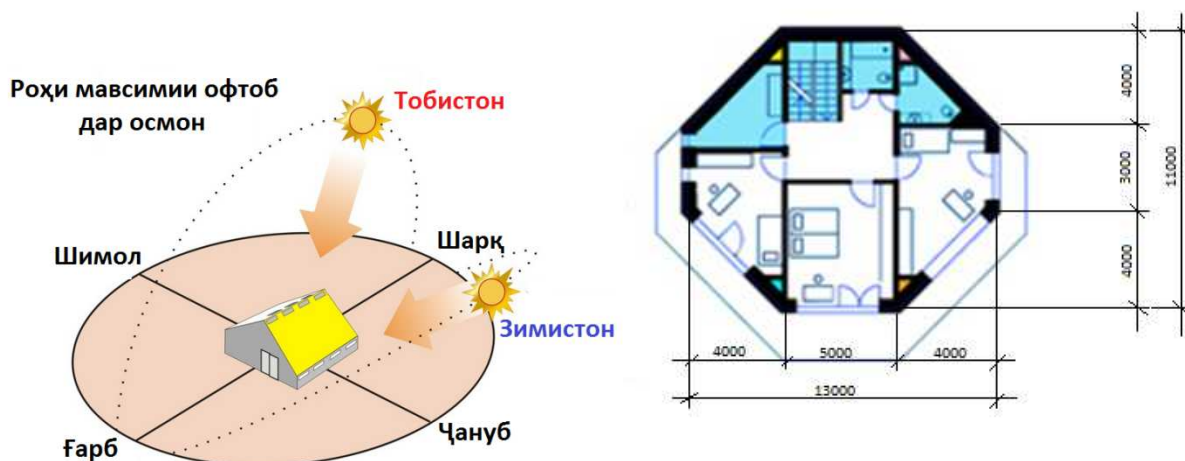
Гармимуҳофиза (теплоизоляция)-и босифати қабати берунаи бино: гармимаҳдудкунии пурраи ҳамаи тарафҳои бино: таҳкурсии, деворҳо, бом ва ғайра;

То қадри имкон герметикӣ будани (ҳавоногузарӣ) қабати берунаи бино;

Системаи ҳавотозакунаҳои назоратшаванда бо рекуператсия;

Истифодабарии қубурҳои зерзаминӣ (гармимубодилакунаҳо) барои гармкунӣ ва ё хунуккунии пешакии пасивии ҳаво ё ки об [3].

Барои биноҳои пасивӣ аз ҳама шакли мувофиқ овал, нимдоира ва ё доира мебошад, ки барои ҳар чӣ бештар истифода бурдани нури Офтоб мусоидат мекунад. Дар асоси ин бинои лоиҳашуда ба шакли овал монанд, дар намуди ҳашткунҷа тарҳбандӣ карда шудааст. Даромади асосӣ ба тарафи ҷануб рост омада, бояд барои дохилшавии нури Офтоб мутобиқ бошад. Аз тарафи шимол бошад, бо мақсади кам кардани гармиталафдиҳӣ аз деворҳо шинонидани дарахтҳо ва ё мавҷуд будани биноҳои дигар тавсия карда мешавад. Аз сабаби дар фасли зимистон нури Офтоб нисбатан аз поён гузаштан имконияти гармии Офтобро максималӣ истифода бурдан вучуд дорад. Дар фасли тобистон бошад, барои ба ҳучраҳо дохил нашудани нури баланди Офтоб таҷҳизотҳои ОфтобҲимоякунӣ гузошта мешавад (расми 3) [3].



Расми 3. Роҳи мавсимии Офтоб дар осмон [7]; Расми 4. Тарҳи бинои лоиҳашудаи пассивӣ.

Тавсияҳо оиди деворҳои берунаи биноҳои пассивӣ. Конструксияи деворҳои бинои пассивӣ метавонад гуногун бошад. Ин бетони сабук, газобетон, блокҳои керамикӣ, ғишт, панелҳои синҷи ва ғайба. Лекин, азбаски маъсалаи захираи гармӣ дар пеш гузошта шудааст, конструксияҳои массивиро истифода бурдан мувофиқи мақсад аст. Бо вучуди ин бо мақсади арзон кардани сохтмони бино бояд масолеҳҳои маҳаллӣ истифода бурда шавад. Дар шароити мо ғишти пухта ё ин, ки бетони сабукро васеъ истифода мебаранд. Газобетон низ аз сабаби калонҳаҷмӣ, коэффитсиенти гармиталафдиҳии паст доштан дар иқлими Тоҷикистон варианти хуб мебошад, вале он айни замон танҳо дар шаҳри Душанбе истеҳсол карда шуда истодааст (ҷадвали 2).

Ҳоло мунтазам конструксияҳои нав коркард карда мешаванд, масалан, бетони сӯрохидор дар ҳамҷоягӣ бо гармиҳимоякунак аз пахтаи минералӣ.

Девор бо системаи намоии гармиҳимоякунӣ бо қабати тунук андова (штукатурка) шуда, системаи намоӣ ба девори бино, ки бо каркас аз оҳанубетони монолитӣ иҷро шудааст, васл карда мешавад. Деворҳои беруна аз ғишти пухта бо ғафсии 250 мм (як ғишт) чинда мешаванд ва ғафсии қабати гармиҳимоякунии бино аз пахтаи минералӣ 150 мм-ро ташкил медиҳад. Баландии ошёна аз фарш то фарш 2700 мм буда, ғафсии болопӯши оҳанубетонӣ 200 мм –ро ташкил медиҳад ва аз тағи болопӯш болори оҳанубетонии баландиаш 400 мм буда мегузарад.

Ҷадвали 2

Андозаҳо ва коэффитсиенти гармигузаронии конструксияҳои девор

Масолеҳи қабат	δ, мм	λ, Вт/(м·°C)
Андоваи дарунӣ	20	0,93
Ғишти пухта	250	0,81
Тахтасанг аз пахтаи минералӣ	150	0,045
Андоваи беруна	6	-

Ҳисоби муқовимати деворҳои берунаи бинои пассивӣ ба гармигузаронӣ бо истифодаи ҳисобҳои майдонҳои ҳароратӣ:

Барои девори бино муқовимати талабшудаи девор ба гармигузаронӣ аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$R_{ум}^{талаб} = \frac{1}{8,7} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{23} \tag{1}$$

Дар ин ҷо: $R_{ум}^{талаб}$ - муқовимати талабшудаи девор ба гармигузаронӣ, (м²·°C)/Вт;

δ – ғафсии қабати масолеҳи конструксияи ихотакунанда, м;

λ – коэффитсиенти гармигузаронии масолеҳ, м.

$$R_{ум} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,15}{0,045} + \frac{1}{23} = 3,81(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$$

Коеффициенти гармигузаронии лифофаи гармиҳимоякунии биноро муайян мекунем:

$$U = \frac{1}{R_{ум}} = \frac{1}{3,82} = 0,26 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) \quad (2)$$

Дар ин ҷо: U - коеффициенти гармигузаронии лифофаи гармиҳимоякунии бино, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

$R_{ум}$ - муқовимати умумии девор ба гармигузаронӣ, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Ҳисоби нисбии хусусияти гармиҳимоякунии бино. Дар асоси хусусиятҳои иқлимии минтақа ва микроиқлимии ҳуҷра аз рӯи формулаи зерин бузургии дараҷаи шабонарӯзии давраи гармкунӣ муайян карда мешавад:

$$\text{ДШДГ} = (t_{\text{дох}} - t_{\text{дав.гарм}}) \times z_{\text{дав.гарм}} \quad (3)$$

Дар ин ҷо: ДШДГ – дараҷаи шабонарӯзии давраи гармкунӣ, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{шабонарӯз}$;

$t_{\text{дох}}$ – ҳарорати ҳавои дохила, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{гарм}}$ - ҳарорати миёнаи давраи гармкунӣ, $^{\circ}\text{C}$;

$z_{\text{гарм}}$ - давомнокии давраи гармкунӣ, шабонарӯз.

Эзоҳ: ҳарорати ҳавои дохила, ҳарорати миёнаи давраи гармкунӣ ва давомнокии давраи гармкунӣ барои шаҳри Хучанд аз ҳисоботи маълумоти техникаии аз тарафи ташкилоти “Fichtner” тайёршуда гирифта шудааст.

Муқовимати таҳвили гармии талабкардашуда барои бинои пассивӣ бо формулаи зерин ёфта мешавад:

$$R_{\text{талаб}} = 0,00035 \cdot \text{ДШДГ} + 1,5 = 2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} \quad (4)$$

Дар натиҷаи ҳисоби муқовимати умумии девор ба гармигузаронӣ ва муқовимати талабшуда барои шаҳри Хучанд маълум гашт, ки талаботи

$R_{ум} \geq R_{\text{талаб}}$ иҷро гардид. Барои бинои пассивии лоиҳашуда $R_{ум}=3,81 \geq R_{\text{талаб}}=2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ мебошад.

Талаботҳо ба тирезаҳои бинои пассивӣ:

Гармиталафдиҳӣ аз байни сатҳи шаффоф бояд на он қадар зиёд бошад. Оинабандӣ ба сифати баланд бояд иҷро шавад, ки хусусияти баланди гузаронидани нури Офтобро дошта бошад, аз ҳама пеш – коеффициенти пасти гармигузарониро доро бошад (U);

Дигар талаботҳо аз периметри тиреза бояд то қадри имкон кам бошад; Инчунин имконияти дохилшавии гармӣ аз истифодаи нури Офтоб аз байни сатҳҳои шаффофро дар назар дорад, яъне ин ҷойгиршавии лозимии бино ва набудани монеаҳои, ки соя меафкананд, мефаҳмонад.

Оинабандие, ки айни замон дар бинои пассивӣ истифода мешавад, одатан се оина (дукамерагӣ) бо қабатҳои рӯйпӯши эмиссионии паст ва бо пуркунии криптон ва ё аргон ($U=0,5...0,8 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}$) ва ё ($R_0=1/U=2,0...1,25/\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) мебошанд. Ҳарорати сатҳи дарунии оинаҳо тақрибан ба ҳарорати дохили ҳуҷра баробар аст, аз ин рӯ истифодаи таҷҳизоти гармкунӣ дар зери тиреза лозим намеояд [2].

Муайянкунии гармиталафдиҳӣ, истифодаи гармӣ барои бинои пассивии лоиҳашуда:

Дар барномаи РНРР 2007 (пакети лоиҳакашии бинои пассивӣ) параметрҳои лозимаи бинои пассивӣ дохил карда шуда, гармиталафдиҳӣ ва истифодаи гармӣ дар бинои пассивӣ барои ҳар моҳ ҳисоб карда шуд. Бинои пассивии лоиҳашуда барои шаҳри Хучанд пешбинӣ шуда, он дорои чунин андозаҳо мебошад:

Масоҳати умумии бино – 198 м^2 ;

Масоҳати деворҳои беруна – $276,48 \text{ м}^2$;

Масоҳати бомпӯш ва шифт – 192 м^2 ;

Масоҳати тахтасанги болопӯш – 189 м^2 ;

Масоҳати умумии тирезаҳо – $86,4 \text{ м}^2$;

Масоҳати дари асосӣ – $3,78 \text{ м}^2$.

