

ISSN 2520-2227

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

4 (68) 2024



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Инженерные исследования

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Engineering studies

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

БАХШИ ТАҲҚИҚОТҲОИ МУҲАНДИСӢ

ISSN
2520-2227

4(68)
2024



МАЧАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

Маҷалла ба рӯйхати наирияхои тақризии КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, КОА-и назди Вазорати таҳсилоти олии, илм ва инноватсияҳои Ҷумҳурии Узбекистон ва равияи металлургияи он ба рӯйхати наирияхои тақризии КОА-и Федератсияи Россия ворид карда шудааст.

Журнал включен в перечень рецензируемых изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан, ВАК при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, а его металлургическое направление в перечень рецензируемых изданий ВАК Российской Федерации.

The journal is included in the list of peer-reviewed publications of the HAC under the President of the Republic of Tajikistan, the HAC under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan, and its metallurgical direction in the list of peer-reviewed publications of the HAC of the Russian Federation.

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст
№ 231/МҚ-97 аз 27 январи соли 2022
Индекси обуна 77762

| РАВЯИ ИЛМИИ МАЧАЛЛА | НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА | SCIENTIFIC DIRECTION |
|---|---|---|
| 05.14.00 Энергетика 05.16.00 Металлургия ва маводшиносӣ 05.17.00 Технологияи кимӣвӣ 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 |

| Нишонӣ | Адрес редакции | Editorial office address |
|---|---|--|
| 734042, г. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10А Тел.: (+992 37) 227-57-87 | 734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10А Тел.: (+992 37) 227-57-87 | 734042, Dushanbe, Avenue of Academicians Radjabovs, 10A Tel.: (+992 37) 227-57-87 |

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ

POLYTECHNIC BULLETEN
SERIES: ENGINEERING STUDIES

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ

САРДАБИР

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА

доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

Ш.А. БОЗОРОВ

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

АЪЗОЁН

А.И. СИДОРОВ

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

А.Г. ФИШОВ

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

З.Ш. ЮЛДАШЕВ

д.и.т., дотсент

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. ҶУРАЕВ

д.и.т., профессор

М.М. ҲАҚДОД

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

А.Б. БАДАЛОВ

узви вобастаи АМИТ, д.и.х., профессор

А.С. ФОХАКОВ

д.и.т., дотсент

В.В. СИЛЯНОВ

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

Р.А. ДАВЛАТШОЕВ

н.и.т., дотсент

М.Ю. ЮНУСОВ

н.и.т., и.в. дотсент

Р.САЛОМЗОДА

н.и.т., дотсент

Ҷ.Н. НИЗОМОВ

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

И. КАЛАНДАРБЕКОВ

д.и.т., профессор

А. Г. ГИЯСОВ

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

Н.Н. ҲАСАНОВ

доктори меъморӣ, и.в. профессор

Р.С. МУҚИМОВ

доктори меъморӣ, профессор

Ҷ.Ҳ. САИДЗОДА

доктори илмҳои техникаӣ, профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ

д.и.т., профессор (Ҷумҳурии Тоҷикистон)

Н.М. ҲАСАНОВ

д.и.т., дотсент

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

К.К. ДАВЛАТЗОДА

д.э.н., профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА

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

Ш.А. БОЗОРОВ

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

А.И. СИДОРОВ

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

А.Г. ФИШОВ

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

З.Ш. ЮЛДАШЕВ

д.т.н., доцент

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. ҲАҚДОД

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., профессор

А. Г. ГИЯСОВ

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

Н.Н. ХАСАНОВ

доктор архитектуры, и.о. профессора

Р.С. МУҚИМОВ

доктор архитектуры, профессор

Дж.Х. САИДЗОДА

д.т.н., профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ

д.т.н., профессор (Республика Узбекистан)

Н.М. ҲАСАНОВ

д.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 |
| <i><u>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ВОДОЁМОВ И ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЖИМ РАБОТЫ МАЛЫХ ГЭС</u></i> | <i><u>5</u></i> |
| А.К. Киргизов, С. Ниёзи, М.М. Вохидов, Ф.Д. Арабов, Андалеби Н..... | 5 |
| <i><u>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН.....</u></i> | <i><u>11</u></i> |
| Ш.Х. Пирова, Ф.М. Рахимов | 11 |
| <i><u>ТАДҚИҚИ САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ НЕРҶОҲҶОИ ЭЛЕКТРИКИИ БОДӢ БАРОИ ЭЛЕКТРОТАЪМИНКУНИИ ИСТЕЪМОЛКУНАНДАГОНИ ДУРДАСТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН.....</u></i> | <i><u>15</u></i> |
| Х.С. Саидзода, М.А. Балаев, Ф.О. Исмоилов, С.Г. Гулмуродзода, Б.С. Ҷамолзода | 15 |
| <i><u>УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ .</u></i> | <i><u>24</u></i> |
| ¹ З.Ш. Юлдашев, ² Л.С. Касобов..... | 24 |
| <i><u>ТАҲҚИҚИ РОҲҶОИ САРФАИ НЕРҶИ БАРҶ ДАР КОРХОНАҶОИ СОҶАИ БОФАНДАГӢ.....</u></i> | <i><u>33</u></i> |
| И.Р. Каримов | 33 |
| <i><u>АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ</u></i> | <i><u>40</u></i> |
| И.Х. Махмудов, Ш.М. Султонзода, Дж.С. Ахъёев..... | 40 |
| <i><u>САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ ЗАХИРАҶОИ НЕРҶИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР НОҶИЯИ МУРҶОБ</u></i> | <i><u>49</u></i> |
| А.Я. Абдурахманов, Ф.Н. Қувватов, Н.Х. Одинаев, Ф.Ҳ. Қаландаров | 49 |
| <i><u>ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: ПРЕИМУЩЕСТВА И ВЫЗОВЫ</u></i> | <i><u>54</u></i> |
| Ш.Н. Саидова | 54 |
| <i><u>DEVELOPMENT OF RELIABILITY MODEL FOR A MULTIPHASE SYNCHRONOUS GENERATOR WITH AN UNCONTROLLED RECTIFIER.....</u></i> | <i><u>63</u></i> |
| A. M. Davlatov, N.Kh. Odinaev, A.Z. Rakhmatulloev | 63 |
| <i><u>АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ НАРУШЕНИЯМИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ МАТЛАБ</u></i> | <i><u>72</u></i> |
| З.С. Эшов | 72 |
| <i><u>ТАВСИФОТИ КУНҶИИ ГЕНАРАТОРИ СИНХРОНИИ ТАВВАСУТИ ХАТИ ИНТИҚОЛИ ДАРОЗ КОРКУНАНДА ДАР ФОСИЛАИ ПАЙВАСТИ ТАКРОРИИ АВТОМАТИИ ЯКҶАЗА</u></i> | <i><u>84</u></i> |
| С.Г. Гулмуродзода, М.А. Балаев, Ф.О. Исмоилов, Х.С. Саидзода, Б.С. Ҷамолзода, С.Р. Ниёзӣ | 84 |
| МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE..... | 92 |
| <i><u>ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ЛАНТАНИДОВ, ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ln5Pb3</u></i> | <i><u>92</u></i> |
| <i><u>(где Ln – ЛАНТАНИДЫ) И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ.....</u></i> | <i><u>92</u></i> |
| ¹ С. А. Гадоев, ¹ Б.Ш. Рахмонов, ² Б.Б. Эшов, ¹ А. Бадалов | 92 |
| <i><u>ПОТЕНЦИОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlV0.1 С КАЛЬЦИЕМ В СРЕДЕ ВОДНОГО РАСТВОРА NaCl</u></i> | <i><u>99</u></i> |
| ¹ И.Н. Ганиев, ² К.Х. Ашуров, ¹ Ш.Ш. Окилов, ¹ Х.М. Ходжаназаров | 99 |
| <i><u>РАСЧЁТ СПИНОДАЛЬНОЙ КРИВОЙ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm)</u></i> | <i><u>106</u></i> |
| С.И. Муродов..... | 106 |
| <i><u>ВЫБОР ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2,18 С БАРИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ В РЕЖИМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ</u></i> | <i><u>111</u></i> |
| Ф. ¹ Холмуродов, И.Н. ² Ганиев, А. Г. ¹ Сафаров, Дж.Х. ² Джайлоев | 111 |

| | |
|--|------------|
| <u>ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1 С КАЛИЕМ</u> | 117 |
| И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, Р.Д. Исмонов, Г.М. Рахматуллоева | 117 |
| ТЕХНОЛОГИИ КИМИЁВЇ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY125 | |
| <u>ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНТРАЦИТУ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЗАРАЙЛОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ ИЗДЕЛИЙ</u> | 125 |
| Б.С. Джамолзода ¹ , А.Ш. Муродиён ² | 125 |
| <u>АСФАЛЬТОБЕТОН С ДВУХКОМПОНЕНТНЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ИЗВЕСТНЯКА И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ</u> | 129 |
| ¹ Дж.З. Тошов, ¹ Ф.Б. Шарипов, ² А. Шарифов..... | 129 |
| <u>ХИМИЗМ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ЦИАНИДОМ И ТИОСУЛЬФАТОМ</u> | 134 |
| Х.И. Холов ^{1,2} , Н.Т. Шарифбоев ³ , Ш.Р. Самихов ¹ , Ш.Р. Джуракулов ⁴ , Ф. Эшонова ¹ | 134 |
| <u>ПРОЧНОСТЬ И СТОЙКОСТЬ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНО-ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В АГРЕССИВНЫХ СРЕД</u> | 140 |
| Р.Х. Сайрахмонов, А.С. Рахматзода, Д.Д. Рахматулаев, С.С. Умаров | 140 |
| НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT.....147 | |
| <u>АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ И ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ПОТОКА НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ ПРОСПЕКТА Н. КАРАБАЕВА Г. ДУШАНБЕ)</u> | 147 |
| Х.Б. Бобоев, С.Ж. Иброхимов | 147 |
| <u>АНАЛИЗ, РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ</u> | 151 |
| Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов..... | 151 |
| <u>МАСЪАЛАҲОИ МИНТАҚАВИИ РУШДИ НАҚЛИЁТИ МУСОФИРБАР ВА ТАҲЛИЛИ МАРҲИЛАҲОИ ИНКИШОФИ ПАРКИ АВТОБУСҲО</u> | 155 |
| Ф.М. Юнусов, А.А. Раҷабов | 155 |
| СОҲТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE.....162 | |
| <u>РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОТКОСА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ЗНАЧЕНИИ СЦЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ</u> | 162 |
| ¹ О.К. Комилов, ² Т.А. Негматов, ² А.А. Рахманов | 162 |
| <u>ВЛИЯНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННЫХ ЦЕМЕНТОВ</u> | 171 |
| А.А. Акрамов, А.М. Абдуганиев, Я.Г. Назиров, А.К. Муминов | 171 |
| <u>ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</u> | 177 |
| И.К. Каландарбеков, У.М. Махмадиев | 177 |
| <u>ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИН МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ</u> | 184 |
| Д.Н. Низомов, И.К.* Каландарбеков, Д.Дж.* Исвалиев, И.И.* Каландарбеков | 184 |
| <u>ВЛИЯНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА</u> | 189 |
| А.А. Акрамов | 189 |

УДК 620.91(.92)+626.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВОДОЁМОВ И ВОДОХРАНИЛИЩ НА РЕЖИМ РАБОТЫ МАЛЫХ ГЭС**А.К. Киргизов, С. Ниёзи, М.М. Вохидов, Ф.Д. Арабов, Андалеби Н**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Уменьшение выработки электроэнергии в зимнем периоде является одной из проблем эксплуатации малых ГЭС в Таджикистане. Как показывает опыт эксплуатации малых гидроэлектростанций, построенных в высокогорных районах Таджикистана, отрицательные температуры негативно влияют на работу гидротехнических сооружений. Предложенный метод аккумуляции тепловой энергии в водоёмах для улучшения режимов работы малых ГЭС является актуальным и может использоваться при эксплуатации МГЭС в зимнем периоде. Также приведены некоторые практические примеры применения предложенных методов.

Ключевые слова: малые ГЭС, водохранилища, сток, река, лёд, шуга, ледостав, мощность, зима.

АРЗИШИ ТАЪСИРИ ЭНЕРГИЯИ ГАРМИ ОБАНБОРҶО ВА ҲАВЗҶО БА РЕҶАИ КОРИИ НБО-И ХУРД**А.К. Қирғизов, С. Ниёзӣ, М.М. Воҳидов, Ф.Д. Арабов, Андалеби Н**

Кохиши истеҳсоли нерӯи барқ дар фасли зимистон яке аз мушкилоти фаъолияти нерӯгоҳҳои хурди оби барқ дар Тоҷикистон аст. Тавре, ки таҷрибаи истифодаи нерӯгоҳҳои барқи оби хурд, ки дар минтақаҳои баландкуҳи Тоҷикистон сохта шудаанд, нишон медиҳад, ҳарорати манфӣ ба кори иншооти гидротехникӣ таъсири манфӣ мерасонад. Усули пешниҳодшудаи ҷамъоварии энергияи гармӣ дар обанборҳо барои беҳтар намудани реҷаи кори нерӯгоҳи хурди оби муҳим аст ва онро ҳангоми ба қор андохтани нерӯгоҳи оби хурд дар фасли зимистон истифода бурдан мумкин аст. Дар мақола инчунин яқиндор мисолҳои амалии истифодаи усулҳои пешниҳодшуда оварда шудааст.

Калидвожаҳо: нерӯгоҳҳои барқи оби хурд, обанборҳо, маҷро, дарёҳо, яхбандӣ, яхсел, яхбандӣ, барқ, зимистон.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THERMAL ENERGY OF WATER BODIES AND RESERVOIRS ON THE OPERATING MODE OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS**A.K. Kirgizov, S. Niyoz, M.M. Vohidov, F.D. Arabov, Andalebi N.**

Reduction of electricity generation in winter is one of the problems of small hydroelectric power plants operation in Tajikistan. As the experience of small hydroelectric power plants operation built in highland regions of Tajikistan shows, negative temperatures negatively affect the operation of hydraulic structures. The proposed method of thermal energy accumulation in reservoirs to improve the operating modes of small hydroelectric power plants is relevant and can be used in the operation of small hydroelectric power plants in winter. The article also provides some practical examples of the application of the proposed methods.