Ғафсии конструкцияҳо вобаста аз талаботҳои барои бинои пассивӣ муқарраршуда ба инобат гирифта шудааст. Зеро ташкил кардани лифофаи яқлукти гармиҳимоякунӣ дар тамоми сатҳи бино шартӣ ҳатмӣ мебошад:

Ғафсии девори беруна – $0,426 \text{ м}$;

Ғафсии шифт – $0,463 \text{ м}$;

Ғафсии шифти таххона – $0,52 \text{ м}$;

Ғафсии деворҳои дохилӣ – $0,37 \text{ м}$;

Ғафсии бом $0,36$ (ҷадвали 3).

Ҳисоби талаботи солонаи гармии бинои лоиҳашудаи пассифӣ (пакети лоиҳакашии бинои пассифӣ)

Лоиҳакунии бинои пассифӣ

Сарфи солонаи гарми

Иқлим:	стандартӣ	харорати дохила:	20,0 °C
Бино:	бинои индивидуали	мамури бино:	истиқомати
Ҷойгиршавӣ:	шаҳри Хучанд	масоҳати коркардшаванда:	580,0 м²

Элементҳои сохтмони	Минтақаи харорати	масоҳат м²	U-нишондиҳанда Вт/(м²К)	омили харорати	G _г кВт/сон	кВт/сон	
1 деворҳои беруна аз берун	A	276,5	0,179	1,00	84,0	4165	
2 деворҳои беруна ба замин	B			0,57			
3 бом/шифт-аз берун	A	616,0	0,108	1,00	84,0	5563	
4 тахтасанги менабон	B	189,0	0,133	0,57	84,0	1203	
5 тирезаҳо	A	54,7	0,765	1,00	84,0	3517	
6 дари даромад	A	3,8	0,000	1,00	84,0	0	
10 хавои берунаи купрукҳои гарми	A	156,2	-0,024	1,00	84,0	-318	
11 периметри купрукҳои гарми	P			0,57			
12 купрукҳои гарми аз замин	B	13,2	0,131	0,57	84,0	83	
масоҳати умумии сохтмони конверти гарми		1140,0					
Талафоти гарми хангоми кучонидан Q_T						Ҳамаҷам	14213
Системаи хавотозакунӣ						А _{св} м²	580,0
Самаранокии рекуператсия						η _{сам}	83%
Самаранокии мубодилакунани гармии зерзамини						η _{сгз}	35%
Хавовазкунӣ аз ҷиҳати энергия самаранок						η _{L,Avlge} 1/h	0,300
						Φ _{доғ}	0,89
						η _{L,Rest} 1/h	0,005
Талафи гарми аз сис. хавотозакунӣ Q_L						V _L м³	1450
						ρ _L т/с	0,039
						C _{L,т} Вт/(м³К)	0,33
						G _L кВт/сон	84,0
						кВт/сон	1559
Талафоти гармии пурра Q_Y						Q _T кВт/сон	14293
						Q _L кВт/сон	1559
						Омили камшавии шайбӣ истироҳати	1,0
						кВт/сон	15852
Гармии дастраси Офтоб Q_S						Ҳамаҷам	4012
Гармии дохила Q_I						Дарозии давраи гармкуи Иқтидори махсуси д/сон	0,024
						Вт/м²	225
						А _{св} м²	580,0
						кВт/сон	6577
Гармии озод Q_G						Q _S + Q _I	10589
нисбияти гармии озод ба талафи он						Q _G / Q _Y	0,67
Омили партоозакунии манбаъҳои гарми η _с						(1 - (Q _I / Q _Y) ^δ) / (1 - (Q _G / Q _Y) ^δ)	95%
Манбаъҳои гарми Q_G						η _с * Q _G	10076
Талаботи солонаи гарми Q_H						Q _Y + Q _G	5776
нишондиҳандаи ҳаёди						кВт/сон	15
Оғ талаботҳо иҷро шудаанд?						(ха/не)	Ха

Хулоса: Аз ҳисоби усулҳои дар боло зикргардида, бо роҳи пассифӣ, миқдори зиёди энергия сарфа мешавад. Дар натиҷа бинои пассифиро ба даст меоварем, ки он барои истифода (гармкунӣ ва хунуккунӣ) назар ба бинои оддӣ на зиёда аз 20% энергияро талаб менамояд. Бо вучуди ин, ба иморатсоз сарфи зиёди маблағгузорӣ низ лозим намеояд. Аз ҷама қори асосӣ – ин тартиб додани лоиҳаи дурусти меъморӣ бинои сохташаванда ва босифат ба амал баровардани сохтмони он мебошад. Сарфи иловагӣ барои ғавскунии гармимаҳдудкунакҳо, аз рӯйи қоида бо ихчамӣ (компактӣ) баробар карда мешавад. Системаи ҳавотозакунӣ бошад, дар бисёри ҳолатҳо, на танҳо барои биноҳои энергосамаранок инчунин барои ҷама гуна намуди бино шартӣ мебошад. Зеро ҳавотозакунӣ назоратшаванда – ин ягона роҳе, ки сифати 100%-аи мунтазамии ҳаворо таъмин менамояд.

Дар раванди таҳқиқотҳои илмӣ аз таърихи таҷрибаи сохтмон ва истифодаи биноҳои пассифӣ дар Олмон истифода бурда, барои шароит ва иқлими Ҷумҳурии Тоҷикистон лоиҳакунии бинои пассифӣ мутобиқ карда шудааст. Дар натиҷаи қор ҳамчун мисол лоиҳае пешниҳод карда шудааст, ки он аз рӯйи ҷойгиронӣ, самтгузорӣ, интихоби конструксияҳо, тирезабандӣ, системаи ҳавотозакунӣ ба минтақаи мо ва стандартҳои бинои пассифӣ ҷавобгӯ мебошад. Бо ҳисобҳои истифода аз формулаҳои дар меъёру қоидаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон овардашуда исбот карда шуд, ки сарфи энергияи бинои пассифии лоиҳашуда талаботро пурра қонеъ мегардонад.

Адабиёт:

1. Вольфганг Файст Основные положения по проектированию пассивных домов. Перевод с немецкого с дополнениями под редакцией Елохова А.Е. -М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008г. –С. 144;
2. Акрам Абдукаҳорев “Тёплые картины и новые дома. Таджикистан ищет пути к энергоэффективности, https://livingasia.online/2017/01/11/tepliy_e_kartiny/, 11.07.2017;
3. Генеральный план эффективности использования энергии для Таджикистана. Подготовлено: В.Букарика, З.Морвай, С.Робик, Ф.Шохимардонов. -Душанбе, 2011г. – С.95;
4. Эрнст Т. Пассивный дом. Понятие и основные принципы проектирования пассивного дома //Builder Club, 2011;
5. Усмонов Ш.З., Олимова Н.О. Принципиҳои лоиҳакунии биноҳои пассифӣ ва хусусиятҳои конструктивии онҳо. Конфронси илми-амалӣ бахшида ба ҳадафи чоруми милли-саноаткунӣ кишвар, Бӯстон 2019 с.;
6. МҚС ҚТ 23-01-2007 Иқлимшиносии сохтмон. –Душанбе, ҚДММ “Хирад”, 2010 с. – С.32;
7. Компания АДЕПТ ЛЕС Как расположить вход в дом, или секрет счастливого крыльца. <https://adeptes.ru/building/kak-sorientirovat-vhod-v-dom-ili-sekret-schastlivogo-krylca/>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)

TJ	RU	EN
Мирзоева Фируза Зокировна	Мирзоева Фируза Зокировна	Mirzoeva Firuza Zokirovna
номзади меъморӣ, дотсенти кафедраи «Меъморӣ ва шаҳрсозӣ», профессори Академияи байналмиллалӣ меъморӣ дар Москва Евразия	кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», профессор МААМ Евразия.	PhD in Architecture, Associate Professor of the Department of «Architecture and urban planning», IAAM Professor Eurasia.
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.C.Osimi
firuza.l@mail.ru		
Олимова Нодирабегим Омоновна докторанти курси 2-юми кафедраи “Сохтмон”-и ИПДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ дар ш.Хучанд	Олимова Нодирабегим Омоновна докторант 2-ого курса кафедры «Строительство» ПИТТУ имени академика М.С. Осими в городе Худжанд.	Olimova Nodirabegim Omonovna 2nd year doctoral student of the department "Construction" PITTU named after academician M.S. Osimi in the city of Khujand.
begim-o@mail.ru		

УДК 691.535.263/166

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА ЗОЛОЙ УГЛЯ ФАН-ЯГНОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

А.Шарифов, А.Муминов, А.А.Акрамов, М.Ф.Ахмедов, Я.Г.Назирова

Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими

Институт экономики НАН Таджикистана

В статье приведены результаты исследования влияния минеральной добавки из золы угля Фан-Ягнобского месторождения в составе цемента на свойства бетонной смеси и бетона. Приведено гранулометрический состав золы от газификации угля Фан-Ягнобского месторождения, рентгенограмма фазового анализа и химический состав золы угля месторождения Фан-Ягноб. Для проведения экспериментов изготавливали образцы-балочки согласно ГОСТу размером 4x4x16 см из смеси стандартного состава 1:3:0,4 (вяжущие:вольский песок:вода). Испытания проводили на сжатие и прочность вяжущего от содержание золы по времени. Результаты исследований указывают на то, что добавка из золы угля Фан-Ягнобского месторождения в составе цемента на свойства бетонной смеси и бетона, наряду с повышением физико-механические свойства бетона, снижает водопотребность бетона, и ускоряет процесс гидратации и структурообразования бетона. Добавка из золы угля Фан-Ягнобского месторождения в состав бетона не только уменьшает удельный расход цемента, но и дает получение высокопрочного бетона.

Ключевые слова: зола угля, цемент, прочность, бетон, водопотребность, вяжущие, гипс.

БАЛАНД НАМУДАНИ МУСТАҲКАМИ БЕТОН ТАВАССУТИ ТАҒИР ДОДАНИ СЕМЕНТ БО ХОКИСТАРИ АНГИШТИ ФАН-ЯҒНОБ

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти таъсири иловаи маъдани хокистари ангишти кони Фан-Ягноб дар таркиби семент ба хосиятҳои омехтаи бетон ва бетон оварда шудаанд. Андозаи зарраҷаҳо тақсимооти хокистар аз газификацияи ангишти кони Фан-Ягноб, шакли дифраксияи рентгении таҳлили фазавӣ ва таркиби химиявӣ хокистари ангишти кони Фан-Ягноб оварда шудааст. Барои гузарондани таҷрибаҳо аз омехтаи таркиби стандартии 1:3:0,4 (байнкунанда:рези Вольский:об) намуна-болорҷаҳо аз риҷи ГОСТ, андозаи 4x4x16 см тайёр карданд. Санҷишҳо оид ба фишурдашавӣ ва мустаҳкамӣ аз миқдори хокистар бо мурури вақт гузаронида шуданд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки дар таркиби семент илова кардани хокистари ангишти кони Фан-Ягноб ба хосиятҳои омехтаи бетон ва бетон дар баробари баланд шудани хосиятҳои физикӣ ва механикӣ бетон талабот ба обро коҳиш медиҳад, ва процесси гидрататсия ва ташаккули сохти бетоноро метезонад. Ба таркиби бетон ҳамроҳ кардани хокистари ангишти кони Фан-Ягноб на танҳо сарфи ҳосили цементро кам мекунад, балки бетононро пурқувват ҳам медиҳад. Калидвожаҳо: хокистари ангишт, семент, мустаҳкам, бетон, талабот ба об, пайвандкунанда, гач.

INCREASING THE STRENGTH OF CONCRETE BY CHANGING THE CEMENT WITH THE COAL ASHES OF FON-YAGNOB

The article presents the results of a study of the effect of a mineral additive from coal ash from the Fan-Yagnob deposit in the composition of cement on the properties of concrete mix and concrete. The particle size distribution of ash from coal gasification of the Fon-Yagnob deposit, the X-ray diffraction pattern of the phase analysis, and the chemical composition of coal ash from the Fan-Yagnob deposit are given. To carry out the experiments, beams were made according to GOST, 4x4x16 cm in size from a mixture of a standard composition 1:3:0.4 (binders: Volsky sand: water). Tests were performed on compression and binder strength versus ash content over time. The research results indicate that the addition of coal ash from the Fan-Yagnob deposit in the composition of cement on the properties of concrete mixture and concrete, along with an increase in the physical and mechanical properties of concrete, reduces the water demand of concrete, and accelerates the process of hydration and structure formation of concrete. The addition of coal ash from the Fan-Yagnob deposit to the concrete composition not only reduces the specific consumption of cement, but also gives high-strength concrete.

Key words: coal ash, cement, strength, concrete, water demand, binders, gypsum.

Введение

Исследование влияния минеральной добавки из золы угля последние десятилетие приобрело развитие не только в нашей Республике, но и за её пределы. В последние годы в Таджикистане развивается применение угля в промышленности и энергетике, так как оно является альтернативным топливом ввиду отсутствия природного газа и нефти.. По данным [1], в Республике месторождений угля оценивается в 4,3 млрд. т., это от мировых запасов составляет 0,03 %. При целесообразном использовании этого количества угля можно обеспечивать потребность населения вечно.

Согласно приведенным данным Министерством промышленности и новой технологии за последний год было добыто более 2 млн. т [2] угля, и в будущем планируется увеличить добычу угля. В частности, на угле работает система теплообеспечения города Душанбе посредством ТЭЦ -2.

Зола выделяется в виде твердого продукта при сжигании или газификации угля. Зола имеет вид тонкодисперсного твердого вещества, получаемый из отходящих потоков газов сжигания или газификации угля. Размеры частицы золы обычно бывают от 5 до 140 мкм и они находятся в стекловидной фазе. От способов сжигания угля в топочных камерах зависит содержание стекловидной фазы в составе золы, которые определяют ее реакционную способность.

Согласно [3], зольность углей некоторых месторождений Таджикистана достигает 40%. Как показала практика уголь имеющий большую зольность малоэффективна для получения тепла, но утилизации золы этого угля можно использовать в производстве других материалов (цемент, гипс, битумные вещества и др.), которое повышет его эффективность.

Материалы и методы исследования

Основным материалом является бетон, состоящий из вяжущего – цемент марки М400 Душанбинского цементного завода «Таджик Мохир», вольского песка, воды и золы угля Фан-Ягнобского месторождения в % от массы цемента. Изготавливали образцы балочки размером 4x4x16 в количестве 20 штук. При приготовление образцов вводили в состав бетонной смеси 1:3:0,4 (вяжущие: вольский песок:вода) от 0 до 20% золы угля Фан-Ягнобского месторождения. Испытовали образцы на изгиб и сжатие через 1, 3, 7 и 28 сут твердения. Испытание было прведено и для образца состава 1:1,57:2,57:0,4 с введением золы угля Фан-Ягнобского месторождения от 0 до 20% от массы цемента [4]. Испытания образцов проводили на малогабаритном гидравлическом прессе ПГМ-500МГ4А., НИИ «Строительство и архитектуры».

В работе приведено гранулометрический состав золы от газификации угля Фан-Ягнобского месторождения [4] и содержание компонентов в составе золы взятых из разных пластов месторождения угля Фан-Ягноба [3]. Проводили рентгенограммный анализ цементного камня образцов через 1, 7 и 28 сут твердения без золы и с золой

Результаты исследования и обсуждения

Гранулометрический состав золы пробы угля Фан-Ягнобского месторождения приведено в таблице 1. Таблица 1

Гранулометрический состав золы от газификации угля Фан-Ягнобского месторождения

Частный остаток зерен на ситах (мм), %				
1,25	0,63	0,315	0,14	меньше 0,14
10,5	2,6	5,5	37,4	44,0

Из таблицы видно, что у 81,4 % частиц золы размер 0,315 мм и они в 1,5 раза больше размера чмстиц гипса (0,2 мм), и в 4 раз борльше размера частиц цемента (0,08) То есть при небольшом помоле частиц золы, можно использовать ее как добавку к частицам вяжущих материалов.

На рис. 1 приведено рентгенограмма фазового состава золы угля Фан-Ягнобского месторождения. Из рентгенограммы видно, что минералогический состав золы угля Фан-Ягнобского месторождения является простым. То есть основные дифракционные линии обусловлены кварцем (SiO₂ тригональный) и β-квистабалитов. Их содержание в стекловатой зоне составляет не менее 10 %.

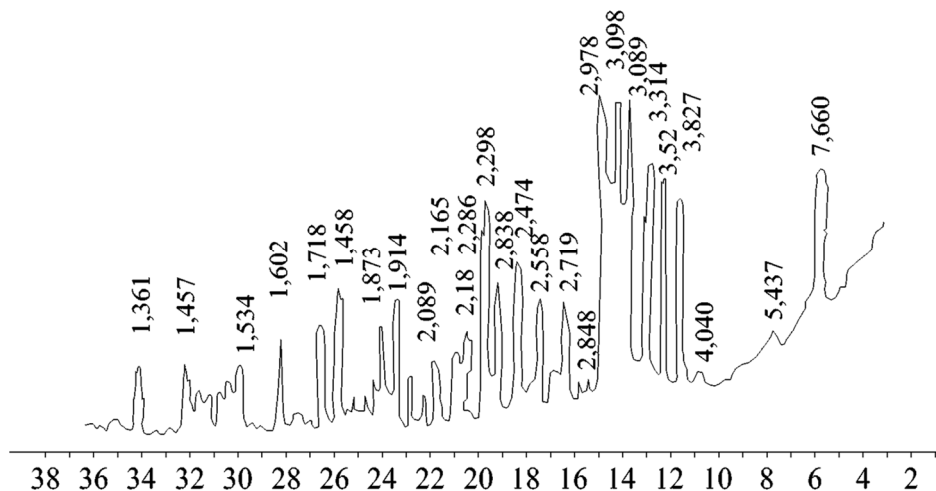


Рис. 1. Рентгенограмма фазового анализа золы угля Фан-Ягнобского месторождеия

Состав золы угля является многокомпонентным. Согласно приведенным данным автора [3], в углях Фан-Ягноба взятых из разных пластов месторождения, состав их золы содержит следующие компоненты в пределах, масс приведенных в табл. 2

Таблица 2.

Частный остаток зерен на ситах (мм), %				
1,25	0,63	0,315	0,14	меньше 0,14
10,5	2,6	5,5	37,4	44,0

Более детальный состав золы угля Фан-Ягнобского месторождения, применяемого в ТЭЦ-2 г. Душанбе приведено в работе [4]. Оно характеризуется следующими показателями, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Усредненный химический состав золы угля месторождения Фон-Ягноб

№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	K ₂ O+Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	H ₂ O	п.п.п.
1	56,86	1,04	18,79	3,27	1,48	5,1	0,13	0,467	0,06	10,86
2	53,8	1,1	21,3	5,4	3,39	5,9	0,2	0,6	0,04	7,8
3	58,88	0,92	24,33	2,75	1,21	2,63	0,08	0,06	0,5(6)	10,76

Состав золы состоит из металлических и неметаллических элементов, основными которыми являются SiO₂ и Al₂O₃, а суммарное их содержание составляет 75,1-83,21 %. Оксиды в большом количестве в составе золы указывают на ее сырьевую потенциальность для получения глинезема, кремнезема и других существующих компонентов.

Данные таблицы указывают на то, что зола по химическому составу почти не уступает цементу. Зола является эффективной добавкой к цементам, улучшает качества цементных материалов, так как в составе золы стекловидная фаза SiO₂ делает ее активным реагентом в среде гидратирующего с водой цемента.

Рассматривали изменение свойств цемента и бетона при увеличении минеральной добавки из золы угля в их состав. Результаты показывают, что при увеличении минеральной добавки из золы угля к цементу снижается водопотребность вяжущего из цемента и золы. Эта зависимость приведено на рис.2.

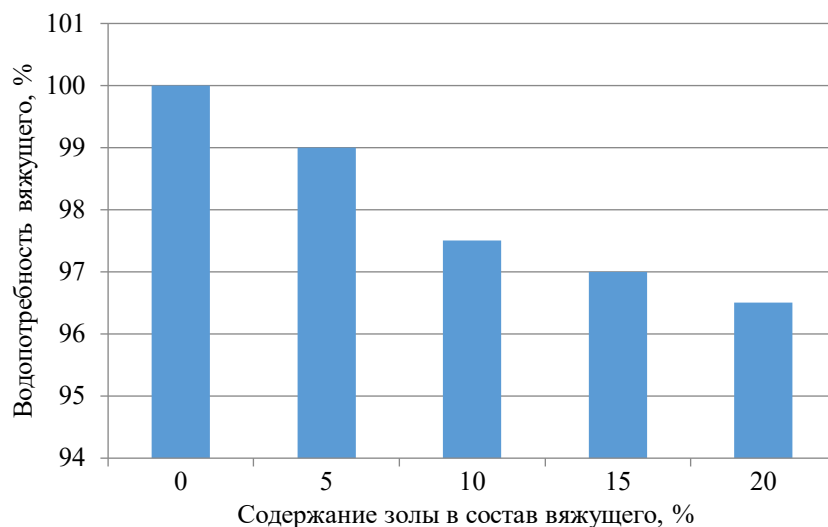


Рис.2. Зависимость водопотребности вяжущего от содержания золы.

Снижению водопотребности вяжущего приводит к увеличению срока схватывания. Одним из важным свойством вяжущих является их водопотребность и сроки схватывания, которые в конечном итоге определяют их прочность. Кинетическая зависимость прочности чистого цемента сдобавкой золы Фан-Ягнобского месторождения определялась на образцах балочек размерами 4x4x16 см. из смеси стандартного состава 1:3:0,4 (вяжущие:вольский песок:вода). На рис.3 показана кинетическая зависимость прочности вяжущего от содержания золы по времени.