Keywords: small hydroelectric power plants, reservoirs, runoff, river, ice, slush, freeze-up, capacity, winter.

Введение

Одной из основных проблем эксплуатации малых гидроэлектростанций (МГЭС) в горных районах Республики Таджикистан являются метеорологические факторы, особенно зимние отрицательные температуры. Из опыта эксплуатации МГЭС в зимнем периоде известно, что основные проблемы это шугаход по всей длине реки, обледенение водоприёмников и деривационных каналов. На сегодняшний день в республике построены 235 малых ГЭС в горных труднодоступных районах и селениях. Из статистических данных, полученных из ОАХК «Барки Точик», почти все МГЭС в зимнем периоде вырабатывают 50% от установленной мощности, а некоторые вообще перестают работать. Как известно, потребление в зимние месяцы возрастает, и уменьшение выработки МГЭС создаёт дополнительные проблемы электроснабжения потребителей. До сегодняшнего дня осуществлены много вариантов решения этой проблемы, притягивание тросов по поверхности реки для удержания шуги и его сбор по краям реки. Эти меры, как показывает опыт эксплуатации, являются недостаточными и не решают проблему.

Решение задачи

Для улучшения режимов работы МГЭС необходимо сооружение водохранилища или использование естественных водоёмов. Использование водохранилища и водоёма позволяет повышать температуру воды в реке после водохранилища. Температура воды в реке после водохранилища или естественного водоёма зависит от глубины водоёмов. Водоохранилища и водоемы, если их использовать по их прямому назначению, имеют способность аккумулировать тепловую энергию, полученную от солнечной энергии. Накопившую тепловую энергию можно использовать в зимнем периоде при сработке воды из водохранилища. Такой подход позволяет повысить энергетические показатели МГЭС в зимнем периоде, а также облегчить работу гидротехнических сооружений.

Таким образом, сооружённые водохранилища и естественные водоёмы позволяют аккумулировать большой объём тепловой энергии в накопленной воде собственных ёмкостях и тем самым улучшат режим работы малых ГЭС, построенных непосредственно поблизости или отдалённых от них на определённых расстояниях [1].

К сожалению, данный вопрос достаточно мало изучен в исследовательских кругах как в Таджикистане, так и за её пределами. Он также слабо освещён в научно-технической литературе, особенно в контексте использования теплового эффекта естественных водоёмов и искусственных инженерных сооружений для развития строительства малых ГЭС в высокогорных районах с суровыми климатическими условиями. Необходимо отметить, что в практике эксплуатации электроэнергетической системы для улучшения показателей и режима работы малых ГЭС он уже используется. Однако такое обстоятельство подтверждается и классифицируется многими специалистами, только как фактор количественного увеличения величины расхода воды из естественных резервуаров и водохранилища при малых ГЭС. Фактически накопленная тепловая энергия в данных объектах способствует повышению температуры воды в реке и тем самым снижает потери в процессе движения к водоприёмным сооружениям МГЭС, что не позволяет превращаться последней в твёрдый сток.

Исследования теплового режима относительно годового цикла изменения метеорологических факторов очень тщательно рассмотрены в книге «Основы гидрофизики» [2]. В литературе [2] приводится, что основным источником тепла для водоёмов и водохранилищ является лучистая энергия солнца, но существуют и другие источники, которые будут влиять на формирование теплового баланса водохранилища. Количество теплоты, которая поступает и уходит из водоёма, и её баланс можно определить по выражению [2]:

$$S_{\Sigma} = S_r + S_{и} + S_{к} + S_{д} + S_{п} + \dots \quad (1)$$

где, S_r - радиационный теплообмен равный разности поглощенной водой суммарной солнечной радиации и эффективного излучения водной поверхности; $S_{и}$ - процесс теплообмена с атмосферой и дном; $S_{к}$ - конвективный теплообмен; $S_{д}$ - теплообмен между водой и грунтом ложа водохранилища; $S_{п}$ - суммарный адвентивный поток тепла, приносимый грунтовыми или промышленными водами;

В уравнении $S_r > 0$, а остальные элементы могут получить разные значения в зависимости от времени года.

Как было сказано выше, некоторые значения уравнения (1) могут менять свой знак в зависимости от времени года. Например, S_r увеличивается в весенне - летний период, а $S_{к}$ увеличивается как весной, так и осенью, а зимой из-за появления ледового покрова на поверхности водохранилищ $S_{и}$ полностью стремится к нулю, исходя из этих условий можно записать уравнение в следующем виде:

$$S_0 = S_r + S_{и} + S_{к} \approx 0 \quad (2)$$

Кроме того, необходимо отметить, что для условия высокогорных районов Таджикистана практически $S_{\Sigma} = S_r$, т.е. тепловая энергия полностью формируется из одного источника, в данный момент солнечного.

Однако многолетняя практика эксплуатации гидроэнергетических объектов, в особенности малых ГЭС, расположенных в отдалённых высокогорных районах Таджикистана, где господствуют суровые климатические условия, перечисленными функциями не заканчивается положительное значение искусственных водохранилищ и естественных водоёмов.

Классическим примером актуальности и практической целесообразности использования тепла естественных водоёмов является Сарезское озеро на реке Мургаб и Озеро Яшиль - Куль на истоках реки Гунд в Горно-Бадахшанской Автономной области Республики Таджикистан. Озеро Сарез с общим накопленным объёмом в 17 км³, и находящийся на высоте более 3000 м над уровнем моря, даёт начало реки Бартанг, которая не замерзает на всем своём протяжении до слияния в реку Пяндж. После приобретения значительной тепловой энергии от реки Бартанг в реке Пяндж также завершается процесс замерзания. До образования озера в результате сильного землетрясения с магнитудой более 11 баллов по шкале Рихтера (11 февраля 1911г.) река Бартанг мёрзла полностью, а Пяндж до кишлака Шидз полностью и большими отрывками до Дарвазского района [3].

Важную роль в росте зимней гарантированной мощности самой мощной МГЭС Памир-1 в электроэнергетической системе «Памир Энерджи» с увеличением её зимней гарантированной мощности на 7 МВт, при установленной мощности в 28 МВт играет озеро Яшиль-Куль с общим объёмом воды в 400 млн. м³ у верховья реки Гунд. Путём строительства регулирующего устройства, позволяющего обеспечить накопление стока воды летом и сработка его в зимний период. Расстояние между ними - озером и МГЭС около 192 км. При проектировании ГЭС Памир-1 на реке Гунд было предусмотрено использовать озеро Яшилькуль как регулирующую ёмкость для увеличения зимней гарантированной мощности станции путём сработки части накопленного объёма воды из водоема. Для этого было построено водовыпускное устройство в районе естественного завала, где в зимний

период определенный расход воды для работы одного агрегата ГЭС равной 10 м³/с направляется на пополнение потока воды реки Гунд. Нужно отметить, что забор воды из водовыпускного устройства осуществляется из глубины под лед, толщина которого в зимний период достигает одного метра. Согласно проекту величина расчетного расхода воды из озера составляет 11-12 м³/с. Фактически эти расходы (10 м³/с) достигают станцию, и один гидроагрегат в зимний период работает с номинальной мощностью. Таким образом, за этот период ГЭС Памир-1 дополнительно производит свыше 20 млн. кВт.ч электроэнергии, когда это очень необходимо и своевременно для обеспечения надежности электроснабжения потребителей центрального энергетического узла электроэнергетической системы [4].

Необходимо отметить, что бассейн реки Гунд характеризуется холодной и продолжительной зимой. По данным многолетних наблюдений на метеостанциях: Булункуль, Хорог и Навабад – сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха за зиму в районе озера Яшилькуль (Н=3720м) изменилась от -22,20° С до -37,40° С, на участке расположения основных сооружений ГЭС Памир -1 (Н=2450м) – от -5,62° С до -12,21° С. Несмотря на то, что тяжелый ледовый режим реки Гунд все ещё доставляет множество трудностей при эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС Памир-1. Поэтому зимой в отдельные холодные годы наблюдаются потери при производстве электроэнергии. Однако эффект от использования стока озера Яшилькуль очень заметный. Достаточно отметить, что ГЭС Памир-1 за счет расхода воды из озера увеличил свою зимнюю гарантированную мощность до 21 МВт при 28 установленной. При этом за 9 лет дополнительная выработка электроэнергии за 4 зимних месяцев на этом гидроагрегате составила свыше 180 млн. кВт.ч.

Возникает справедливый вопрос о том, что было основным фактором эффекта использования части стока озера Яшилькуль для увеличения гарантированной мощности ГЭС Памир-1. Ведь этот эффект достигнут на расстоянии 192 км в период суровых зимних климатических условий. Проанализировав все обстоятельства, мы считаем, что причина появления эффекта заключается в аккумулировании солнечной тепловой энергии в объеме воды естественного озера Яшилькуль, которая становится главным фактором изменения температурного режима реки Гунд.

Дело в том, что большинство рек Таджикистана, расположенные на отметках выше 2500 м над уровнем моря, несколько месяцев в году замерзают, а некоторые даже находятся подо льдом. Формирование ледяного покрова на реках, установление ледостава существенно влияют на расчёт параметров при проектировании и на режим эксплуатации гидроэнергетических объектов. Существуют достаточно эффективные способы, разработаны и изобретены различные инженерные конструкции в борьбе против этого явления. Они широко известны, подробно изложены в технических литературах, успешно внедрены в действующих объектах и активно используются в новых перспективных энергетических проектах во многих странах мира, в том числе в Таджикистане [5]. Одним из наиболее распространенных технических решений, снижающих влияние ледовых явлений на режим работы малых ГЭС, является строительство водохранилища. Водоемы, создаваемые для регулирования речного стока, одновременно можно использовать для изменения ледового режима рек [6].

Таким образом, значение эффекта от использования тепловой энергии аккумулированной в водной среде от солнечной радиации в естественных водоемах огромно для всех направлений человеческой деятельности, в том числе для повышения эффективности использования гидроэнергетических ресурсов рек и водотоков, протекающих в суровых климатических условиях на высоких отметках свыше 2500 м над уровнем моря [7].

В качестве примера для оценки влияния тепловой энергии солнечной радиации на значения энергетических параметров предполагаемой к проектированию станции остановимся на створе малой ГЭС «Таджикистан» (Ак-Су) в Мургабском районе Горно-Бадахшанской области Республики Таджикистан, где уже известны все исходные данные по объекту для оценки.

Результаты расчёта водно-энергетического регулирования стока водохранилищем малой ГЭС «Таджикистан» занесены в Таблице 1 и показаны на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта водно-энергетического регулирования стока реки Ак-Су водохранилищем малой ГЭС Ак-Су
Средне-водный период

| | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | I | II | III |
|------------------|------|--------|------|--------|------|------|--------|-------|-------|--------|--------|------|
| Q _г | 14,5 | 22,7 | 40,8 | 42,9 | 18,5 | 9,2 | 6,9 | 6,8 | 6,6 | 6,5 | 6,7 | 9,2 |
| Q _{зар} | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9,81 | 7,51 | 7,41 | 7,21 | 7,11 | 7,31 | 9,81 |
| УВБ | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 |
| УНБ | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 |
| H | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| N | 1147 | 1147,7 | 1147 | 1147,7 | 1148 | 1126 | 861,98 | 850,5 | 827,5 | 816,06 | 839,02 | 1126 |

Маловодный период

| | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | I | II | III |
|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Q _г | 2,4 | 3,4 | 17,4 | 12,6 | 6,6 | 4,3 | 2,6 | 4,2 | 3,6 | 3,5 | 3,8 | 2,5 |
| Q _{зар} | 2,82 | 3,82 | 10 | 10 | 7,02 | 4,72 | 3,02 | 4,62 | 4,02 | 3,92 | 4,22 | 2,92 |
| УВБ | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 |
| УНБ | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 |
| H | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| N | 323,6 | 438,4 | 1147, | 1147,7 | 805,7 | 541, | 346,63 | 530,2 | 461,4 | 449,93 | 484,36 | 335,15 |

Многоводный период

| | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | I | II | III |
|------------------|------|---------|------|---------|------|------|--------|--------|------|--------|--------|--------|
| Q _г | 36,9 | 54,3 | 76,6 | 79,3 | 44,9 | 13,6 | 11,2 | 10,9 | 11,1 | 11,3 | 11,6 | 16,6 |
| Q _{зар} | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| УВБ | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 | 3585 |
| УНБ | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 | 3575 |
| H | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| N | 1147 | 1147,77 | 1147 | 1147,77 | 1148 | 1148 | 1147,8 | 1147,8 | 1148 | 1147,8 | 1147,8 | 1147,8 |

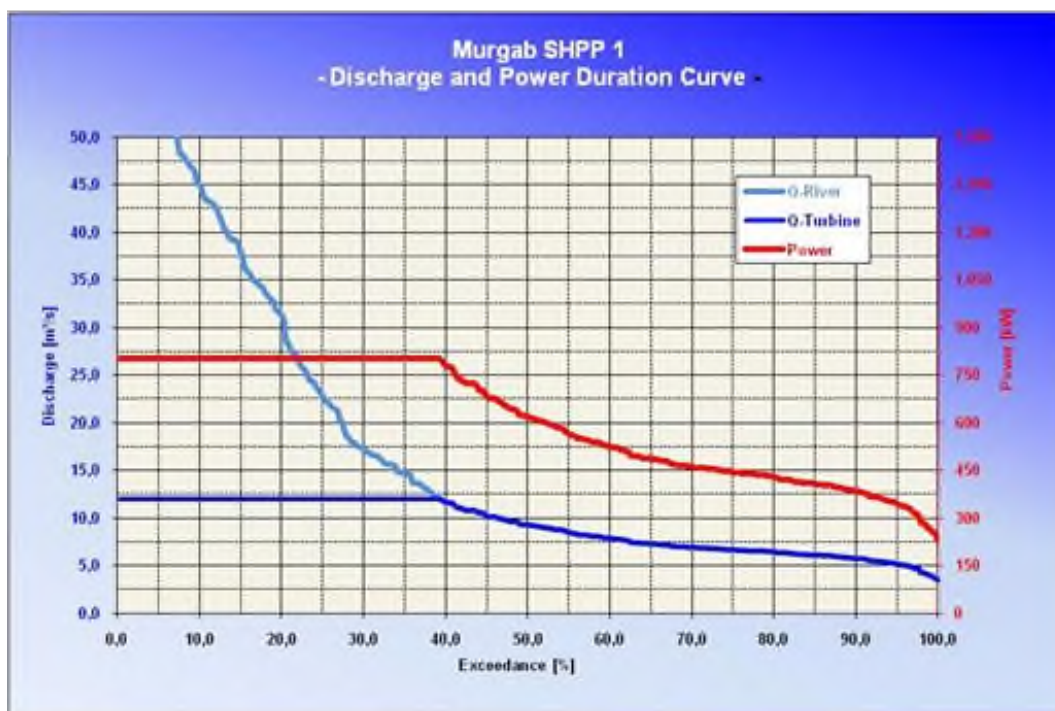


Рисунок 1 – Кривая продолжительности мощности малой ГЭС «Таджикистан» (Ак-Су)

На рис. 2 представлен вариант схемы комплексного гидроузла с расположением здания малой ГЭС S-образной формой. Согласно этой схеме забор воды производится с верхнего бьефа. Однако мы уже знаем, что за зимние месяцы верхний слой замерзает и покрывается льдом толщиной 0,6-0,8 м, иногда в очень холодные годы даже до 1 м. Следовательно, забор воды с верхнего бьефа ограничивает увеличение расхода воды через станции и, тем самым, получаем низкие гарантированные мощностей, всего лишь 320 кВт. При установленной мощности 800 кВт (исследования проведены до реконструкции).

Зная о том, что в нижних слоях водохранилища температура воды выше и относительно постоянна в своих значениях, предпочтительно водоприемные устройства перенести вниз, как показано на Рис. 3. В этом варианте схемы расположения элементов малой ГЭС значения зимних гарантированных мощностей станции увеличиваются до 420 кВт. Подчеркиваем, что наши расчёты являются оценочными, так как в реальных условиях проектирования расчётные параметры малой ГЭС выявляют с учётом всех технических требований и норм, принятых на государственном уровне любой страны.

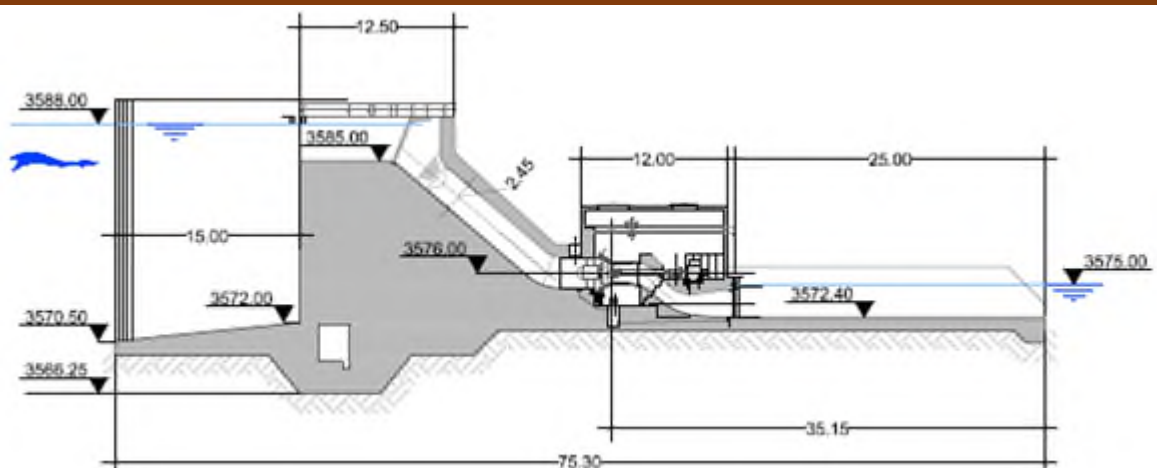


Рисунок 2 – Здание ГЭС Ак-Су

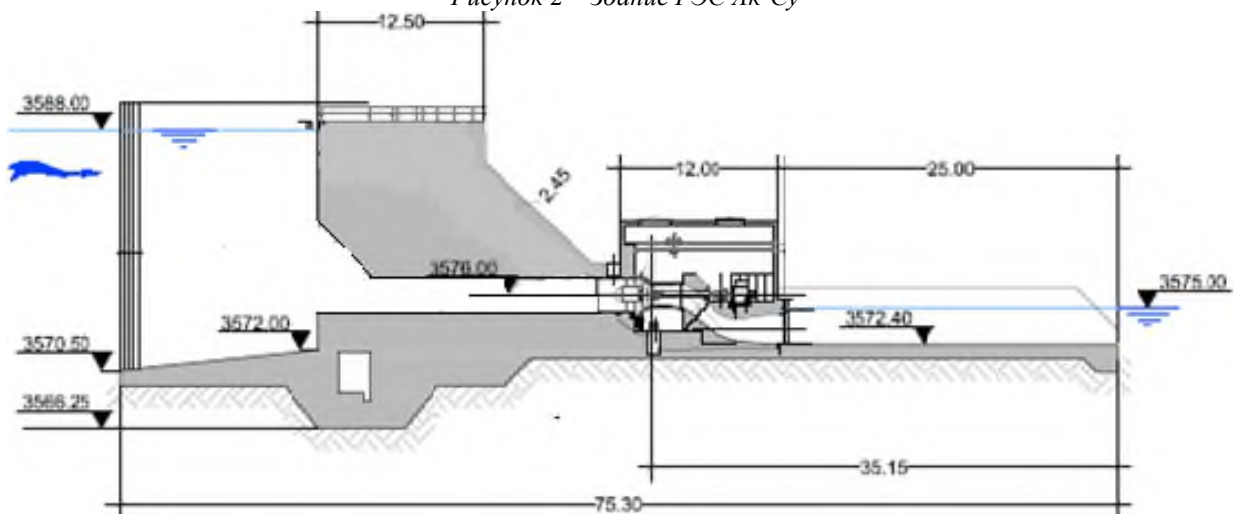


Рисунок 3 – Предлагаемый вариант здания ГЭС Ак-Су

Кроме того, расходы воды, проведённые через турбины малой ГЭС со своей заряженной тепловой энергией, улучшают ледовый режим в нижнем бьефе на достаточно значительном расстоянии.

Заключение

В данной статье останавливаемся на оценке эффекта использования тепловой энергии водоёмов как искусственных, так и естественных при определении параметров малых ГЭС на стадии проектирования с последующим его влияния на режим производства электроэнергии при вводе станции в эксплуатацию. Суть исследования - в учёте процесса накопления солнечной энергии в водной среде с последующей ее транспортировкой до водоприёмных сооружений деривационного типа малой ГЭС и непосредственного его использования через турбины при плотинных станциях. Практически этот эффект уже широко и успешно используется при эксплуатации малых ГЭС Памир - 1 в электроэнергетической системе компании «Памир Энерджи» в течение почти 10 лет.

Рецензент: Ганиев З.С. – к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика» филиала ННУ «МЭИ» в г. Душанбе.

Литература

1. А.К. Киргизов. К вопросу о борьбе с ледообразованием в створе ГЭС в условиях Памира / А.К. Киргизов, У.У. Косимов, М.Б. Инояттов // В сборнике: Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск.2012. с 21-23.
2. Беховых Л. А. Основы гидрофизики / 5. Беховых Л. А., Макарычев С.В., Шорина И.В.: Барнаул Издательство АГАУ 2008.176 с.
3. Киргизов А.К. Оценка гидрологических режимов малых водотоков Памира при проектировании малых ГЭС / Киргизов А.К., Касобов Л.С., Расулов С. // Вестник Донецкого национального технического университета. 2014. № 1 (16). С. 75.
4. Готлиб Я.Л. Тепловой режим водохранилищ гидроэлектростанций / Я.Л. Готлиб, В.М. Жидких, Н.М. Сокольников. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 204 с.

5. Дебольский В.К. Образование и развитие ледовых явлений и процессов в водохранилищах и нижних бьефах / В.К. Дебольский, В. Матоушек, А. Патера. Прага: Международная гидрологическая программа, 1991. 114 с.

6. Пиотрович В.В. Расчеты толщины ледяного покрова на водохранилище по метеорологическим данным / В.В. Пиотрович. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 185 с.

7. Загиров Ф.Г. Ледовый режим высокогорных деривационных ГЭС: дис. канд. техн. наук / Ф.Г. Загиров. М.: МГМИ, 1966

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Қирғизов Алифбек Қирғизович дотсент | Киргизов Алифбек Киргизович доцент | Kirgizov Alifbek Kirgizovich Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: alifbekkirgizov@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Ниёзи (Чоршанбиев) Сироджиддин Раҷаббоки и.в. дотсент | Ниёзи (Чоршанбиев) Сироджиддин Раҷаббоки и.о.доцента | Niyozı (Chorshanbiev) Sirojiddin Rajabboki Acting Associate Professor |
| Вазорати маориф ва илмӣ Чумхурии Тоҷикистон | Министерство образования и науки Республики Таджикистан | Ministry of Education and Science of the Republic of Tajikistan |
| e-mail: niyozi@maorif.tj | | |
| TJ | RU | EN |
| Воҳидов Миробид Мирвоҳидович н.и.т. | Воҳидов Миробид Мирвоҳидович к.т.н. | Vokhidov Mirobid Mirvohidovich Acting Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: supergold84@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Арабов Фируз Дилшодович Докторанти PhD | Арабов Фируз Дилшодович Докторант PhD | Arabov Firuz Dilshodovich PhD student |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: alifbekkirgizov@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Андалеби Навруз унвончу | Андалеби Навруз соискатель | Andalebi Navruz applicant |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: rm-firdavs@mail.ru | | |

УДК 620.91(.92)+626.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Ш.Х. Пирова, Ф.М. Рахимов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Рассмотрены вопросы перспективы использования каналов ирригационных систем Республики Таджикистан, на которых потенциально возможно сооружение МГЭС, а также сведения о наиболее крупных каналах. Предполагается, что потребителями МГЭС, построенных на ирригационных системах, являются маломощные агропромышленные производители. В работе приводится математическая постановка решения задачи технико – экономического обоснования капиталовложения МГЭС. Рассмотрены наиболее известные производители оборудования МГЭС, и показана необходимость разработки турбины, адаптированной к использованию на каналах ирригационных систем. Работа рассмотрена применительно условиям Республики Таджикистан.

Ключевые слова: ирригационные каналы, малые гидроэлектростанции, ресурс, сооружение, поток, напор, малые и средние производители.

ДУРНАМОИ ИСТИФОДА БУРДАНИ КАНАЛҶОИ СИСТЕМАҶОИ ОБЁРӢ БА МАҚСАДҶОИ РУШДИ НБО ХУРД ДАР ҲУДУДИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Ш.Ҳ. Пирова, Ф.М. Раҳимов

Масъалаҳои дурнамои истифодаи каналҳои системаҳои ирригациони Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дар онҳо неругоҳҳои барқии обии (НБО) хурд сохтан мумкин аст, инчунин маълумот дар бораи каналҳои калонтарин оварда шудаанд. Таҳмин меравад, ки истеъмолкунандагони НБО-ҳои дар системаҳои ирригационӣ сохташуда истеҳсолкунандагони агросаноатии тавоноияшон кам мебошанд. Дар мақола формулаҳои математикӣ ҳалли масъалаи асосноккунии техникӣ-иктисодии маблағгузори НБО - ҳои хурд оварда шудааст. Истеҳсолкунандагони машхури таҷҳизоти НБО-ро ба назар гирифта, зарурати сохтани турбинаи барои истифода дар каналҳои системаҳои ирригационӣ мутобиқшуда нишон дода шудааст. Кор бо назардошти шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон омода гардидааст.

Калимаҳои калидӣ: каналҳои ирригационӣ, неругоҳҳои барқи обии хурд, захира, иншоот, чараён, фишор, истеҳсолкунандагони хурд ва миёна.

PROSPECTS FOR USING IRRIGATION SYSTEM CANALS FOR THE DEVELOPMENT OF SMALL HYDROELECTRIC POWER STATIONS IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Sh.Kh. Pirova, F.M. Rakhimov

The article considers the issues of the prospects for using irrigation canals of the Republic of Tajikistan on which it is potentially possible to build small hydroelectric power plants, as well as information about the largest canals. It is assumed that consumers of small hydroelectric power plants built on irrigation systems are low-power agro-industrial producers. The work provides a mathematical formulation of the solution to the problem of technical and economic justification of capital investment in small hydroelectric power plants. The most famous manufacturers of small hydroelectric power plant equipment are considered, and the need to develop a turbine adapted for use on irrigation canals is shown. The work is considered in relation to the conditions of the Republic of Tajikistan.

Keywords: irrigation canals, small hydroelectric power plants, resource, structure, flow, pressure, small and medium-sized producers.

Введение

Республика Таджикистан богата гидроэнергетическими ресурсами. Согласно данным в республике имеется более 500 крупных и маленьких рек с общим годовым потенциалом, который оценивается в объеме – 527 миллиардов киловатт часов [1,2]. Из-за быстрого роста населения и развития мелких и средних агропромышленных предприятий в республике в определенные периоды (особенно в зимний период) заметно ощущается нехватка электроэнергии. Помимо значительного потенциала рек в республике также развита система ирригационных каналов, которые могут быть рассмотрены как альтернативный источник для локального электроснабжения маломощных фермерских хозяйств и производственных предприятий.

Постановка задачи

В настоящее время в республике имеется более 350 ирригационных каналов общей протяженностью 6 тыс. км, среди них имеется более 100 каналов, на которых возможно строительство малых гидроэлектростанций. Далее приведем общий потенциал и список наиболее крупных ирригационных каналов, на которых могут быть построены малые гидроэлектростанции (МГЭС) (табл. 1) [3,4].