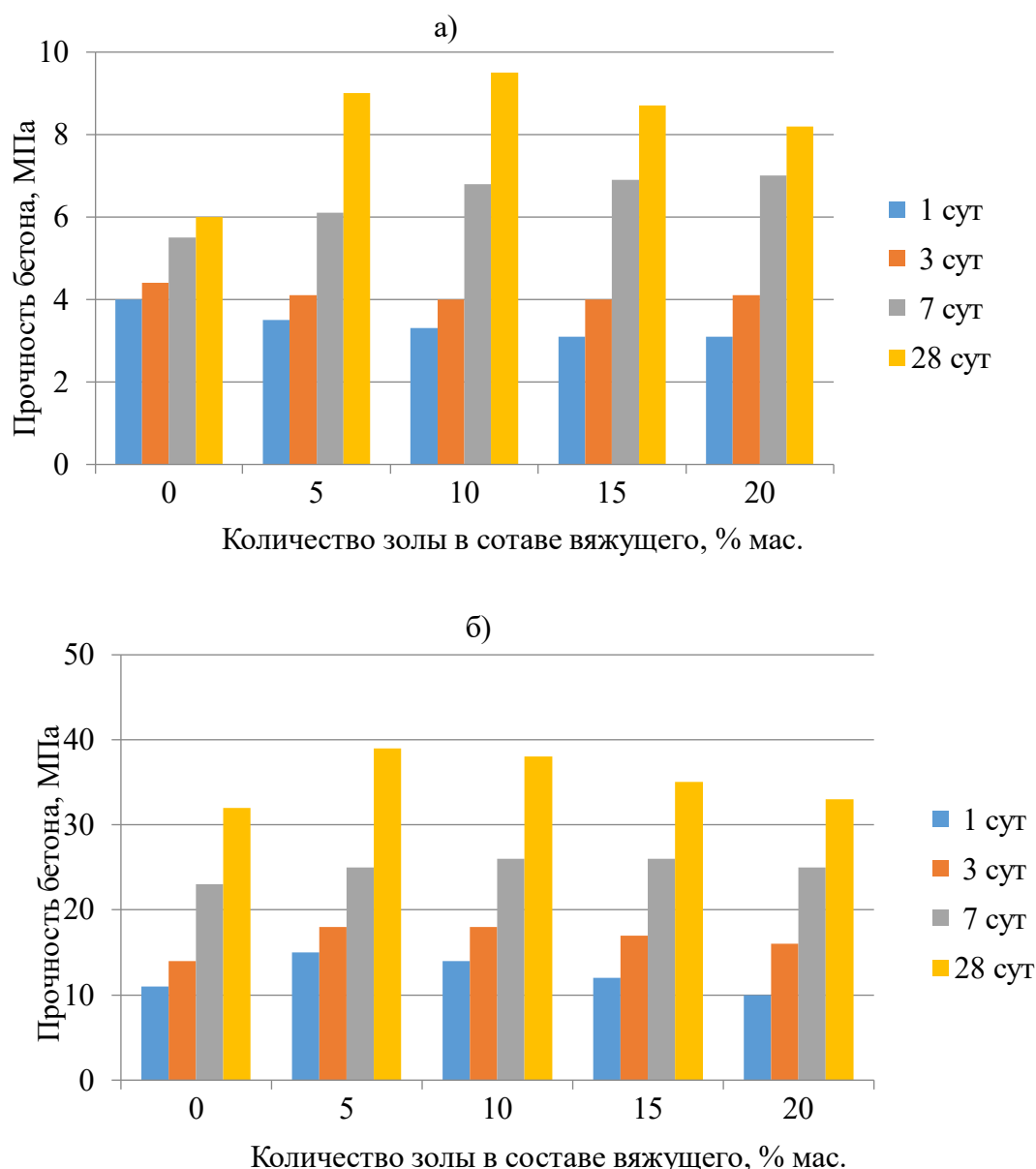


Рис. 3. Кинетическая зависимость прочности вяжущего по времени при а) – изгибе, б) – сжатии.

Из диаграммы видно, что прирост прочности образцов содержащих золу при изгибе и сжатии составляет 34,4 % до 50,4 %.

Для бетонной смеси состава 1:1,51:2,57:0,4 (вяжущие:песок:щебень:вода) от расхода золы в составе вяжущего определяли его прочность.

Кинетическая зависимость прочности бетона состава 1:1,51:2,57:0,4 (вяжущие:песок:щебень:вода) [4] от расхода золы приведено на рис.4.

Из диаграммы следует, что во все сроки испытания прочность бетона практически выше или равна прочности бетона без добавки при замене до 20 % цемента на золу. Это значение варьируется в пределах от 36-40 МПа.

Нами было проведено сравнительный рентгенограммный анализ цементного камня без золы и с золой через 1, 7 и 28 сут твердения. На рис.4 приведено рентгенограммы образцов твердевших 28 сут.

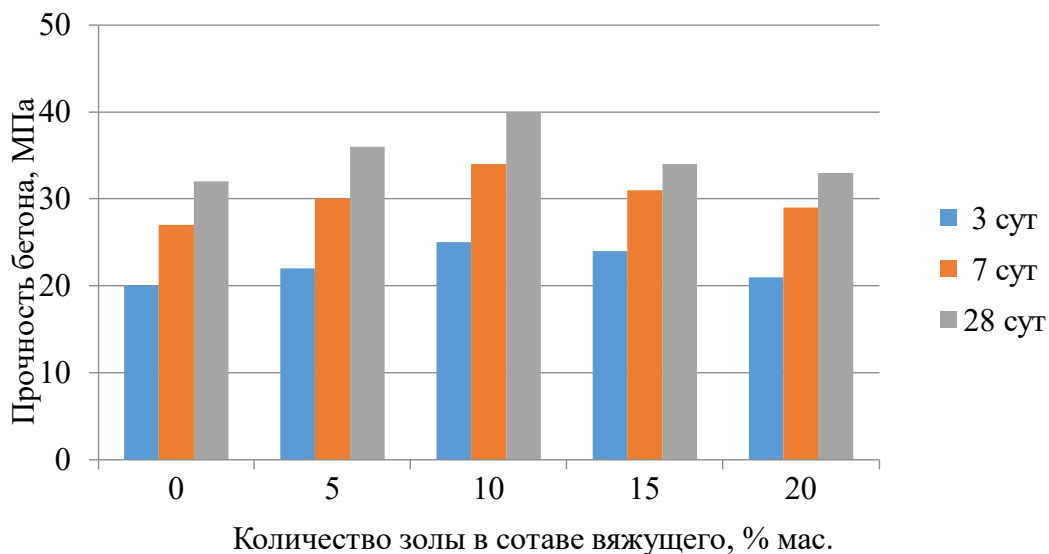


Рис.4. Зависимость прочности бетона состава 1:1,57:2,57:0,4 от расхода золы в составе вяжущего.

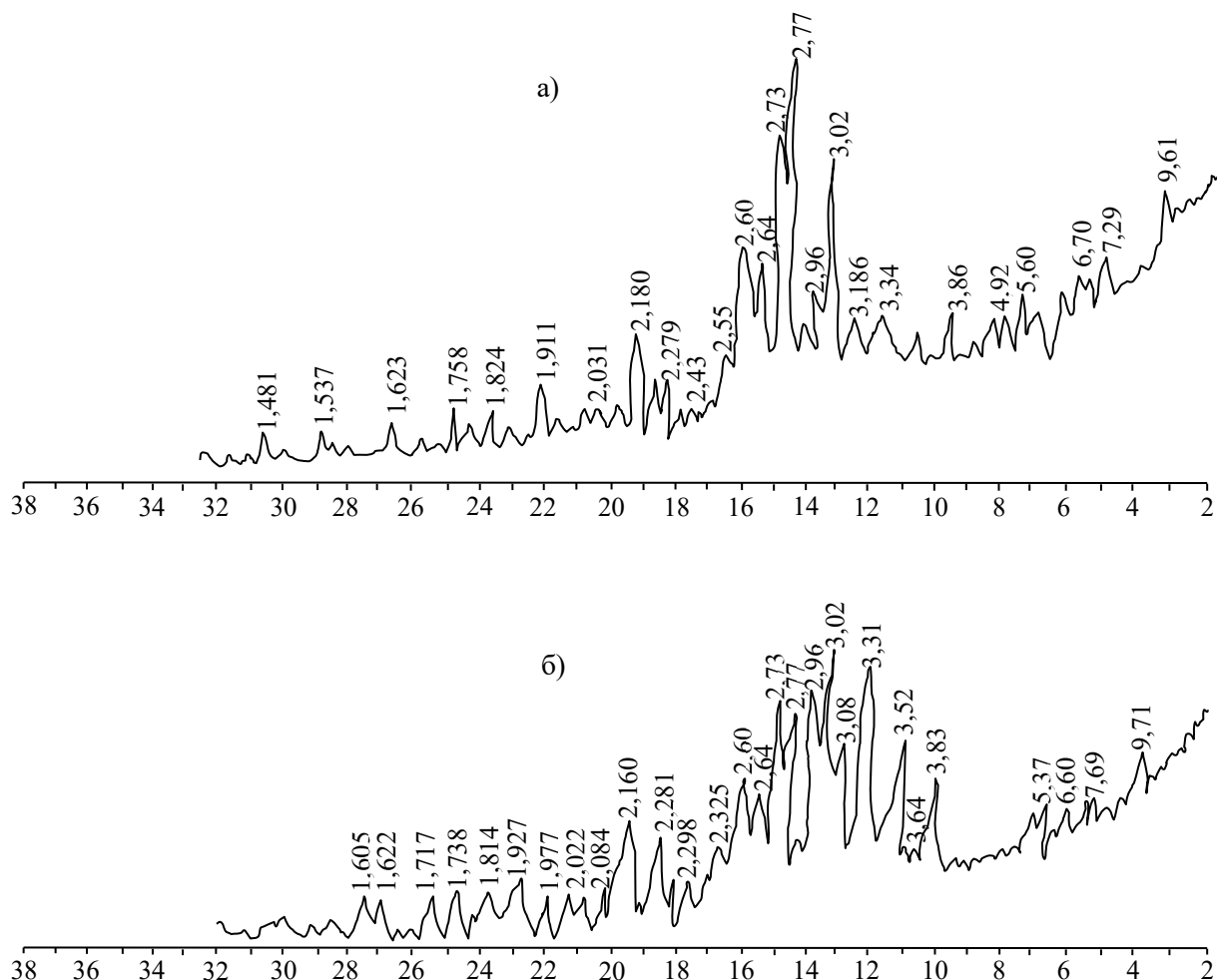


Рис. 4. Рентгенограммы фазового анализа цементного камня образцов 28 сут твердения: а)-без золы; б)-с золой.

Из рентгенограммы цементного камня 1 сут возраста видно слабые линии гидротированных и более сильные линии негидратированных минералов. Это говорит о том, что цемент твердеет очень медленно [6].

Твердение цемента и интенсивность образования гидратации начинается к 7 сут и оно растет до 28 сут. Линии на рентгенограммах относятся к фазам CaOH_2 – гидроксида кальция, $\text{C}_3\text{A}\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ – этtringита, C_4AH_{19} – тоберморита и к C_3S , C_2S , C_3A – исходным минералам клинкера гипса, но интенсивность этих линий становится слабой.

Ещё имеются линии, относящиеся к низкоосновным гидросиликатам кальция типа CSH(B) , золе и минералу клинкера C_3S . Надо отметить, что на рентгенограмме практически отсутствует этtringит. Это происходит из-за того, что в золосодержащем цементном камне уменьшается содержание минералов C_3A и C_4AF .

Вывод

Сравнительный анализ фазового состава цементного камня все сроки твердения указывает на то, что введение золы в составе цемента при гидратации образуют в основном высокопрочные низкоосновные соединения типа CSH(B) по отношению к CaO . Это говорит о том, что состав золы состоит из SiO_2 до 60 %. А при введении в составе системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ увеличивается содержание SiO_2 , но при этом уменьшается содержания окислов CaO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , и это приводит к уменьшению соотношения CaO: SiO_2 , которое способствует образованию гидросиликатов кальция типа CSH(B) .

Зола угля в составе цемента помимо изменения ее состава регулирует химические процессы гидратации и твердение цемента. Также участвует в реакции взаимодействия с Ca(OH)_2 с образованием гидросиликатов кальция, повышающих прочность цементного камня в структуре вышеупомянутой твердеющей системы. Частицы неактивных компонентов состава золы могут играть роль микронаполнителя в реакционной зоне, на их поверхностях происходит гидратация и твердение минералов цемента, и образуются кристаллические сростки цементного камня, отличающей высокой прочностью.

Можно прийти к выводу, что зола угля Фан-Ягнобского месторождения в качестве минеральной добавки к цементам дает возможность получению сравнительно высокопрочного бетона и уменьшению удельного расхода цемента в составе бетона. Также надо учесть, что утилизация отходов от сжигания угля улучшает экологическое положение на местах их хранения. Все эти факторы указывают на то, что применения золы угля Фан-Ягнобского месторождения становится высокоэффективным.

Надо отметить, что производство добавки к цементам из золы всегда являлась менее энергозатратным, чем производство самого цемента, поскольку зола уже образованный отход другого производства, не требующий энергозатрат. Её использование в качестве минеральной добавки цементов не только улучшает качество бетона, но и снижает энергоёмкость производства и себестоимость бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Охунов Р.В., Абдурахимов Б.А. Угольная промышленность Таджикистана: источник сырья, состояние и будущее развитие, -Душанбе: Недра, 2011, 250 с.
2. <https://e-cis info/news/567/85122> (Источник:knovar.tj).
3. Караваев Н.М., Румянцева З.А., Певзнер З.И., и др. Способы использования углей Зерафшанской долины в промышленности и технико-экономические их показатели. -Душанбе, 1963, 156 с.
4. Шарифов А., Шодиев Г.Г., Субхонов Д.К., Бобоев Т.С. Использование золы угля Фан-Ягнобского месторождения в качестве наполнителя композиций из гипсовых вяжущих -Докл. АН РТ, 2016, т. 59, №9-10, с.413-417.
5. Шарифов А., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. Повышение прочности и коррозионно-стойкости цементсодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника. - Доклады АН РТ, Т.59, №5-6-, Душанбе: «Дониш», 2016. – С. 248-252
6. Шарифов А., Акрамов А.А., Саидов Дж.Х., Назиров Я.Г. Влияние кремнезёмсодержащего минерального наполнителя цемента на химический и фазовый составы цементного камня в бетоне. - Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 101–104

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- AUTHORS BACKGROUND

TJ	RU	EN
Шарифов Абдумумин	Шарифов Абдумумин	Sharipov Abdumumin
Доктори илмҳои техники, профессор	Доктор технических наук, профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи давлатии Данғара, кафедраи “Иншоотҳои гидротехники ва масолеҳҳо”	Государственный Дангаринский Университет, кафедра	State Dangara University, Department of "Hydraulic structures and materials"

	“Гидротехническое сооружения и материалы”	
sharipov49@mail.ru		
TJ	RU	EN
Акромов Авазҷон Абдуллоевич	Акромов Авазҷон Абдуллоевич	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Промышленное и гражданское строительство”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Industrial and Civil Engineering
akramov.avaz@mail.ru		
0000-0002-7084-9128		
TJ	RU	EN
Муминов Абдуҳаким Каримович	Муминов Абдуҳаким Каримович	Muminov Abdulkhakim Karimovich
Номзади илмҳои техникӣ, ассистент	Кандидат технических наук, ассистент	Candidate of technical sciences, assistant
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Графикаи муҳандисӣ”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Инженерной графики”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Engineering graphics
muminov_abduhakim@mail.ru		
0000-0002-2742-5020		
TJ	RU	EN
Назирова Яҳё Гиёҳевич	Назирова Яҳё Гиёҳевич	Nazirov Yahyo Giyokhevich
Номзади илмҳои техникӣ, ассистент	Кандидат технических наук, ассистент	Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Графикаи муҳандисӣ”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Инженерной графики”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Engineering graphics
yahyo80@mail.ru		
0000-0002-0778-347X		
TJ	RU	EN
Аҳмедов Муҳаммадҷон Фирӯзович	Аҳмедов Муҳаммадҷон Фирӯзович	Akhmedov Mukhammadzhon Firuzovich
аспирант	аспирант	graduate student
Пажуишгоҳи иқтисодии милли академияи илмҳои Тоҷикистон	Институт экономики национальной академии наук Таджикистана	Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Tajikistan
ahmedov_m@mail.ru		
0000-0002-6412-2299		

УДК 697.326

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА В ТОПОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПЕРЕМЕННЫМ ОБЪЕМОМ ТОПКИ ПРИ СЖИГАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ

Хужаев П.С.

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими,

Современные твердотопливные котлы малой мощности отличаются малым КПД, а работа сопровождается выделением и отводом в атмосферу вредных веществ. В настоящей статье приводится тепловой режим топки из рассмотрения, которого вытекает необходимость внесения конструктивных изменений в традиционных топках. Конструктивные изменения топки позволяют для каждой стадии процесса горения создать оптимальные условия их проведения.

Ключевые слова: топка, отопления, индивидуальных объектов, теплоснабжения, вводовые котлы, твердотопливные котлы.

ХУСУСИЯТҲОИ МУБОДИЛАИ НУРИИ ГАРМӢ ДАР ОТАШДОНИ ТАҒӢИРӢБАНДА ҲАНГОМИ СӢХТАНИ НАМУДӢОИ ГУНОГУНИ АНГИШТ

Дегҳои сузишвориҳои саҳти хозиразамони дорой иктидори наст бо самарабахии наст буда, кор бо ба атмосфера баровардани моддаҳои зарарнок ҳамроҳ мешавад. Дар ин мақола, режими гармии печҳо аз баррасии он оварда шудааст, ки зарурати ворид кардани тағйироти сохториро дар печҳои анъанавӣ дар назар дорад. Тағйироти сохторӣ дар оташдон имкон медиҳад, ки барои ҳар як марҳилаи раванди сузишвориҳои гуногун барои татбиқи онҳо шароити оптималӣ фароҳам оварда шавад.

Калидвожаҳо: оташдон, гармидиҳӣ, иншооти инфиродӣ, таъмини гармӣ, дегҳои оби гарм, дегҳои сузишвориҳои саҳт.

CHARACTERISTICS OF RADIANT HEAT TRANSFER IN THE FURNACE SPACE WITH A VARIABLE FURNACE VOLUME DURING THE COMBUSTION OF VARIOUS TYPES OF FUELS

Modern solid fuel boilers of small capacity are characterized by low efficiency, and the work is accompanied by the release and discharge of harmful substances into the atmosphere. In the present article given the thermal condition of the combustion chamber from the consideration which implies the need for structural changes in traditional combustion chambers. Structural changes of the combustion chamber allowed for each stage of the combustion process to create optimal conditions for their implementation.

Key words: stove, heating, individual objects, heat supply, heating boilers, solid fuel boilers.

Введение

В настоящее время в Таджикистане наблюдается кризис градообразующих и коммунальных предприятий, занимающихся обеспечением населения тепловой энергией. Существующие системы коммунальной энергетики не эффективны по своей природе, изношены, или отслужили свой срок, а также работают на привозном дорогом топливе. Требуется громадные средства на поддержание и восстановление сетей теплоснабжения, которые из года в год недополучают предприятия энергетики. В целях экономии затрат на топливо, необходимо переоборудовать существующие котельные на дешевое местное топливо, создать новые эффективные энергоустановки, значительно повысить их КПД.

Кроме того, в Таджикистане проявляется тенденция к уменьшению объема громоздкого централизованного теплоснабжения различных объектов из-за недостаточного обеспечения газообразным топливом. Применение местного топлива естественно, потребует новых систем отопительных установок, использующих различные по содержанию углерода топлива. Эти системы должны быть достаточно гибкими и легко модифицируемые как для использования их в качестве источника тепловой энергии индивидуального объекта, так и источника теплоснабжения нескольких объектов, а также других целей.

В условиях рыночной экономики вопрос энергосбережения является актуальным не только для производственных и общественных зданий, но и для жилого фонда. Проблема энергосбережения

является общепризнанной, однако для жилых домов она носит острый характер. В первую очередь это связано, с тем, что не каждый собственник жилого помещения имеет представление о том, какие именно мероприятия помогут сократить эти затраты. Кроме этого, при работе твердотопливных котлов остро стоит вопрос охраны окружающей среды.

Материалы и методы исследования

Для отопления индивидуальных объектов, в особенности в сельской местности, возможно использование котлов периодического действия, которые могут накопить тепло при одно-двухразовой топке в течение 1-1,5 часов и обеспечить требуемый тепловой режим помещений в течение суток.

В отопительных котлах может использоваться твердое, жидкое и газообразное топливо. Каждому из этих топлив свойственны свои особенности, которые влияют на эффективность использования котлов. Конструкции отопительных котлов создавались в течение длительного времени и предназначались для сжигания в них твердого топлива.

Во всех котлах твердое топливо (дрова, различные виды каменного угля, антрацит, кокс и др.) сжигается на колосниках слоевым способом, с периодической загрузкой топлива и очисткой колосников от шлака. Слоевой процесс сжигания имеет четкий циклический характер. Каждый цикл включает следующие стадии: загрузка топлива, подсушка и разогрев слоя, выделение летучих веществ и их горение, горение топлива в слое, догорание остатков и наконец, удаление шлаков.

В пространстве топки тепло, поступающее к частице от окружающих топочных газов, и нагретых поверхностей повышает ее температуру, и начинается превращение некоторых компонентов топлива в газообразные вещества (выход летучих). Летучие и кислород находятся в одной фазе, происходит гомогенная (газофазная) реакция между ними. Температура повышается. После того как основная масса летучих сгорит, начинается реакция окисления твердого остатка (кокса), образовавшегося после выхода летучих. Это реакция – гетерогенная, реагенты находятся в разных фазах. Гетерогенные реакции протекают медленнее гомогенных. Поэтому выход летучих способствует воспламенению и горению кокса, и время сгорания частицы оказывается тем меньше, чем больше выход летучих. Это основной эффект. Побочный эффект заключается в том, что продукты сгорания летучих затрудняют доступ кислорода к поверхности частицы и это приводит к увеличению времени сгорания. В обычных условиях в топке влияние температуры оказывается преобладающим.