Таблица 1 - Список наиболее крупных объектов энергетики, которые могут быть построены на ирригационных сооружениях

| № п/п | Район | Наименование канала | Пикет | Вид существующего сооружения | Расход, м ³ /сек. | Напор, м. |
|-------|------------------|-------------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1 | Вахшский | Канал Джиликуль | 13+00 | Быстроток; | 36,0 | 7 |
| 2 | Дж. Балхи | Канал Джиликуль | 0+0 | Быстроток, бывш. ГЭС | 25,0 | 10 |
| 3 | Коммунистический | Канал Джуйбор | 10+40 | Быстроток, бывш. ГЭС | 46,0 | 5,2 |
| 4 | Хамадони | МК Дехканобод | 122+0 | Перепад | 43,9 | 3,5 |
| 5 | Хамадони | Канал Правая ветка | 51+0 | Перепад | 36 | 4 |
| 6 | А. Джамии | МК Правая ветка | 633+00 | Быстроток; | 4,3 | 31,6 |
| 7 | Дангара | Канал ВД 2 | 11+25 | Быстроток; | 18,0 | 6,2 |
| 8 | Исфара | Канал Чильгазы | 0+50 | Быстроток; | 11,0 | 10 |
| 9 | Хамадони | МК Дехканобод | 114,0 | Перепад | 43,9 | 2,5 |
| 10 | Вахшский | Канал Джиликуль Кафыр | 38,40 | Перепад | 36,0 | 3 |
| 11 | Джайхун | Пянджский сброс | | Быстроток; | 3,0 | 33 |
| 12 | Пенджикент | Канал Маргидар | 209+33 | Быстроток-перепад. | 3,0 | 30 |
| 13 | Лахш | Канал Гулома | 3+60 | Быстроток; | 4,5 | 20 |
| 14 | А. Джамии | М.К. Правая ветка | 601+97 | Быстроток | 4,3 | 17,8 |
| 15 | Пенджикент | Канал Ток-сан Кяриз | 97+07 | Быстроток - перепад | 5,5 | 12,65 |
| 16 | Истаравшан | Подпитывающий канал Шахристан | 57+25 | Быстроток | 1,5 | 24 |
| 17 | Яван | МК Левая ветка | 173+0 | Быстроток; 82,63 | 3,0 | 12 |
| 18 | Рудаки | Канал Верхний Кокташский | 137+0 | Перепад | 1 | 18 |

Из приведенных данных таблицы видно, что ирригационная система расположена в районах, где развита сельскохозяйственная и фермерская деятельность. В данных районах в период сбора урожая возникает потребность в дешёвой и доступной электроэнергии с целью снижения затрат на переработку сельскохозяйственной и фермерской продукции. Заказчиками для строительства малых гидроэлектростанций (МГЭС) в ирригационных системах могут стать маломощные сельскохозяйственные и производственные предприятия, расположенные вблизи этих объектов.

Стоимость оборудования МГЭС в Республике Таджикистан колеблется от 300 до 2800 долл./кВт. Основное оборудование импортное, и, согласно государственной программе, они освобождены от таможенной пошлины.

Использование микро- и малых ГЭС для локального (или распределенного) электроснабжения может конкурировать с переносными топливными генераторами или механизмами, которые используются во время переработки сырья. Микро- и малые ГЭС могут быть рентабельными за счет упрощения схемы управления и возможности работы в автоматическом режиме, не требующего обслуживающего персонала.

Математическая модель

Для определения установленной мощности и себестоимости 1 кВт.час электроэнергии воспользуемся данными, приведенными в таблице 1.

Мощность на валу гидротурбины с учетом её КПД определяется по формуле

$$N_{\text{МГЭС}} = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T, \text{ кВт.} \quad (1)$$

где Q – расход воды м³/сек., H – напор канала м., КПД турбины составляет $\eta_T = 0,8 - 0,9$

По данным [5] принимаем значение величины нормы амортизационных отчислений $\alpha_{\text{ам}} = 0,02$, вычислим амортизационные отчисления по формуле:

$$s_{\text{ам}} = \alpha_{\text{ам}} \cdot \bar{K}_{\text{МГЭС}}, \text{ долл./кВт.} \quad (2)$$

где $\bar{K}_{\text{МГЭС}} = 1500 - 2800$ долл./кВт удельное капиталовложение на 1 кВт установленной мощности МГЭС в зависимости от места строительства [5].

При известной величине количество часов использования установленной мощности h можно определить величину удельного амортизационного отчисления по формуле:

$$\bar{s}_{\text{МГЭС}} = \frac{S_{\text{ам}}}{N_{\text{МГЭС}} \cdot h}, \text{ долл./кВт.час.} \quad (3)$$

Число часов использования МГЭС, установленных на руслах реки, составляет $h = 4000-5000$ часов. Эксплуатация МГЭС, установленной в ирригационных системах, зависит от режима эксплуатации канала, поэтому мы в расчетах воспользуемся средними значениями $h = 4000$ часов.

Так как в структуре себестоимости энергии на МГЭС амортизационные отчисления составляют 80%, то полная себестоимость составит:

$$\bar{s}_{\text{МГЭС}} \approx 0,0093, \text{ долл./кВт.час.} \quad (4)$$

Средний удельный расход условного топлива по энергосистеме принимается:

$$b_3 = 0,3 \text{ кг/кВт.час}$$

тогда можно получить среднегодовую экономию топлива

$$\Delta B = b_3 \cdot N_{\text{МГЭС}} \cdot h \text{ кг/год (или т/год)} \quad (5)$$

Общая годовая прибыль при среднем тарифе на электроэнергию $T_3 = 0,028$ долл./кВт.час составит

$$\Pi_3 = \Delta s_T + (T_3 - \bar{s}_{\text{МГЭС}}) N_{\text{МГЭС}} \cdot h. \quad (6)$$

Топливная составляющая себестоимости равна

$$\Delta s_T = \Delta B \cdot C_T, \text{ долл./год} \quad (7)$$

где $C_T = 50$ долл./т цена условного топлива на момент (04.12.2024г)

Зная прибыль и объем капиталовложения на строительство МГЭС заданной мощности, можно определить срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K \cdot N_{\text{МГЭС}}}{\Pi_3}, \text{ год} \quad (8)$$

В республике имеется большой опыт эксплуатации МГЭС. В настоящее время общее количество эксплуатируемых МГЭС составляет 285 мощностью от 5 до 4300кВт. В официальных отчетах ОАО «Барки Точик» приводится список 16 из них, которые находятся на балансе компании и построены за счет государственных финансирования. На балансе компании «Памир Энерджи» также находятся 11 МГЭС общей мощности 44,16 МВт [6].

При ограниченном доступе к информации о технических параметрах действующих МГЭС на территории республики невозможно точно определить технико – экономические показатели установок, эксплуатируемых на ирригационных системах. Поэтому необходимо рассматривать варианты применения установок, адаптированных к низким напорам.

Среди известных установок МГЭС особого внимания заслуживают установки с кинетической, т.е. свободно поточные турбины. В настоящее время разработаны различные типы подобных турбин.

Таблица 2 - Технические характеристики микро-ГЭС

| | Луч -1 | Луч -4 | Луч -10 | Шар-Булак 1.0 | Шар-Булак 5.0 | Turgo | Hydro Генератор |
|-----------------------|--------|--------|---------|---------------|---------------|-----------|-----------------|
| Мощность, кВт | 1,0 | 4,0 | 10,0 | 1,0 | 5,0 | 3-5 | 5 |
| Род тока, число фаз | пер./1 | пер./3 | пер./3 | пер./1 | пер./1/3 | пер./1/3 | пер./1/3 |
| Напряжение, В | 220 | 380 | 380 | 220 | 220/380 | 220/380 | 220/380 |
| Частота, Гц | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Масса энергоблока, кг | 60 | 110 | 180 | - | - | - | - |
| Расходы воды, л/с | 40 | 80 | 145 | 7-9 | 20-30 | 0,97-1,93 | 1-8 |
| Рабочий напор, м | 5 | 8,5 | 10,0 | 3-4 | 8 | 20-80 | 5-30 |
| Диаметр водовода, мм | 150 | 210 | 270 | - | - | - | - |
| Цена, долл.* | 500 | 1600 | 3600 | 950 | 2200 | 900-1500 | до 2500 |
| Страна производитель | Россия | Россия | Россия | Киргизия | Киргизия | Китай | Китай |

*цены указаны без учета стоимости строительной части МГЭС

В зависимости от требуемой мощности и возможности максимального приближения нескольких установок с учетом напора и расхода можно подобрать различные варианты МГЭС для обеспечения требуемой электроэнергии.

Обсуждение результатов

Результаты расчетов по (1) – (8) показывают, что из приведенных объектов ирригационных систем по таблице 1 рентабельны, и срок окупаемости находится в пределах допустимых значений. В качестве примера приведем результаты расчетов нескольких объектов в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты расчета по определению технико-экономических параметров ирригационных систем

| № п/п | Район | Наименование канала | Расход, м ³ /сек. | Напор, м. | Установленная мощность, кВт | Сезонная выработка электроэнергии, млн. кВт.ч | Годовая экономия топлива, т/год | Общая годовая прибыль, долл./год |
|-------|------------|--------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|---|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Вахшский | Канал Джиликуль | 36 | 7 | 1977,7 | 7,911 | 2373,2 | 306542,9 |
| 2 | Дж. Балхи | Канал Джиликуль | 25 | 10 | 1962,0 | 7,848 | 2354,4 | 304110 |
| 3 | Хамадони | МК Дехканобод | 43,9 | 3,5 | 1205,8 | 4,823 | 1447,0 | 186906 |
| 4 | Дангара | Канал ВД 2 | 18 | 6,2 | 875,8 | 3,503 | 1051,0 | 135754,7 |
| 5 | Исфара | Канал Чильгазы | 11 | 10 | 863,3 | 3,453 | 1035,9 | 133808,4 |
| 6 | Пенджикент | Канал Маргидар | 3 | 30 | 706,3 | 2,825 | 847,6 | 109749,6 |
| 7 | Лахш | Канал Гулома | 4,5 | 20 | 706,3 | 2,825 | 847,6 | 109479,6 |
| 8 | Пенджикент | Канал Ток-сан Кяриз | 5,5 | 12,65 | 546,0 | 2,184 | 655,2 | 84633,8 |
| 9 | Яван | МК Левая ветка | 3 | 12 | 282,5 | 1,130 | 339,0 | 43791,8 |
| 10 | Рудаки | Канал Верхний Кокташский | 1 | 18 | 141,3 | 0,565 | 169,5 | 21895,9 |

Заключение

Согласно Национальной Стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года в области энергетики планируется диверсификация генерирующих мощностей, а также доведение до 10% от общей установленной мощности доля возобновляемых и альтернативных источников энергии в энергобаланс страны. Внедрение МГЭС в ирригационных системах способствует развитию малых и средних агропромышленных производителей. Для технико-экономического обоснования сооружения МГЭС в ирригационных системах необходимо разрабатывать МГЭС с турбиной, адаптированной к низким напорам.

Рецензент: Саидзода М.М. – д.т.н., директор Технического колледжа ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Абдуллаев Ф.С., Баканин Г.В., Горзон С.М. и др. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР.- Ленинград: Недра, 1965.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 3. Выпуск 31. Таджикская ССР.- Л.: изд-во Гидрометеоздат, 1968. – 301с.
3. Постановление Совета Министров РТ от 05.04.1993 года № 139 «О мерах по стимулированию развития малой энергетики и добычи угля в Республике Таджикистан».
4. Фазылов А.Р., Кобулиев З.В. Совершенствование управления технологическими процессами и техническими средствами водных объектов в горно-предгорной зоне Таджикистана //Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2014. – Т. 14. – №. 7. – С. 119-123.
5. Минин В. А., Коновалова О. Е., Иванова Е. А. Перспективы использования микро-ГЭС в удаленных районах Севера //Вестник Кольского научного центра РАН. – 2013. – №. 3 (14). – С. 62-68.
6. <https://www.mewr.tj/> Сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан (дата обращения 04.12.2024).

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Пирова Шамсия Хотамовна муаллими калон | Пирова Шамсия Хотамовна ст. преподаватель | Pirova Shamsia Khotamovna Senior Lecturer |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: samsiapirova@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Раҳимов Фирдавс Мирзоумарович н.и.т. муаллими калон | Рахимов Фирдавс Мирзоумарович к.т.н. ст. преподаватель | Rahimov Firdavs Mirzoumarovich Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: rm-firdavs@mail.ru | | |

УДК 620.92

ТАДҚИҚИ САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ НЕРҶОҶҶОИ ЭЛЕКТРИКИИ БОДӢ БАРОИ ЭЛЕКТРОТАЪМИНКУНИИ ИСТЕЪМОЛКУНАНДАГОНИ ДУРДАСТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Х.С. Саидзода, М.А. Балаев, Ф.О. Исмоилов, С.Г. Гулмуродзода, Б.С. Ҷамолзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола алгоритми интихоби таҷҳизоти нерӯгоҳи электрикии бодӣ (НЭБ) барои гурӯҳҳои хурди истеъмолкунандагон, ки дар ноҳияи баландкӯҳи Мурғоби Ҷумҳурии Тоҷикистон воқеъ гардидаанд, пешниҳод мегардад. Хусусиятҳои НЭБ дар асоси маълумотҳои аз стансияҳои обҳавосанҷӣ ва нишондодҳои воқеии техникаи таҷҳизоти электрикии дар НЭБ мавҷуд буда, асоснок карда шудаанд. Ҳисоби техникӣ-иқтисодии татбиқи НЭБ дар ноҳияи баландкӯҳи Мурғоб дар асоси болоравии тарофаи энергияи электрикӣ пешниҳод шудааст. Натиҷаи тадқиқот ин аз ҷиҳати иқтисодӣ самаранок будани истифодаи НЭБ, мӯҳлати ками баргардонидани арзиш ва даромади софи тахфифшуда мебошад. Усули ҳисобкунии пешниҳодшуда метавонад барои категорияҳои гуногуни истеъмолкунандагон, ки истифодаи НЭБ-ро барои таъмини энергияи электрикӣ ба нақша гирифтаанд, муфид бошад.