Большая часть времени сгорания приходится на горение кокса. Можно считать, что выделение горючих и их горение происходит мгновенно, а после этого идет процесс горения коксового остатка. Горение кокса, в свою очередь, протекает в несколько стадий. По мере выгорания углерода негорючая минеральная часть топлива - зола - может или осыпаться с поверхности частицы ('мягкий каркас'), или оставаться не разрушенной ('жесткий состав'). Ясно, что лишь предельные случаи для теоретического анализа, в реальности имеют место и промежуточные случаи.

На каждой из этих стадий создается определенный тепловой режим, и процесс горения в топке происходит с непрерывно меняющимися показателями.

Первичная стадия подсушки и разогрева слоя носит так называемый эндотермический характер, т.е. она сопровождается поглощением теплоты, получаемой от раскаленных стен топливника и от недогоревших остатков. Далее по мере разогрева слоя начинается выделение газообразных горючих компонентов и их выгорание в газовом объеме. На этой стадии начинается тепловыделение в топке, которое постепенно увеличивается. Под влиянием разогрева начинается горение твердой коксовой основы слоя, дающей обычно небольшой тепловой эффект. По мере прогревания слоя тепловыделение постепенно уменьшается, и в конечной стадии имеет место малоинтенсивное дожигание горючих веществ (см. рис. 1)

Известно, что роль и влияние отдельных стадий цикла слоевого горения зависит от следующих показателей качества твердого топлива: влажности, зольности, содержания летучих веществ и углерода в горючей массе.

Например, у Зиддинского угля (Таджикистан) общая влага составляет до 5,8%, в то время как у Исфаринского (Таджикистан) до 40%.

Увлажнение топлива отрицательно влияет на горение, так как на испарение влаги должна быть затрачена часть теплоты сгорания топлива. В результате снижаются температуры в топке, ухудшаются условия сжигания, а сам цикл горения затягивается.

Отрицательная роль зольности топлива проявляется в том, что зольная масса обволакивает горючие компоненты топлива и препятствуют доступу к ним кислорода воздуха. В результате горючая масса топлива не догорает, образуется так называемый механический недожог.

Установлено, что большое влияние на характер развития процессов горения оказывает соотношение содержания в твердом топливе летучих газообразных веществ и твердого углерода. Летучие горючие вещества начинают выделяться из твердого топлива при сравнительно низких температурах, начиная со

140-220°C и выше. Летучие вещества разнообразны по составу и отличаются различными температурами выхода, поэтому процесс их выделения растянут по времени и его топливной части слоя.

Исследование режимных характеристик проводилось на конструкции водогрейного котла, разработанного на кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция» и установленного на одном из приграничных объектов Республики Таджикистан.

Оказалось, что летучие вещества сжигаемого угля имеют относительно низкую температуру воспламенения, так как содержат много водородосодержащих компонентов, горение их происходит в надслоевом газовом объеме топливника. Твердая часть топлива, остающаяся после выхода летучих веществ, состоит в основном из углерода, имеющего более высокую температуру воспламенения (650-700°C). Горение углеродного остатка начинается в последнюю очередь. Оно протекает непосредственно в тонком слое колосниковой решетки, и ввиду интенсивного тепловыделения в нем развиваются высокие температуры.

Высоким содержанием летучих веществ отличаются дрова, а минимальное содержание летучих веществ имеют антрацит и кокс.

Картина изменения температуры в топке и газоходах в течение цикла горения твердого топлива в относительных координатах показана на рисунке 1. Как видно, в начале топки наблюдается быстрое нарастание температур в топливнике и дымоходах. В стадии же догорания происходит резкое сжижение температуры в топке. Каждая из стадий требует подачи в топку определенного количества воздуха для горения. Однако, ввиду того, что в топку поступает постоянное количество воздуха, на стадии интенсивного горения коэффициент избытка воздуха составляет величину $\alpha_T = 1,5 \div 2$, а на стадии догорания, продолжительность которой достигает 25-30% времени топки, коэффициент избытка воздуха достигает $\alpha_T = 8 \div 10$. На рис.2 показано изменение коэффициента избытка воздуха на протяжении одного цикла горения на колосниковой решетке трех видов топлива: дров, торфа и каменного угля в типичном отопительном котле периодического действия. Из рис.2 видно, что коэффициент избытка воздуха в котлах, работающих с периодической загрузкой твердого топлива, непрерывно изменяется.

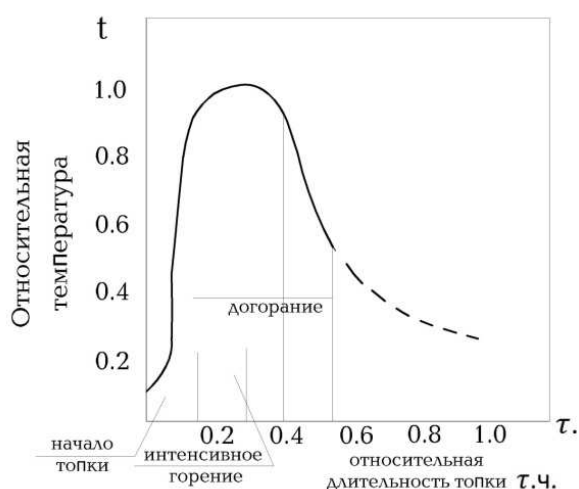


Рис.1. Изменение температуры дымовых газов в различных сечениях топочной камеры при твердотопливной топке

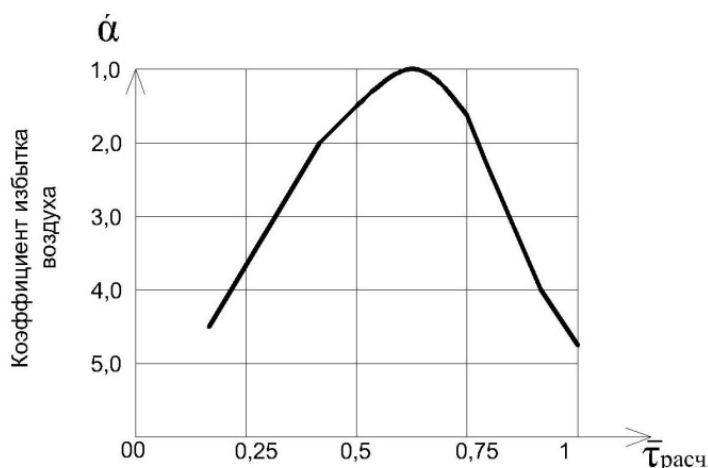


Рис.2. Изменение коэффициента избытка воздуха в течение цикла горения твердого топлива

Постановка задачи и результаты исследования

Водогрейные котлы на твердом топливе включают в себя топку с колосниковой решеткой, тепловоспринимающие газоходы и ряда вспомогательных элементов [1, 2]. В некоторых случаях, для сжигания различных топлив и необходимости регулирования температуры продуктов горения, используют водогрейные котлы с подвижными колосниковыми решетками.

В топках с подвижной колосниковой решеткой тепловой режим изменяется в зависимости от положения колосниковой решетки (рис. 3). Геометрические характеристики топки приведены в табл. 1.

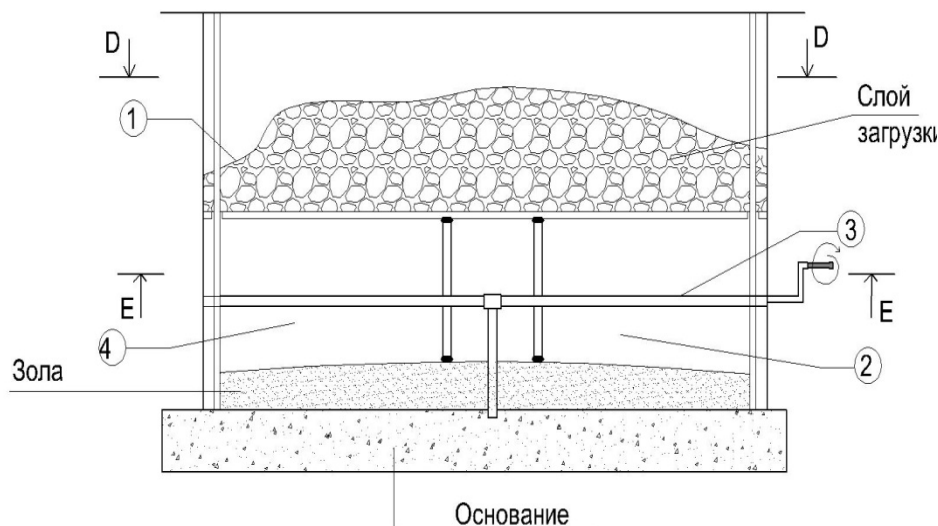


Рис. 3. Сема топка с подвижной колосниковой решеткой.

Таблица 1. Геометрические характеристики топки

Поверхность стен		Объем топочного пространства	
Наименование	Значение	Наименование	Результат
Поверхность пода топки, м ²	0,2826	Объем топки	1,1304 · 10 ⁻¹
Боковая поверхность топки, м ²	0,7536		
Потолок топки, м ²	0,27033	Объем центральной газоотводящей трубы	9,8125 · 10 ⁻³
Внутренняя поверхность центральной газоотводящей трубы, м ²	0,314		
Поверхность потолка газоотводящей трубы, м ²	1,2265 · 10 ⁻²		
Сумма	$H_{ст} = 1,632795 \text{ м}^2$	Сумма	$V_T = 1,228525 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3$

В топочном пространстве и газоходах водогрейного котла лучистый теплообмен происходит между газом (продуктами горения) и ограничивающими газ поверхностями топочного пространства и газоходов. В этом случае часть энергии, излучаемой газом, поглощается поверхностями, а часть ее отражается в газ. Результирующий тепловой поток между газом и поверхностью определяется разностью между количеством энергии, излучаемой газом, на поверхности, и количеством энергии, поглощенной газом от излучения поверхностей. Расчетное уравнение для определения плотности теплового потока $q_{г.с.}$, передаваемого от газа поверхности, ограничивающий газ

$$q_{г.с.} = C_0 \frac{\varepsilon_c + 1}{2} \left[\varepsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - A_g \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \quad (1)$$

где T_g — температура газа; T_c — температура поверхности; ε_c — степень черноты поверхности; ε_g — степень черноты газа; A_g — поглощательная способность газа при температуре поверхности.

Степень черноты для дымовых газов определяем по формуле

$$\varepsilon_g = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} \quad (2)$$

где ε_{CO_2} и ε_{H_2O} — степень черноты двуокиси углерода и водяного пара.

Для определения закона изменения степени черноты газов в топочном пространстве с изменяющимся объемом топки зададимся распределением степени черноты газов полиномой второй степени

$$\bar{\varepsilon}_g = a + b\bar{t} + c\bar{t}^2 \quad (3)$$

где \bar{t} — относительная температура в топочной камере, $\bar{t} = t/t_g$; $\bar{\varepsilon}_g$ — относительная степень черноты газа, $\bar{\varepsilon}_g = \varepsilon_{g,t}/\varepsilon_{g,t_0}$; $\varepsilon_{g,t}$ — степень черноты газа при температуре t ; ε_{g,t_0} — степень черноты

газов при температуре газов на выходе из газохода котла; a, b и c – коэффициенты полинома, определяющие из известных граничных условий

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } \bar{t} = 0; \quad \frac{d\bar{\varepsilon}_r}{d\bar{t}} = 0; \quad b = 0 \\ \text{при } \bar{t} = 0; \quad \bar{\varepsilon}_r = 1 \quad a = 1 \\ \text{при } \bar{t} = 1 \quad \bar{\varepsilon}_r = 0,45 \quad c = 0,55 \end{array} \right\} \quad (4)$$

С учетом найденных коэффициентов (3) полиномы распределение степени черноты газов в топочной камере будет иметь вид

$$\bar{\varepsilon}_r = 1 - 0,55\bar{t}^2 \quad (5)$$

Построенный по полученной зависимости график изменения степени черноты газов показано на рис. 4. Сопоставление рис. 4 с расчетными данными, приведенными в технической литературе показывает на хорошее совпадение. На графике рис. 5 приведены значения $\bar{\varepsilon}_r$ для различных значений положения колосниковой решетки.

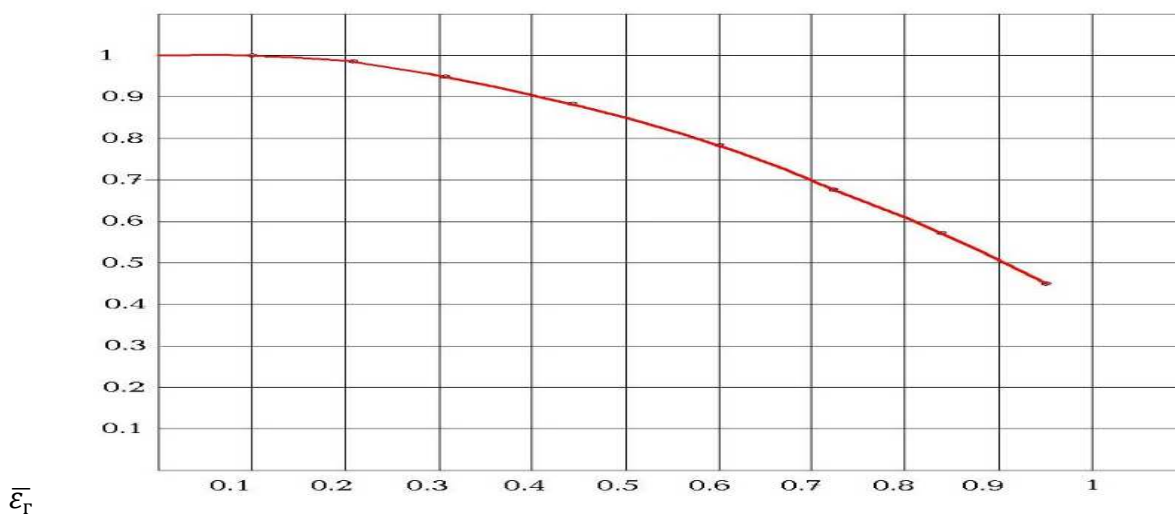


Рис. 4. Степени черноты продуктов горения топлива.

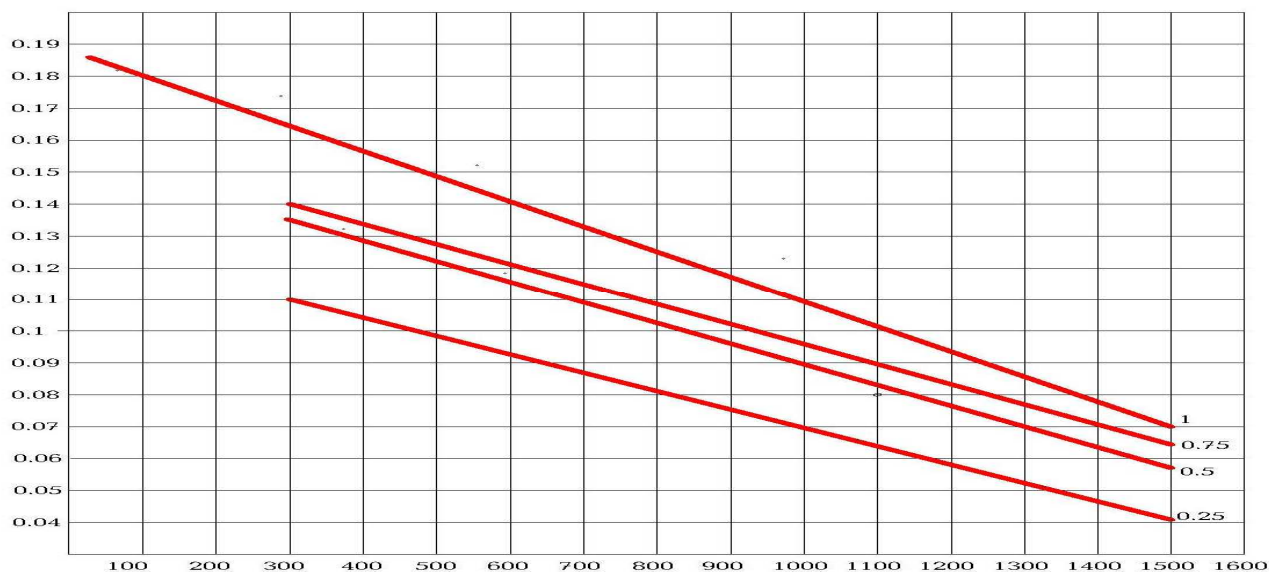


Рис. 5. Изменение степени черноты продуктов сгорания в топке в зависимости от температуры и относительного расположения колосниковой решетки.

Поглощательная способность газов при температуре стенки определяется

$$A_{\Gamma} = \varepsilon_{CO_2} \left(\frac{T_{\Gamma}}{T_c}\right)^{0,65} + \beta \varepsilon_{H_2O} \quad (6)$$

Степень черноты газов при средней температуре газов определяется

$$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_{CO_2} + \beta \varepsilon_{H_2O} \quad (7)$$

Тепловая нагрузка поверхности труб за счет излучения

$$q_{л} = \frac{1}{2} (\varepsilon_c + 1) C_o \left[\varepsilon_{\Gamma} \left(\frac{T_{\Gamma}}{100}\right)^4 + A_{\Gamma} \left(\frac{T_c}{100}\right)^4 \right] \quad (8)$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$q_{л} = \frac{q_{л}}{t_{\Gamma} - t_c} \quad (9)$$

Экспериментальные результаты

Результаты вычислений степени черноты двуокиси углерода ε_{CO_2} и водяного пара и газов при различных температурах приведено в табл. 2, 3 и 4.

Таблица 2 - Степень черноты двуокиси углерода ε_{CO_2} и водяных паров ε_{H_2O} при различных температурах газа и различных объемах топки \bar{h}_T

с0 температура газа T_{Γ}	$\bar{h}_T=1$	$\bar{h}_T = 0,75$	$\bar{h}_T=0,5$	$\bar{h}_T=0,25$
	$pl = 0,003908$	$pl = 0,0032879$	$pl = 0,002751$	$pl = 0,0018461$
1773	0,05	0,047	0,041	0,031
1573	0,06	0,055	0,05	0,042
1373	0,07	0,065	0,06	0,05
1173	0,08	0,078	0,07	0,06
973	0,083	0,08	0,072	0,068
773	0,085	0,07	0,066	0,062
573	0,076	0,072	0,067	0,06

Таблица 3 - Степень черноты водяных паров ε_{H_2O}

с0 температура газа T_{Γ}	$\bar{h}_T=1$	$\bar{h}_T = 0,75$	$\bar{h}_T=0,5$	$\bar{h}_T=0,25$
	$pl = 0,003908$	$pl = 0,0032879$	$pl = 0,002751$	$pl = 0,0018461$
1773	0,02	0,018	0,017	0,01
1573	0,025	0,022	0,02	0,013
1373	0,035	0,03	0,028	0,017
1173	0,042	0,036	0,034	0,021
973	0,05	0,048	0,036	0,028
773	0,066	0,056	0,053	0,038
573	0,078	0,068	0,064	0,05

Таблица 4 - Степень черноты газов ε_{Γ}

Температура газов	$\bar{h}_T=1$	$\bar{h}_T = 0,75$	$\bar{h}_T=0,5$	$\bar{h}_T=0,25$
	$pl = 0,003908$	$pl = 0,0032879$	$pl = 0,002751$	$pl = 0,0018461$
1773	0,0704	0,06572	0,05868	0,0414
1573	0,086	0,07788	0,0708	0,0552
1373	0,1064	0,0962	0,08912	0,06768
1173	0,1236	0,11544	0,10536	0,0794
973	0,135	0,12992	0,10944	0,08712
773	0,1536	0,12824	0,12112	0,0942
573	0,1571	0,14272	0,13356	0,11

Таблицы 2, 3 и 4 получены расчетным путем:

$$\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = \varepsilon_{\text{H}_2\text{O},1773} \cdot \left(\frac{1773}{T_r}\right)^{1,6} \bar{h}_T^{0,5} = 0,02 \left(\frac{1773}{T_r}\right)^{1,6} \quad (10)$$

Тогда зависимость по определению поглотительной способности газов после некоторых преобразований будет иметь вид

$$A_r = \bar{h}_T^{0,5} \cdot \left(\frac{1773}{T_r}\right) \left[0,05 \left(\frac{T_r}{T_c}\right)^{0,65} + 0,0208 \left(\frac{1773}{T_r}\right)^{0,6}\right] \quad (11)$$

Лучистый теплообмен между продуктами горения и тепловоспринимающей стенкой

$$q_L = \frac{1}{2} (\varepsilon_c + 1) C_o \left[\varepsilon_r \left(\frac{T_r}{100}\right)^4 + A_r \left(\frac{T_c}{100}\right)^4 \right] \quad \text{при } \bar{h}_T = 1 \quad (12)$$

Лучистый теплообмен в общем случае:

$$q_L = \frac{1}{2} (\varepsilon_c + 1) C_o \left[\varepsilon_r \left(\frac{T_r}{100}\right)^4 - A_r \left(\frac{T_c}{100}\right)^4 \right] = \frac{1}{2} (\varepsilon_c + 1) C_o \bar{h}_T^{0,5} \left[\varepsilon_r \left(\frac{T_r}{100}\right)^4 - 0,19 \left(\frac{T_c}{100}\right)^4 \right] \quad (13)$$

Здесь A_r для инженерных расчетов с точностью до 5% можно представить зависимостью:

$$A_r = \left[\varepsilon_{\text{CO}_2} \left(\frac{T_r}{T_c}\right)^{0,65} + 0,0208 \left(\frac{1773}{T_r}\right)^{0,6} \right] - 0,19 \cdot \left(\frac{1773}{T_r}\right) \quad (14)$$

Таким образом, изменение объема топки приводит к изменению (уменьшению или увеличению) лучистого теплообмена.

При этом на стадии интенсивного выхода летучих веществ количество поступающего в топку воздуха обычно недостаточно для полного их сгорания, а на стадиях предварительного разогрева и дожигания горючих веществ количество воздуха в несколько раз превышает теоретически необходимое.