Калимаҳои калидӣ: манбаъҳои барқароршавандаи энергия, нерӯгоҳи электрикии бодӣ, ҳисобҳои техникӣ-иқтисодӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Х.С. Саидзода, М.А. Балаев, Ф.О. Исмоилов, С.Г. Гулмуродзода, Б.С. Ҷамолзода

В статье представлен алгоритм выбора оборудования для ветроэлектрических станций (ВЭС) на примере малых групп потребителей, расположенных в высокогорном Мургабском районе Республики Таджикистан. Обоснованы характеристики ветроэнергетической установки с использованием баз данных метеонаблюдений, а также реальных технических параметров электрооборудования входящих в состав ВЭС. Приведен технико-экономический расчет внедрения ВЭС в районе Мургаб на основе растущих тарифов на электрической энергии. Основным результатом является оценка экономической эффективности использования ВЭС с учётом дисконтированного срока окупаемости и чистого дисконтированного дохода. Предложенный метод расчёта может быть полезен для различных категорий потребителей, которые планируют применять рассмотренную ВЭС для обеспечения электроснабжения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветроэлектростанция, технико-экономические расчеты.

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF WIND POWER PLANTS FOR POWER SUPPLY TO REMOTE CONSUMERS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

H.S. Saidzoda, M.A. Balaev, F.O. Ismoilov, S.G. Gulmurodzoda, B.S. Jamolzoda

The article presents an algorithm for selecting equipment for wind power plants (WPP). Using the example of small groups of consumers located in the high-mountainous Murgab region of the Republic of Tajikistan. The characteristics of a wind power plant are substantiated using weather observation databases, as well as real technical parameters of the electrical equipment included in the wind turbine. A technical and economic calculation of the implementation of wind turbines in the Murgab region is presented based on rising electricity tariffs. The main result is an assessment of the economic efficiency of using wind turbines, taking into account the discounted payback period and net present value. The proposed calculation method can be useful for various categories of consumers who plan to use the considered wind turbine to provide power supply.

Keywords: renewable energy sources, wind farm, technical and economic calculations.

Муқаддима

Ба хусусиятҳои асосии марҳилаи ҳозираи рушди энергетикаи ҷаҳонӣ паст намудани арзиши энергия ва ба таври интенсиви ҷорӣ намудани технологияҳои энергияи сабз, дар мадди аввал – манбаҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ) мансуб мебошанд [1, 2]. Тарақиёти МБЭ на фақат самаранок экологӣ меорад, инчунин иқтисодиро низ дар бар мегирад. Баҳозурии миқдори онҳо ҳангоми таҳияи механизмҳои дастгирии давлатии он, дар мавриди гузаронидани ҳисобҳои техникӣ-иқтисодӣ дар асоси лоиҳаҳо ва барномаҳо дар соҳаи манбаъҳои барқароршаванда ва захираҳои энергетикӣ [3, 4] лозим аст. Чунин тадбирҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон (ҶТ) мутобиқи барнома [5] амалӣ карда мешаванд.

Қайд намудан ба маврид аст, ки ҳамасола дар фасли зимистон дар ҶТ норасоии энергияи электрикӣ мушоҳида мешавад. Аз як тараф, норасоии оби ба обанбори НБО-и Норак воридгардида, барои ҳосил намудани миқдори зарурии энергияи электрикӣ дар силсилаи нерӯгоҳҳои электрикии дарёи Вахш нокифоя бошад, аз тарафи дигар, мавҷуд набудани дигар манбаҳои энергия барои истеҳсол намудани миқдори зарурии энергияи электрикӣ мебошад.

Дар айни замон масъалаи мубрам дар ҶТ ин таъмини минтақаҳои алоҳидаи кишвар бо энергияи электрикӣ аст. Ба ин минтақаҳо асосан ноҳияҳои шимолӣ ва аксарияти ноҳияҳои шарқии кишвар дохил мешаванд. Ба системаи ягонаи энергетикӣ пайваست намудани ин гуна минтақаҳо на ҳамавақт бо назардошти сифат ва эътимоднокии таъминоти барқ мувофиқи мақсад буда метавонад. Дар байни онҳо ноҳияи дурдасти баландкӯҳи Мурғоби Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон (ВМКБ)-ро махсус қайд намудан лозим аст [6].

Бинобар ин, ҳадафи ин тадқиқот иҷроиши таҳлили иқтисодии зарурати татбиқи лоиҳаи нерӯгоҳи электрикии бодӣ мебошад. Нерӯгоҳҳои электрикии бодӣ барои таъмини истеъмолкунандагони ноҳияи баландкӯҳи Мурғоб дар шароити камчини энергияи электрикӣ муфид мебошанд.

Дар ин маврид вазифаҳои зирин тадқиқ карда мешаванд:

- таҳлили захираи бодии маҳали ҷойгиршавии истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ (суръати миёнаи бод);
- баҳогузори тавсифҳои истеъмолкунандагон - тавоноии максималии P_{max} , сатҳи ҳадди ақали сарборӣ P_{min} , миқдори истеъмоли энергия дар давраи зарурӣ;
- тартиб додани нақшаи функционалии НЭБ;
- интихоби навъ ва ҷузъҳои асосии НЭБ (генератор, инвертер, аккумуляторҳо (БА), аппарати пайвасту ҷудокунӣ, ҷимоявӣ ва ғайра);
- гузаронидани таҳлили техникӣ-иқтисодии муқоисавии имконияти татбиқи лоиҳаи амалисозии НЭБ.

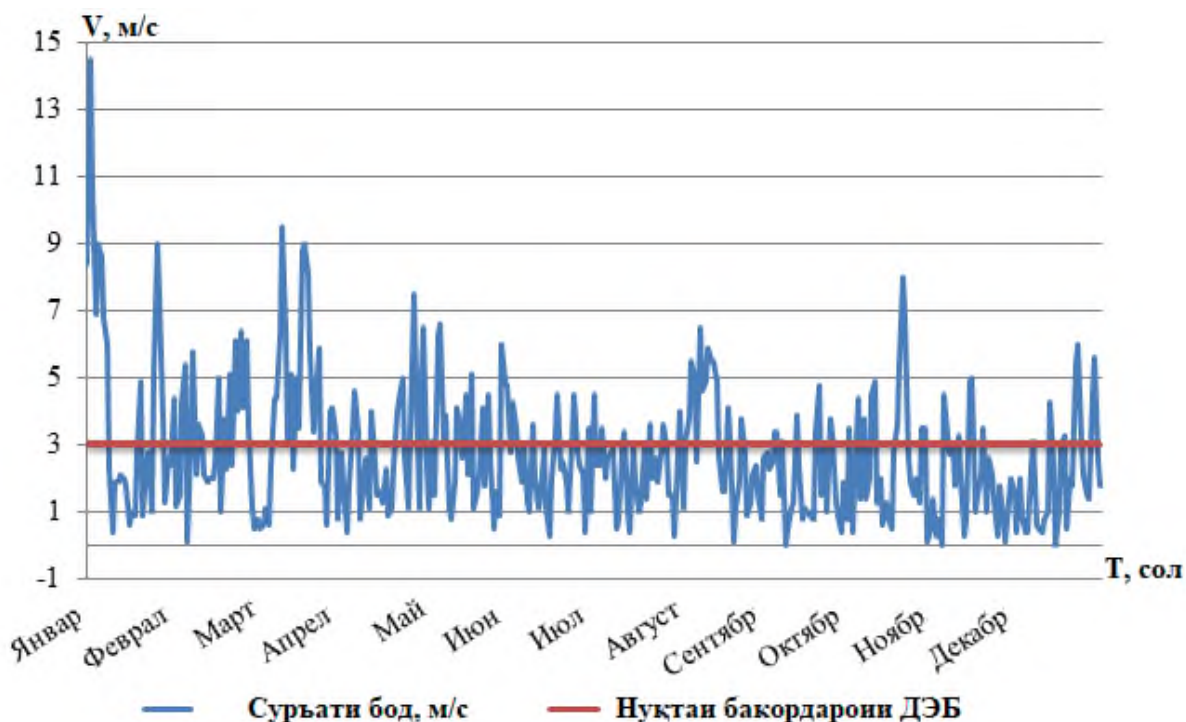
Таҳлили захираи бодии маҳали ҷойгиршавии истеъмолкунандагони энергияи электрикӣ

Тавсифҳои асосии иқтидорҳои бодии ҳар як минтақа – суръати миёнаи бод дар (моҳ, сол) ва пайдарпайии ба вучуд омадани суръати бод мебошанд. Суръати миёнаи бод дар асоси маълумотҳои мушоҳидавӣ стансияҳои обуҳавошиносии ҶТ, ки аз базаҳои махсус гирифта мешаванд, ҳисоб карда мешавад [7]. Барои арзёбии тавсифҳои маълумот аз вебсайти обуҳавошиносии Русия [7] барои стансияи обуҳавошиносии “Мурғоб, ВМКБ ҶТ” дар давраи 01.01.2023 – 31.12.2023 истифода шудааст.

Диаграммаи суръати миёнаи шабонарӯзии бод дар расми 1 оварда шудааст, ки мувофиқи он суръати миёнаи солонаи бод 5,2 м/с – ро ташкил медиҳад.

Таҳлили хусусиятҳои истеъмолкунандагони баландкӯҳи Мурғоб

Нуқтаи аҳолинишини маркази ноҳияи Мурғоб аз дастгоҳи тақсимоти кушодаи – 10 кВ НБО-и хурди “Тоҷикистон”, ки ба ширкати “Помир Энерҷи” мансуб аст, бо энергияи электрикӣ таъмин карда мешавад. Дар инҷо тақрибан 1212 оила, ки ҳар як оила аз 1 то 10 нафар иборат аст, зиндагӣ мекунанд. Натиҷаҳои таҳлилҳои омори тибқи маълумотҳои аз ҷониби мутахассисони ширкати “Помир Энерҷи” овардашуда гирифта шудаанд. Истеъмоли энергияи электрикӣ барои як оила бо назардошти номгуӣ таҷҳизоти электрикии истифодашаванда (дар фасли тобистон аз 0,1 то 4,8 кВт·с) ва дар фасли зимистон то 15,8 кВт·с) мебошад. Маълумот дар бораи истеъмоли камтарин ва зиёдтарини энергияи электрикӣ аз ҷониби оилаҳои нуқтаи аҳолинишин дар ҷадвали 1 нишон дода шудааст.



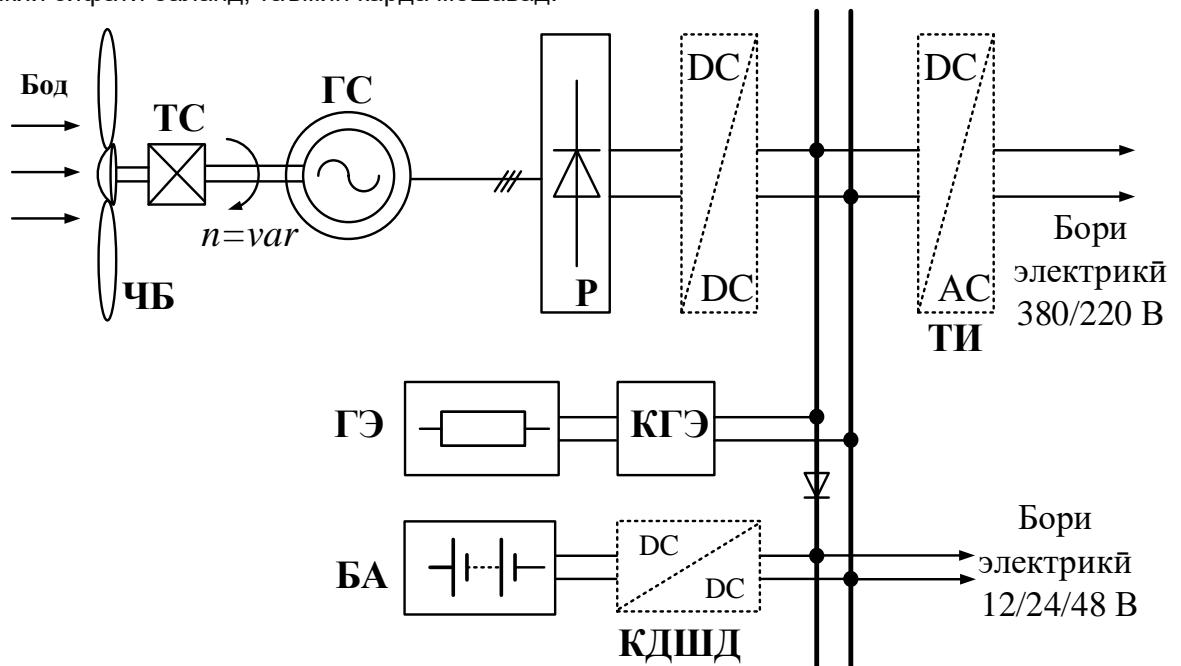
Расми 1 - Диаграммаи суръати миёнаи шабонарӯзии бод аз 01.01.2023 то 31.12.2023, м/с.

Ҷадвали 1–Тавсифҳои истеъмолкунандагони ноҳияи Мурғоб дар мисоли оилаи шуморааш аз 1 то 10 нафар

| Шумора | Фасли сол | Иқтидор, кВт | | Истеъмоли энергия, кВт·с | | | |
|-----------------|------------------|--------------|-----------|--------------------------|--------|---------|--------|
| | | P_{min} | P_{max} | шабонарӯзӣ | моҳона | мавсимӣ | солона |
| Аз 3 то 10 одам | Тираноҳ-зимистон | 0,6 | 3,0 | 15,8 | 475 | 2851 | 3715 |
| | Баҳор-тобистон- | 0,2 | 2,5 | 4,8 | 144 | 864 | |

Интиҳоби нақшаи функционалии НЭБ

Варианти маъмултарин ва оптималии нақшаи НЭБ - ин пайвасти кардани НЭБ тавассути тахтасими ёрирасони ҷараёни доимӣ мебошад (расми 2). Афзалиятҳои асосии ин вариант мавҷудияти тахтасими ҷараёни доимӣ мебошад. Як қисми истеъмолкунандагони ҷараёни доимӣ ба тахтасими ҷараёни доимӣ пайвасти карда шаванд ва ин имкон медиҳад, ки талафоти табдили энергияи электрикӣ кам карда шаванд. Илова бар ин, энергияи электрикӣ аз инвертори умумии мустақил бо энергияи электрикӣ сифати баланд, таъмин карда мешавад.