В результате на стадии интенсивного выхода летучих веществ происходит химический недожог выделившихся горючих газов, а при дожигании остатков имеют место повышенные потери тепла с уходящими газами ввиду увеличения объема продуктов сгорания. Потери теплоты с химическим недожогом составляют 3-5%, а с уходящими газами – 20-35%. Однако отрицательное действие химического недожога проявляется не только в дополнительных потерях теплоты и снижении КПД. Опыт эксплуатации большого количества отопительных котлов показывает, что в результате химического недожога интенсивно выделяющихся летучих веществ на внутренних стенках топки и дымоходов откладывается аморфный углерод в виде сажи. Поскольку сажа имеет низкую теплопроводность, ее отложения увеличивают термическое сопротивление стен топки и тем самым снижают полезную теплоотдачу тепловоспринимающих поверхностей.

Выводы

Таким образом, внесение изменения в конструкцию топки позволяет: во-первых, создать условия для полноты сгорания как летучих веществ, так и коксового остатка.

Назначение топливника сводится к максимальному изъятию энергии из топлива и передаче ее в максимальном объеме в конвективную систему. Этого можно добиться за счет повышения температуры реакции горения во всех ее стадиях.

У большинства современных твердотопливных котлов, регулирование теплопроизводительности производится за счет регулирования подачи воздуха, необходимого для горения, то есть за счет изменения мощности горения. Высокое значение КПД котлов на любом виде топлива, может быть получено при их работе с наибольшей мощностью. Коэффициент полезного действия (КПД) таких систем отопления существенно зависит от того, при какой мощности работает система. Чем ниже степень использования системы, тем ниже КПД и тем больше расход топлива.

Литература

1. Роддатис К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности, Современник, 1985. – 525с.
2. Гусев Ю. Л. Основы проектирования котельных установок. — М.: Стройиздат, 1973. — 248 с.

3. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.
4. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). –М., Высшая школа, 1992. –415 с.)
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. –М.: ЭНЕРГИЯ, 1977. –364 с.
6. Тепловой режим здания. Богословский В.Н. 1979
7. Учебное пособие “Строительная теплофизика Хужаев П.С., Тагойбеков Ш.С. 2017 год. С.165.
8. Андреевский, А. К. Отопление: учеб. пособие. – 2.е изд. – Минск: Вышш. школа, 1982.
9. Богословский, В. Н. Тепловой режим здания. – М.: Стройиздат, 1979.
10. Гусев, В. М. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учеб. Для вузов / В. М. Гусев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1981.
11. Хужаев П.С., Холмуратов Т.Р., Абдуллаев Р.Г. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение здание и сооружение: учеб. пособие для вузов. ТТУ им. акад. М.С. Осими, Душанбе 2019.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- AUTHORS BACKGROUND

RU	TJ	EN
Хужаев Парвиз Сайдғуфрорович	Хучаев Парвиз Сайдғуфрорович	Khujaev Parviz Saidgufronovich
Кандидат технических наук и.о. доцента кафедры «Системы водоснабжения, теплогасоснабжения и вентиляции»	Номзади илмҳои техники ичроқунандаи вазифаи дотсенти кафедраи “ Системаҳои таъминии об, газугарми ва вентилятсия	Candidate of Technical Sciences,, Associate Professor, Associate Professor of the department "Water supply, gas supply and ventilation system"
Таджикский технический университет имени академика М.С Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi.
Parviz0774@inbox.ru		

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Приложение 1
к Положению о научном журнале
"Политехнический вестник"

**ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей в журнал "Политехнический вестник"**

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:

- статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).

3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.

4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD¹ на таджикском, английском или русском языке:

ВВЕДЕНИЕ (Introduction)	Почему проведено исследование? Что было исследовано, или цель исследования, какие гипотезы проверены? Включает: актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)	Когда, где и как были проведены исследования? Какие материалы были использованы или кто был включен в выборку? Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)	Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).
ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)	Что подразумевает ответ и почему это имеет значение? Как это вписывается в то, что нашли другие исследователи? Каковы перспективы для будущих исследований? Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: соответствие полученных результатов гипотезе исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	оформляется в конце статьи в следующем виде:

¹ Данный термин составлен из первых букв английских слов: Introduction (Введение), Materials and Methods (Материалы и методы), Results (Результаты) Acknowledgements and Discussion (Обсуждение). Это самый распространенный стиль оформления научных статей, в том числе для журналов Scopus и Web of Science.

(AUTHORS' BACKGROUND)

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name			
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title ²			
Ташкилот, Организация, Organization			
e-mail			
ORCID ³ Id			
Телефон			

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)	<p>Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой.</p> <p>Пример:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конфликт интересов: Автор Х.Х.Х. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX. 2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. <p>Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи</p>
ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS).	<p>Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно).</p> <p>Пример данного раздела:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Авторы A1, A2 и A3 придумали и разработали эксперимент, авторы A4 и A5 провели теоретические исследование. Авторы A1 и A6 участвовали в обработке данных. Авторы A1, A2 и A5 участвовали в написании текста статьи. Все авторы участвовали в обсуждении результатов. 2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации
ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора)	
БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)	<p>Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.</p>
ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING)	<p>Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.</p>
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION)	<p>В этом разделе могут быть помещены:</p> <p>Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них.</p> <p>Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе).</p> <p>Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладах на конференциях и семинарах.</p>

² Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

³ ORCID или Open Researcher and Contributor ID (Открытый идентификатор исследователя и участника) — незапатентованный буквенно-цифровой код, который однозначно идентифицирует научных авторов.
www.orcid.org.

5. Требования к оформлению статей

Рекомендуемый объем оригинальной статьи – до 10 страниц, обзора – до 15 страниц, включая рисунки, таблицы, библиографический список. В рубрику «Краткие сообщения» принимаются статьи объемом не более 3 страниц, включая 1 таблицу и 2 рисунка.

Рекомендации по набору и оформлению текста

Наименование	Требования	Примечания
Формат страницы	A4	
Параметры страницы и абзаца	отступы сверху и снизу - 2.5 см; слева и справа - 2 см; табуляция - 2 см;	ориентация - книжная
Редактор текста	Microsoft Office Word	
Шрифт	Times New Roman, 12 пунктов	
межстрочный интервал	Одинарный, выравнивание по ширине	Не использовать более одного пробела между словами, пробелы для выравнивания, автоматический запрет переносов, подчеркивания.
Единица измерения	Международная система единиц СИ	
Сокращения терминов и названий	В соответствии с ГОСТ 7.12-93.	должны быть сведены к минимуму
Формулы	Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские курсивом. Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются.	Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо
Таблицы	При создании таблиц рекомендуется использовать возможности MS Word (Таблица – Добавить таблицу) или MS Excel. Таблицы должны иметь порядковые номера, название и ссылку в тексте. Таблицу следует располагать в тексте после первого упоминания о ней. Интервал между строчками в таблице можно уменьшать до одинарного, размер шрифта – до 9 пунктов.	Внутри таблицы заголовки пишутся с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Заголовки центрируются. Боковые – по центру или слева. Диагональное деление ячеек не рекомендуется. В пустой ячейке обязателен прочерк (тире –). Количество знаков после запятой (точность измерения) должно быть одинаковым.
Рисунки (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы)	Должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте, которую следует располагать в тексте после первого упоминания о рисунке. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с MS Word (*JPEG, *BIF, *TIFF (толщина линий не менее 3 пкс) Фотографии должны быть предельно четкими, с разрешением 300 dpi. Максимальный размер рисунка: ширина 150 мм, высота 245 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись, в которой дается объяснение всех его элементов. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами и комментируются в подписях к рисункам.	Заголовки таблиц и подрисуночные подписи должны быть по возможности лаконичными, а также точно отражающими смысл содержания таблиц и рисунков. Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Все надписи на рисунках (наименования осей, цифры на осях, значки точек и комментарии к ним и проч.) должны быть выполнены достаточно крупно, одинаковым шрифтом, чтобы они легко читались при воспроизведении на печати. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском языке. Не допускается наличие рамок вокруг и внутри графиков и диаграмм. Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel.

Рукопись должна быть построена следующим образом:

Раздел	Содержание (пример)	Расположение
Индекс УДК ⁴	УДК 62.214.4; 621.791.05	в верхнем левом углу полужирными буквами
Заголовок	НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (должен быть информативным и, по возможности, кратким) (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Авторы	Инициалы и фамилии авторов (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Организация	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	В центре полужирными буквами
Реферат (аннотация)	Должен быть информативным и на языке оригинала статьи (таджикском, русском и английском), содержать 800-1200 печатных знаков (120-200 слов). Структура реферата: Введение. Материалы и методы исследования. Результаты исследования. Заключение.	Выровнять по ширине
Ключевые слова	5-6, разделены между собой « , ». (на языке оригинала статьи) Пример: энергосбережение, производство корунда, глинозем, энергопотребление, оптимизация	Выровнять по ширине
На двух других языках приводится: Заголовок Авторы Организация Реферат (аннотация)	перевод названия статьи, авторов ⁵ , организаций ⁶ , заголовки и реферат ⁷ и ключевые слова ⁸ на двух других языках	
Статья согласно структуры	Согласно требованиям пункта 4 требования и условия предоставления статей в журнал "Политехнический вестник"	Выровнять по ширине

К статье прилагается (см. <http://vp-es.ttu.tj/>):

1. Сопроводительное письмо (приложение 1А).
2. Авторское заявление (приложение 1Б).
3. Лицензионный договор (приложение 1В).
4. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати (приложение 1Г).
5. Рецензия (приложение 1Д).

⁴ Универсальная десятичная классификация (УДК) — система классификации информации, широко используется во всём мире для систематизации произведений науки, литературы и искусства, периодической печати, различных видов документов и организации картотек. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.90—2007. Пример: <https://www.teacode.com/online/udc/>

⁵ В английском переводе фамилии авторов статей представляются согласно системе транслитерации BSI (British Standard Institute). Стандарт BSI обычно применяется в случае, когда требуется корректная транслитерация букв, слов и предложений из кириллического алфавита в латинский в случае оформления библиографических списков с официальным статусом. Им пользуются для того, чтобы попасть в зарубежные базы данных.

⁶ Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

⁷ Необходимо использовать правила написания организаций на английском языке: все значимые слова (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы. Совершенно не допускается написание одних смысловых слов с прописной буквы, других – со строчной.

⁸ В английском переводе ключевых слов не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не должен использоваться непереводимый сленг, известный только ограниченному кругу специалистов.

Мухаррири матни русӣ:
Мухаррири матни тоҷикӣ:
Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:

М.М. Якубова
Муаллифон
Ф.М.Рахимов

Редактор русского текста:
Редактор таджикского текста:
Компьютерный дизайн и верстка:

М.М. Якубова
Авторская редакция
Ф.М.Рахимов

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10^А
Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раҷабовых, 10^А

Ба чоп 28.03.2022 имзо шуд. Ба матбаа 31.03.2021 супорида шуд.
Чопи офсетӣ. Қоғаз офсет. Андозаи 60x84 1/8
Адади нашр 50 нусха.

Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ
ш. Душанбе, кӯчаи акад. Раҷабовҳо, 10^А