Расми 2 - Нақшаи функционалии НЭБ (OFF-GRID): ЧБ – ҷархаи бодӣ; ГС – генератори синхронӣ бо магнитҳои доимӣ; ТС – танзимкунандаи суръати гардиши ротори ГС; P – росткунандаи ҷараёни (шиддати) доимӣ; DC/DC – табдилдиҳандаи ҷараёни доимӣ; ГЭ – гармкунаки электрикӣ; КГЭ – контроллери (назораткунанда) ГЭ; КДШД – контроллери дутарафаи шиддати доимӣ; БА – батареяҳои аккумуляторӣ; ТИ – табдилдиҳандаи инверторӣ.

Интиҳоби модели дастгоҳи энергетикӣ бодӣ

Намуди дастгоҳи энергетикӣ бодӣ (ДЭБ) дар асоси маълумот дар бораи миқдори солонаи нерӯи барқӣ истеъмолшуда, аз ҷумла дар асоси шартҳои зерин интиҳоб карда мешавад:

$$W_{ДЭБ} \geq W_{истеъ.}, \quad (1)$$

дар ин ҷо $W_{ДЭБ}$ – истеҳсоли солонаи энергияи электрикӣ дар ДЭБ, кВт·с; $W_{истеъ.}$ – истеъмоли энергияи электрикӣ хонаи истиқоматӣ дар як сол кВт·с.

Бо формулаи зерин истеҳсоли солонаи энергияи электрикӣ муайян намудан мумкин аст:

$$W_{ДЭБ} = \sum_{i=1}^n P_{ДЭБ}(V_h)_i \cdot \Delta t_i, \quad (2)$$

дар ин ҷо, ки $P_{ДЭБ}$ – тавоноии муқаррарии ДЭБ барои суръати мутобиқи бод V_h дар баландии h , кВт; Δt – фосилаи вақти байни ҳар як мушоҳида (мувофиқи маълумоти обу ҳавосанҷҳо $\Delta t = 3$ соат).

Баландии манораи ДЭБ вобаста аз намудаш гуногун мешавад, бинобар ин зарурати аз нав ҳисоб кардани суръати бод аз рӯи вобастагӣ зерин ба миён меояд:

$$V_h = V_{\text{бод}} \cdot \left(\frac{H_m}{h_o} \right)^m, \quad (3)$$

дар ин чо V_h – суръати бод дар баланди h , м/с; $V_{\text{бод}}$ – суръати бод дар баландии 10-12 метр, м/с; H_m – баландии манораи ДЭБ, м; h_o – баландии ҷойгиршавии анемометр (асбоби ченкунии бод, 10 м); m – зароби дараҷагӣ, ки қиматаш барои шароити ҳавои Мурғоб доимӣ буда, ба 0,143 баробар аст.

Тавоноии генератори ДЭБ $P_{\text{ДЭБ}}$ (кВт) бо тавассути ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$P_{\text{ДЭБ}} = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,45 \cdot V_{\text{бод}}^3 \cdot \rho \cdot \eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{таб}} / 1000, \quad (4)$$

дар ин чо ξ – зароби истифодаи энергияи бод ($\xi_{\text{max}} = 0,4 \div 0,5$), в.н.; R – радиуси ротор, м; $V_{\text{бод}}$ – суръати сели ҳавой, м/с; ρ – зичии ҳаво (дар мавриди шартҳои стандартӣ $\rho = 1,225$), кг/м³ қабул карда мешавад; $\eta_{\text{ген}}$ – зароби кори ғойданоки генератор (ЗКФ) (қабул мекунем $\eta_{\text{ген}} = 0,8$), о.е.; $\eta_{\text{таб}}$ – ЗКФ системаи табдилдиҳандаи ДЭБ (қабул мекунем $\eta_{\text{таб}} = 0,9$), в.н.

Интихоби ДЭБ дар асоси силсилаи модели истеҳсолкунандаи Zonhan Windpower (Чин) гузаронида мешавад. Ҳамин тавр, интихоб мекунем ДЭБ модели ZH3KW (расми 3), ки параметрҳои он инҳоянд [8]:

Тавоноии номиналии $P_{\text{НОМ}}$ - 3 кВт

Суръати ҳадди ақали бод V_{min} - 3 м/с

Суръати номиналии бод $V_{\text{НОМ}}$ - 11 м/с

Суръати максималии бод V_{max} - 25 м/с

Диаметри чархи бодӣ, D - 4 м

Намудии генератор - синхронӣ бо магнитҳои доимӣ

Шиддат дар баромади НЭБ - 48 В (доимӣ)

Вазни НЭБ бе назардошти манора - 105 кг



Расми 3 – ДЭБ модели Zonhan Windpower ZH3KW

Мувофиқи формулаи (2) миқдори солонаи энергияи электрикии истеҳсолкунандаи ДЭБ модели Zonhan Windpower ZH3KW муайян мекунем. Истеҳсоли солонаи энергияи электрикӣ дар ДЭБ 4562 кВт·соатро ташкил медиҳад. Ин аз истеъмоли солонаи энергияи электрикии истеъмолкунандагон (ҷадвали 1) наздики ду баробар камтар аст. Аз ин лиҳоз барои пурра таъмин намудани ин гурӯҳи истеъмолкунандагон насб кардани ду ДЭБ бо тавоноии 3 кВт мақсаднок мебошад. Дар ин ҳолат истеҳсоли солонаи энергияи электрикӣ 9124 кВт·соатро ташкил медиҳад, ки аз миқдори зарурии истеъмоли энергияи электрикӣ 0,8% зиёдтар мебошад.

Интихоби таҷҳизоти ёрирасони НЭБ

Тибқи нақшаи дар расми 2 овардашуда барои насб кардан ба НЭБ-и автономӣ, мо бояд захираи манбаъи энергияи электрикӣ, яъне батареяҳои аккумуляторӣ (БА) ва инверторро интихоб намоем.

Интихоби параметрҳои техниकी БА аз рӯи шартҳои зерин ба роҳ монда мешавад:

$$W_{\text{БА}} \geq W_{\text{талаб}}, \quad (5)$$

дар ин ҷо $W_{\text{БА}}$ – истеҳсоли энергияи электрикӣ дар НЭБ, ҳангоми кор накардани НЭБ дар реҷаи заряднокшавии БА дар ҳолати 100% дараҷаи заряднокшавӣ то ҳадди камтаринии иҷозавӣ (дар ин ҷо мо 20% -ро қабул мекунем), кВт/соат; $W_{\text{талаб}}$ – истеъмоли энергияи электрикии талабшавандаи иншооти барқтаъминшаванда дар ҳолате, ки НЭБ хомӯш мебошад, кВт/соат.

Микдори энергияи электрикии батареяи аккумуляторӣ тавассути бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$W_{\text{БА}} = (Q_{\text{БА}} \times k_{\text{зп}}) \times U_{\text{БА}} \times \eta_{\text{инв}} \times 10^{-3}, \text{ кВт}\cdot\text{с} \quad (6)$$

дар ин ҷо $Q_{\text{БА}}$ – ғунҷоиши номиналии БА, А·с; $k_{\text{зп}}$ – коэффитсиенти заряднокшавии пурраи БА (дар ин кор $k_{\text{зп}}=0,8$ қабул менамоем, ки сатҳи ҳаддии заряднокшавии БА то 20 % муайян менамояд; $U_{\text{БА}}$ – шиддати номналии БА; $\eta_{\text{инв}}$ – ККФ инвертор ($\eta_{\text{инв}}=0,9$ қабул шудааст).

Истеъмоли барқи зарурии объекти таъминоти барқ (хонаи истиқоматӣ) дар вақтҳое, ки ДЭБ нерӯи барқ истеҳсол намекунад, аз рӯи маълумот дар бораи тақсимои суръати шамол муайян карда мешавад (расми 1) ва истеъмоли шабонарӯзии энергияи электрикӣ (ҷадвали 1):

$$W_{\text{талаб}} = W_{\text{шаб}} (2 \cdot \Delta t), \text{ кВт}\cdot\text{с}, \quad (7)$$

дар ин ҷо $W_{\text{шаб}}$ – истеъмоли шабонарӯзии энергияи электрикии иншооти бо барқ ӣ таъминшаванда (тибқи ҷадвали 1 барои истеъмолкунандагони гурӯҳи 1 аз 1 то 10 нафар истеъмоли шабонарӯзии энергияи электрикӣ дар фаслҳои тирамоҳу зимистон 15,84 кВт/соат мебошад); Δt – эҳтимолияти такроршавии суръати шамол, ки дар он НЭБ энергияи электрикӣ истеҳсол намекунад (барои нумуди гузошташавандаи НЭБ, суръати шамол дар ҳудуди $V < 3$ м/с, $V > 25$ м/с ва эҳтимолияти такроршавии онҳо мувофиқи расми 1 ба 0,39 баробар аст.

Ҳамин тариқ, бо назардошти (5) – (7), меъёри интиҳоби БА чунин навишта мешавад:

$$Q_{\text{БА}} \geq \frac{W_{\text{шаб}} (2 \cdot \Delta t)}{k_{\text{зп}} \cdot U_{\text{БА}} \cdot \eta_{\text{инв}} \cdot 10^{-3}}, \text{ А}\cdot\text{с} \quad (8)$$

Агар дар АКБ шиддат 48 В бошад, пас тибқи формулаи (8) тавоноии камтарини БА 586 А·соатро ташкил медиҳад. Батареяи аккумуляториро дар асоси силсилаи намуди истеҳсолкунандаи HAZE Battery Company Ltd (Чин) ба интиҳоб менамоем. МО БА-и қурғошими-кислотаи HZY-12-200-ро (бо параметрҳои номиналӣ: 12 В, 200 А·с) бо электролит, силикагели ғафсшуда (GEL) барои истифодабари қабул менамоем [9]. Барои ҳосил намудани параметрҳои зарурӣ, БА-и интиҳобшударо ба 4 блокҳои пайдарпай пайваस्तшуда (барои он ки шиддати номиналии БА, ки ба 48 В баробар шавад) ва блокҳои интиҳобшударо параллелӣ пайваस्त менамоем (барои ҳосил намудани тавоноии номиналии БА, ки ба 600 А·соат баробар аст). Ҳамин хел, барои насб дар НЭБ 12 АКБ (12 В, 200 А·соат)-ро интиҳоб менамоем.

Инвертор дар асоси шартҳои зерин интиҳоб карда мешавад:

$$P_{\text{инв}} \geq P_{\text{мах}}, \quad (9)$$

дар ин ҷо $P_{\text{инв}}$ – тавоноии баромади инвертор, кВт; $P_{\text{мах}}$ – тавоноии максималии истеъмолшавандагони ба инвертор пайваस्तшуда (тибқи ҷадвали 1 барои гурӯҳи истеъмолкунандагон 3 кВт-ро ташкил медиҳад).

Инверторро дар асоси силсилаи усулҳои истеҳсолкунандаи “МикроАРТ” (Русия) ба роҳ монда, инвертори гибридии модели MAP-HYBRID тавониаи 3 кВт -ро интиҳоб мекунем [10].

Арзёбии самаранокии техникӣ ва иқтисодии истифодаи НЭБ

Дар ҳоли ҳозир, нишондиҳандаи асосие, ки барои муайян намудани самаранокии сармоягузориҳо дар энергетика истифода мешавад, даромади софи таҳфифшуда (ДСТ) мебошад. Он зиёдшавии даромади умумии пулиро нисбат ба хароҷоти умумии пулии лоиҳа бо назардошти нобаробарии таъсироти марбут ба лаҳзаҳои гуногуни вақт тавсиф мекунанд [11] ва тибқи формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$DCT = \sum_{t=0}^T (PP_t - I_t - K_t)(1 + E_n)^{-t}, \text{ Ҳаз. сомони} \quad (10)$$

дар ин ҷо T - доираи амали ҳисоб; i -рақами силсилавии қадами ҳисоб; PP_t - даромад аз фурӯши маҳсулот дар t сол, ҳазор сомони; I_t - хароҷоти умумӣ t -м сол (бе назардошти хароҷотҳои амортизатсия), ҳаз. сомони; K_t - хароҷотҳои асоси дар t -сол, ҳаз. сомони; E_n - меъёри тахфиф (дар ин ҷо 10 % қабул карда мешавад).

Нишондиҳандаи дигаре, ки имкон медиҳад, ки самаранокии сармоягузорӣ муайян карда шавад, мӯҳлати баргардонидани тахфифот (МБТ) мебошад. Он вақтеро тавсиф мекунад, ки барои сармоягузорӣ даромади кофиро барои ҷуброни хароҷоти сармоягузорӣ бо назардошти арзиши муваққатии пул таъмин намояд ва тибқи ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$MBT = n, \text{ сол;} \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^n (PP_t - I_t - K_t)(1 + E_n)^{-t} \geq K_0, \text{ Ҳаз. сомони} \quad (12)$$

дар ин ҷо n - шумораи ҳадди ақали даврахоест, ки барои зиёд кардани гардиши умумии тахфифшудаи пули нақд аз арзиши сармоягузори ибтидоӣ дар соли «сифр» лозим аст .

Ба сифати даромади солона аз фуруши маҳсулот сарфаи солонаи маблағ қабул карда мешавад, ки сабаби гузариш аз таъминоти барқ аз шабакаҳои марказонидашуда ба таъмини барқ аз НЭБ мебошад. Онро мувофиқи ифодаи зерин ёфтан мумкин аст:

$$PP_t = \mathcal{E}_t = W_{\text{истеъмол}} C, \text{ Ҳаз. сомони} \quad (13)$$

дар ин ҷо \mathcal{E}_t - сарфи маблағ дар t -солу, ҳаз. сомони; $W_{\text{истеъмол}}$ - истеъмоли солонаи энергияи электрикии иншооти бо энергия таъминшаванда, ҳаз. кВт·с; C - тарифи энергияи электрикӣ, сомони /кВт·с.

Хароҷоти умумӣ дар мавриди баҳрабардории НЭБ, ки аз хароҷотҳо барои хизматрасонии ҷорӣ, таъмир ва ғайра иборат аст. Формула барои муайян кардани хароҷотҳо ин хел аст:

$$I_t = \gamma \cdot K_{\text{ДЭБ}}, \text{ Ҳаз. сомони} \quad (14)$$

дар ин ҷо γ - меъёри хароҷотҳои баҳрабардорӣ (дар ин кор $\gamma = 0,05$ қабул карда шудааст); $K_{\text{НЭБ}}$ - арзиши НЭБ, ҳаз. сомони.

Хароҷоти асосии НЭБ аз арзиши он, хароҷоти вобаста ба интиқол, насбу васл ва ғайра иборат аст (дар ин кор мо қабул мекунем, ки хароҷоти иловагӣ 30% арзиши НЭБ-ро ташкил медиҳад). Формула барои муайян кардани онҳо шакли зеринро мегирад:

$$K_t = K_{\text{НЭБ}} + K_{\text{илов}} = 1,3 \cdot K_{\text{НЭБ}}, \text{ Ҳаз. сомони} \quad (15)$$

дар ин ҷо $K_{\text{илов}}$ - хароҷотҳои асосии иловагӣ, ҳаз. сомони.

Мо таҳлили самарани иқтисодии истифодаи НЭБ-ро дар асоси ДЭБ дар ноҳияи Мурғоб дида мебароем. Ҳангоми ҳисобҳо маълумоти ибтидоии зерин ворид карда мешаванд:

- маълумот дар бораи арзиши НЭБ ва дастгоҳҳои алоҳидаи он аз шабакаҳои расмӣ, яъне феҳрастҳои ширкатҳои истеҳсолкунанда ва фурӯшандаҳо бо рубли русӣ гирифта шудаанд;

- қурби асъор тибқи маълумоти бонки миллии Ҷумҳурии Тоҷикистон 13.04.2024 РТ: 1 ₴ = 0,120 сомони гирифта шудааст;

- дар асоси қарори Ҳукумати ҚТ аз 29 ноябри 2022 с. таҳти № 546, тарофаи энергияи электрикӣ барои аҳоли бо назардошти ААИ 0,3075 сомони /кВт·с. муқаррар гардидааст.

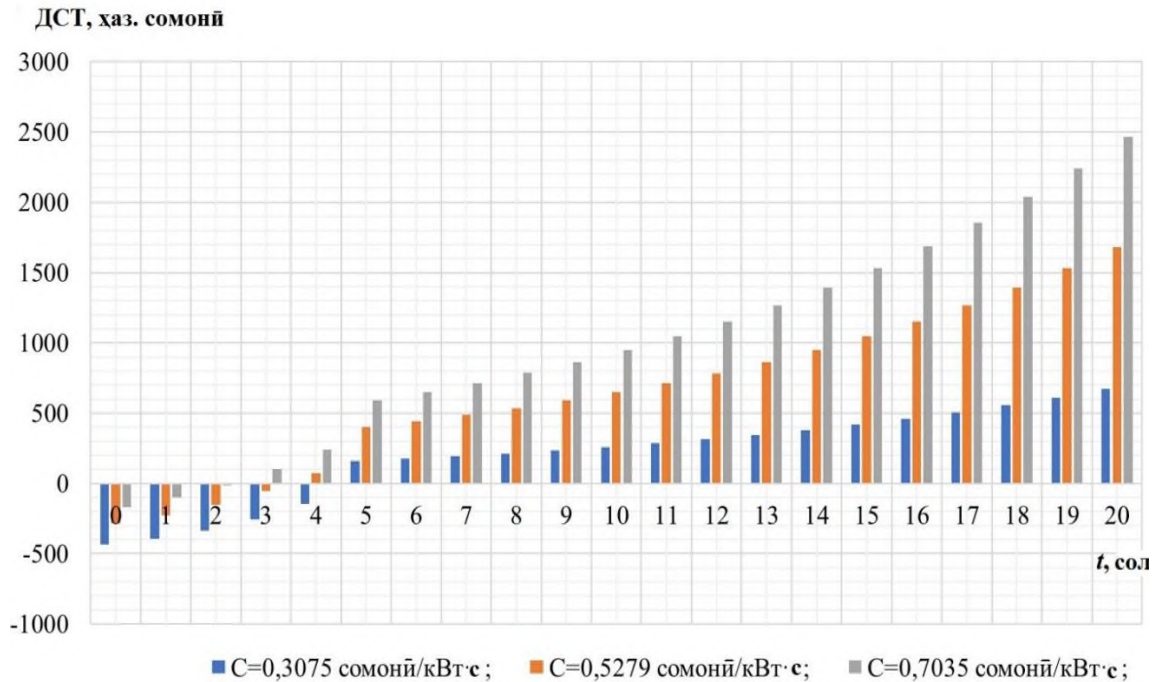
Дар ҷадвали 2 маълумот дар бораи арзиши маҷмӯи таҷҳизот ва хароҷоти марбут ба истифода додани ДЭБ Nordtank-150, инчунин баъзе хусусиятҳои техникий он оварда шудааст.

Ҷадвали 2– Маълумот дар бораи арзиши маҷмӯи таҷҳизоти автономии КЭТ [8, 9, 10]

| Қисми таркибии КЭТ автономӣ | Арзиш барои як дона, ҳаз. сомонӣ | Миқдор, дона | Арзиш, ҳаз. сомонӣ |
|---|----------------------------------|--------------|--------------------|
| ДЭБ Nordtank-150 | 2702,47 | 2 | 5404,94 |
| Контроллер ENERGYWIND 10 кВт | 20,0 | 30 | 600,0 |
| БА кислотаги сурбии Б Ritar Power RA-12–200 (12 В, 200 А·ч) | 15,4 | 24 | 369,6 |
| Инвертор МАП-Hybrid 20 кВт | 303,7 | 14 | 4251,8 |
| Манора (41 м) | 119,4 | 2 | 238,8 |
| Арзиши КЭТ автономӣ | | | 10865,14 |
| Харочотҳои асосии КЭТ автономӣ | | | 14124,68 |

Дар расми 4 диаграммаи даромади софи тахфифшуда дар давоми тамоми мӯҳлати хизмати ДЭБ барои арзишҳои гуногуни тарифи нерӯи барқ тибқи нархномаи нави ҶСК "Шабакаҳои тақсироти барқ" оварда шудааст.

Дар ҷадвали 3 қиматҳои арзишҳои нишондиҳандаҳои баҳодихии самаранокии истифодаи ДЭБ, ки бо формулаҳои (10) - (15) барои қиматҳои гуногуни тарифи энергияи электрикӣ ҳисоб карда шудаанд (ба шарте ки тариф дар тамоми давраи ҳисоб бетағйир боқӣ монад), оварда шудааст.



Расми 4 - Даромади софи тахфифшуда (ДСТ) дар давраи хизматрасонии НЭБ барои қиматҳои гуногуни тарофаи энергияи электрикӣ

Ҷадвали 3 – Нишондиҳандаҳои арзиши баҳодихии самаранокии истифодаи НЭБ дар асоси ДЭБ

| Тарофа, сомонӣ /кВт·с | ДСТ, ҳаз. сомонӣ | АТТ, сол |
|-----------------------|------------------|----------|
| 0,3075 | 4209,17 | 18,04 |
| 0,5279 | 13834,03 | 7,39 |
| 0,7035 | 21303,21 | 5,03 |

Мувофиқи расми 4 ва ҷадвали 3 қайд кардан мумкин аст, ки бо баланд шудани тарифи энергияи электрикӣ фоида тезтар ба даст омада, арзиши ДСТ меафзояд ва АТТ кам мешавад.

Дар рафти ҳисоби техникӣ-иктисодӣ аз сабаби набудани меъёри миёнаи тарофа истеъмолкунандагони ноҳияи баландкӯҳи Мурғоб ба гурӯҳҳои иборат аз аҳоли, муассисаҳои таълимӣ, истифодабарандагони саноатӣ ва ғайрисаноатӣ тасниф карда шуданд. Бо арзиши тарофа барои

гурӯҳи якум (0,3075 сомонӣ/кВт·соат) он аз ҷиҳати иқтисодӣ бесамар аст (ДСТ=4209,17 ҳазор сомонӣ, АТТ=18,04 сол), аммо аз нуқтаи назари иҷтимоӣ аз сабаби маҳдудият ва хомӯш кардани энергияи электрикӣ хеле муҳим аст. Барои гурӯҳи дуюм (0,5279 сомонӣ кВт·соат), он аз ҷиҳати иқтисодӣ имконпазир аст (ДСТ=13834,03 ҳазор сомонӣ, АТТ=7,39 сол). Инчунин барои гурӯҳи сеюм (0,7035 сомонӣ /кВт·соат) аз ҷиҳати иқтисодӣ имконпазир ва самаранок аст (ДСТ=21303,21 ҳазор сомонӣ, АТТ=5,03 сол).

Хулоса

Дар натиҷаи корҳои анҷомдодашуда алгоритми интихоби таҷҳизоти НЭБ автономии тавононаш хурд дар асоси насби ДЭБ таҳия карда шуд. Дар мисоли гурӯҳи истеъмолкунандагон бо шумораи 3-10 нафар, ки дар ноҳияи баландкӯҳи Мурғоби ВМКБ ҶТ ҷойгиранд, имконияти истифодабарии он гузаронида шуд. Меъёрҳои овардашудаи алгоритм имкон медиҳанд, ки қарорҳои қабулшуда оид ба интихоби таҷҳизоти асосии электротехникии НЭБ-и автономӣ (ДЭБ, БА, инвертор) асоснок карда шаванд. Инчунин арзёбии самаранокии сармоягузорӣ ба НЭБ-и автономӣ дар асоси ҳисоб кардани ДСТ ва муайян кардани МБТ гузаронида шуд. Дар натиҷаи он хулоса бароварда шуд, ки қарорҳои пешниҳодшуда аз ҷиҳати иқтисодӣ мувофиқ мебошанд. Алгоритм метавонад барои категорияҳои гуногуни истеъмолкунандагон, ки мақсади гузоштани НЭБ-ҳои дар кори мазкур интихоб гардида барои таъмини барқ истифода баранд, муфид бошад.

Муқаррир: Насруллоев Ф.Х. – PhD, ҳодими қалони илмӣ лабораторияи “Энергетика, захира ва сарфанамоии энергия” –и ИМО, ГЭ ва Э-и АМИНП

Адабиёт

1. Х.С. Саидзода, Ф. О. Исмоилов, С. Г. Гулмуродзода и др. Перспективность использования возобновляемых источников энергии в автономных системах электроснабжения на территории Республики Таджикистан // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 4 (64). – С. 23-30.
2. Рахмонзода, Д. Автономный асинхронный генератор для гибридных систем возобновляемых источников энергии // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тезисы докладов двадцать седьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва. – С. 1120.
3. Ашурбеков Л. К. Исследование согласования графиков нагрузки и генерации ВЭС // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : тезисы докладов Двадцать восьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 2022. – С. 939.
4. K. S. Sangov, S. R. Niyoz. Electricity Supply to Hard-to-Reach Sparsely Populated and Remote Regions of the Republic of Tajikistan // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28 января 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 1534-1538.
5. Закон Республики Таджикистан «Об использовании возобновляемых источников энергии» 2010 г. – №1. – 11 с.
6. Х. С. Саидзода, Ф. О. Исмоилов. Возможность использования возобновляемых источников энергии для системы электроснабжения сельских потребителей в Республике Таджикистан // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 4(60). – С. 15-23.
7. Сомонаи метеорологии Русия "Ҷадвали обу ҳаво". [манбаи электронӣ]. URL: <http://www.rp5.ru>. (Санаи дастрасӣ: 17.03.2024).
8. Zonhan Windpower – Истеҳсолкунандаи дастгоҳҳои бодии тавононашон хурд. URL: <http://www.zonhan.com/> (Санаи дастрасӣ: 15.03.2024).
9. Ritar - Истеҳсолкунандаи аккумуляторҳо. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ritarpower.com/>. (Санаи дастрасӣ: 15.03.2024).
10. MAP-HYBRID – истеҳсолкунандаи инверторҳо. URL: http://www.invertor.ru/zzz/item/map_hybrid_24_4_5. (Санаи дастрасӣ: 15.03.2024).

11.Х. С. Сангов, С. А. Цырук, Д. В. Михеев, К. Ф. Шарафеддин. Экономическая эффективность использования ветроэнергетической установки для электроснабжения отдаленных сельских потребителей Республики Таджикистан // Фёдоровские чтения - 2019, Москва, 20–22 ноября 2019 года / Под общей редакцией Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2019. – С. 330-344.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Саидзода Хушдил Саид | Саидзода Хушдил Саид | Saidzoda Khushdil Said |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: khushdil.sangov@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Балаев Мухамадшо Ахтамович | Балаев Мухамадшо Ахтамович | Balaev Mukhamadsho Akhtamovich |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: muhamad65.balaev@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Исмоилов Фирдавс Олимшоевич | Исмоилов Фирдавс Олимшоевич | Ismoilov Firdavs Olimshoevich |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: ismoilovFO@yandex.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Гулмуродзода Сайёд Гулмурод | Гулмуродзода Сайёд Гулмурод | Gulmurodzoda Saiyod Gulmurod |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: jononaev.87@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Чамолзода Бехрузи Саъдонхуча | Джамолзода Бехрузи Саъдонхуджа | Jamolzoda Behruzi Sadonkhuja |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: Jamolzoda_behruz@mail.ru | | |

УДК 631.371: 621.311

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ

¹З.Ш. Юлдашев, ²Л.С. Касобов

В статье приводится описание разработанного устройства для получения оперативной информации об эффективном использовании энергии в энерготехнологических процессах нагрева и подъема жидкости. По измеренным двум параметрам (значению израсходованной энергии на входе ЭТП и результату на выходе ЭТП) в течение времени $t_{\text{факт}}$ в любом энерготехнологическом процессе при помощи разработанного устройства можно определить эффективность использования энергии в энерготехнологических процессах по приведенным в примерах алгоритмам.

Ключевые слова: *нагрев жидкости, подъем жидкости, диагностика, энергоэффективность, энерготехнологический процесс.*

ДАСТГОҶ БАРОИ ГИРИФТАНИ МАЪЛУМОТИ ОПЕРАТИВӢ ДАР БОРАИ САМАРАНОК ИСТИФОДАБАРИИ ЭНЕРГИЯ

З.Ш. Юлдашев, Л.С. Қасобов

Дар мақола тавсифи дастгоҳи таҳияшуда барои гирифтани маълумотҳои фаври доир ба истифодаи босамари энергия дар равандҳои электротехнологии гармкунӣ ва бардоштани моеъ оварда шудааст. Дар асоси ду параметри ченкардашуда (қимати энергияе, ки дар вуруди раванди энерготехнологӣ сарф мешавад ва натиҷа дар баромади он) бо мурури вақти воқеӣ $t_{\text{факт}}$ дар ҳама гуна раванди энерготехнологӣ бо истифода аз дастгоҳи таҳияшуда самаранокии истифодабарии энергия дар равандҳои энерготехнологӣ бо истифода аз алгоритмҳои дар мисолҳо овардашуда самаранокии истифодабарии энергияро муайян кардан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: *гармкунии моеъ, бардорандаи моеъ, таҳхис, самаранокии энергия, раванди электротехнологӣ.*

DEVICE FOR OBTAINING OPERATIONAL INFORMATION ABOUT ENERGY EFFECTIVE USE

Z.Sh. Yuldashev, L.S. Kasobov

The article provides a description of the developed device for obtaining operational information on the efficient use of energy in the energy-technological processes of heating and lifting liquids. According to the measured two parameters (the value of the energy consumed at the input of the ETP and the result at the output of the ETP) during the time tract in any energy technological process, using the developed device, it is possible to determine the efficiency of energy use in energy technological processes using the algorithms given in the examples.

Keywords: Liquid heating, liquid lifting, diagnostics, energy efficiency, energy technological process.

Введение

Энерготехнологический процесс (ЭТП) нагрева и подъема жидкости практически используются во всех технологиях народного хозяйства. В настоящее время промышленность не выпускает специальных информационно-измерительных систем для определения показателей энергоэффективности процесса нагрева жидкости и ее подъема (энергоемкости выполнения ЭТП, техническое состояние устройства, потери энергии и др.).

Условия рыночных отношений востребовали необходимость повышения эффективности использования энергии в производстве продукции. Принципы существования предприятий (в их числе и предприятий АПК) не предполагают ослабления и тем более отказа от этой востребованности. Реакция на усиливающуюся конъюнктуру и рост потребности в материальной продукции должна для энергетики АПК Республики Таджикистан заключаться в фундаментальном пересмотре всех этапов ее создания и эксплуатации, начиная с проектирования и заканчивая постоянным контролем энергетической эффективности. Это потребует введения ряда новых понятий, методов, принципов в дополнение к существовавшим ранее и не обеспечившим готовность энергетики АПК к эффективной работе в новых условиях. К числу таких понятий относится потребительская энергетическая система (ПЭС) [1].

Для обоснования необходимости такого понятия достаточно сказать, что только в потребительских системах энергия используется и только в них образуется универсальный (по валовому продукту) и сравнимый показатель (или показатели) эффективности её использования.

Понятие ПЭС не имеет столь широкого распространения как, например, система энергоснабжения, содержание которого вполне сложившееся. Требование энергосбережения и особенно основной параметр эффективности энергоиспользования - энергоемкость продукции определяют анализ потребительской структуры как совокупность элементов, эффективность которой зависит от эффективности энергетических процессов в каждом из них. Поэтому, прежде всего, необходимо рассмотреть общие системные положения и признаки, определить целевое назначение ПЭС и качество целевого функционирования. Подчинение разрабатываемых методов

управления качеством с самого начала должно быть согласовано с принципами международных стандартов ИСО [2].

Производственная техническая система (ТС) - это материальный объект целевого (для выполнения действий) искусственного происхождения, который состоит из элементов, объединенных не только техническими, но и энергетическими связями и вступающих в определенные отношения, между собой и внешней средой, для достижения единой цели – выпуска продукции.

ПЭС не только приводит в действие техническую систему и обеспечивает выполнение функционального назначения ТС, но и определяет одно из качеств целевого функционирования ТС - энергоэффективность, от которой в значительной мере зависит положение ТС во внешних средах, прежде всего в рыночной и природной.

Энерготехнологические процессы ПЭС реализуют предусмотренные технологией производства процессы, как правило, не самим энергетическим оборудованием (элементом ПЭС), а с участием исполнительного инженерного устройства, являющегося элементом ТС. Поэтому ТС и ПЭС тесно связаны не только требованием надежности (сохранения работоспособности), но и требованием повышения энергоэффективности, так как этот совокупный показатель зависит как от энергетического элемента, так и от исполнительного устройства.

Материалы и методы

На основании литературного обзора и патентного поиска установлено, что существует множество устройств для диагностики и определение энергетических показателей выполнения энерготехнологического процесса (ЭТП).

Например, устройство для определения потерь энергии в ЭТП, содержащее исследуемый объект с измерителем, источник питания с измерительной аппаратурой, пульт управления, вычислительный блок, дисплей, выход источника питания соединен через измеритель энергии и блок энерготехнологического процесса с входом блока измерителя результата действия энергии, второй выход измерителя энергии с первым входом вычислительного блока, выход блока измерителя результата действия энергии соединен со вторым входом вычислительного блока, выход которого соединен с входом дисплея, а вход-выход вычислительного блока соединён с входом-выходом пульта управления, выход которого соединён с входом источника питания [1, 2].

Недостатками данного устройства являются:

- нет регистрации текущего времени для сравнения результатов исследований;
- отсутствует сравнение полученных результатов исследований ЭТП с базовыми данными (справочные данные, паспортные данные, предыдущие результаты исследований, современные инновационные ЭТП);
- нет возможности получения энергетического паспорта ЭТП;
- не предусмотрена выработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации исследуемого энерготехнологического процесса;
- нет возможности передачи результатов исследований на систему высшего уровня по известным каналам связи.

Целью настоящей статьи является разработка и совершенствование конструкции устройства для получения оперативной информации об эффективном использовании энергии по двум измеряемым параметрам ЭТП, получения результата действия энергии, получение показателей эффективности использования энергии и энергетического паспорта энерготехнологического процесса [3].

Устройство позволяет проводить все измерения при неразрушающем контроле, то есть, без вмешательства в схему ЭТП и технологию получения результата действия энергии.

На рисунке схематично изображено устройство для определения эффективности использования энергии в энерготехнологических процессах.

Устройство состоит из следующих элементов: источника питания (например, электрическая сеть для электрической энергии, трубопровод питания природного газа для подачи природного газа), измерителя энергии, который предназначен для измерения потребленной энергии (измеряет интегральное значение израсходованной энергии). Например, для измерения электрической энергии в качестве измерителя энергии может быть использован электронный счетчик электрической энергии, для измерения энергии при использовании природного газа – газовый счетчик, механической энергии – измеритель механической энергии.

Выход источника питания соединён с входом измерителя энергии. Первый выход измерителя энергии соединен с входом блока энерготехнологического процесса (БЭТП). Выход БЭТП соединен с

входом блока измерителя результата действия энергии (БИРДЭ). Блок управления предназначен для включения и отключения источника питания.

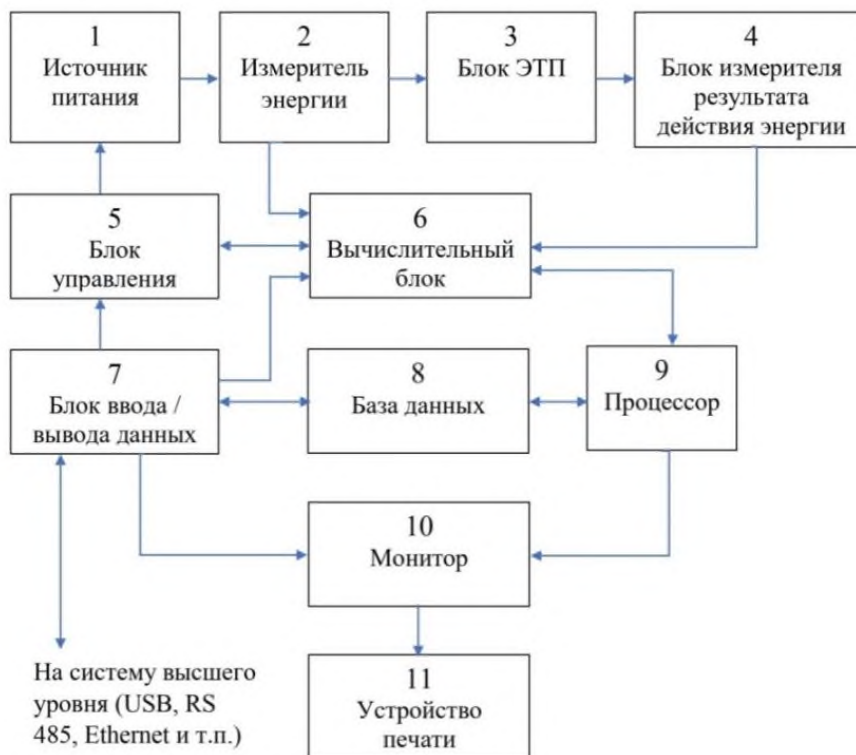


Рисунок 1 – Устройство для определения эффективности использования энергии в энерготехнологических процессах

Второй выход измерителя энергии соединен с первым входом вычислительного блока. Выход БИРДЭ соединен со вторым входом вычислительного блока 6. Вычислительный блок предназначен для сохранения результатов измерения, поступающих от измерителя энергии и блока измерителя результата действия энергии и для необходимых вычислений по результатам измерений. Вход-выход блока управления соединен с вход-выходом вычислительного блока. При достижении результата действия энергии R вычислительный блок вырабатывает команду на блок управления, который отключает источник питания. Первый выход блока ввода-вывода данных (БВВД) соединен с входом блока управления. Второй выход БВВД соединен со входом вычислительного блока. Первый вход-выход БВВД соединен с базой данных, которая содержит справочные данные, паспортные параметры ЭТП, данные современных инновационных ЭТП и результаты измерений, вычислений и расчетов предыдущих измерений (при наличии), которые могут быть введены и дополнены через БВВД. Второй вход-выход БВВД имеет выход на систему высшего уровня по каналам связи и/или электронные носители (USB, RS485, Ethernet, Bluetooth и др.). Через второй вход-выход БВВД из системы высшего уровня по каналам связи дистанционно могут быть введены исходные информации об ЭТП и осуществлять управление процессом определения эффективности использования энергии в ЭТП.

БВВД предназначен для ввода исходной информации об энерготехнологическом процессе (например, объем воды, начальная и конечная температура воды, номинальная мощность ТЭН-а P_n), характеристики инновационных ЭТП. Второй вход-выход базы данных соединен с процессором. Процессор предназначен для сравнения результатов измерений с аналогичными данными из базы данных. Процессор вырабатывает рекомендации на основании сравнений по дальнейшему совершенствованию ЭТП и повышению эффективности использования энергии. Также процессор позволяет генерировать текущее время и фиксировать локацию (месторасположения) ЭТП. Выход БВВД соединен с первым входом монитора. Выход процессора соединен со вторым входом монитора. Монитор предназначен для визуализации введенной исходной информации, справочных данных, паспортных данных ЭТП, данных современных инновационных энерготехнологических процессов и результатов измерений, вычислений и расчетов предыдущих измерений (при наличии), рекомендаций по совершенствованию энерготехнологического процесса и энергетического паспорта ЭТП. Выход монитора соединен с входом устройства печати, который предназначен для получения в бумажной форме (напечатанной форме) введенных исходных информации, результаты измерений, вычислений и расчетов, паспортные параметры ЭТП и энергетический паспорт [4, 5].

Результатом действия энергии R в зависимости от вида ЭТП могут быть, например, значение повышения температуры воды от начального $t_{нач}$ до конечного установленного значения

температуры $t_{\text{кон}}$ нагреваемой воды, объем воды W при перекачивании ее на высоту H и количество выпущенного продукта, измеряемое в штуках, тоннах, литрах и т.п.

Устройство для определения эффективности использования энергии в энерготехнологических процессах работает следующим образом.

Перед определением эффективности использования энергии с БВВД вводится исходная информация, в зависимости от назначения ЭТП и достигаемого результата действия энергии R .

Пример №1 – ЭТП нагрева воды в водонагревателе. С БВВД 7 вводятся следующие параметры: - масса воды m (кг), начальная температура воды $t_{\text{нач}}$ (°C), конечная установленная температура воды $t_{\text{кон}}$ (°C), теплоемкость воды c (Дж/кг*°C) и номинальная мощность ТЭН-а $P_{\text{ном}}$ (кВт).

Результатом действия энергии R ЭТП нагрева воды является повышение температуры воды от начального $t_{\text{нач}}$ до конечного установленного значения температуры $t_{\text{кон}}$:

$$R = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}} \quad (1)$$

Включение устройства для определения эффективности использования энергии в ЭТП осуществляется при помощи блока управления после ввода исходной информации в БВВД с визуализацией на мониторе. При этом происходит отсчет времени в вычислительном блоке. Измеритель энергии измеряет поступающую от источника питания к ЭТП энергию, где происходит нагрев воды до конечной установленной температуры воды $t_{\text{кон}}$. Блок измерителя результата действия энергии измеряет и передаёт фактическое значение температуры воды в вычислительный блок, где происходит его сравнение с конечной установленной температурой воды $t_{\text{кон}}$.

По данным, введенным с блока управления в вычислительном блоке, рассчитываются теоретическое необходимое количество энергии на нагрев $Q_{\text{теор}}$ и теоретическое время нагрева воды $t_{\text{теор}}$. Теоретическое необходимое количество энергии $Q_{\text{теор}}$ для заданной массы воды определяется по формуле:

$$Q_{\text{теор}} = c \cdot m \cdot (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) = c \cdot m \cdot R, \quad (2)$$

Определяется теоретическое время $t_{\text{теор}}$ нагрева воды с учетом номинальной мощности $P_{\text{ном}}$:

$$t_{\text{теор}} = Q_{\text{теор}} / P_{\text{ном}} \quad (3)$$

Результаты измерения измерителя энергии и блока измерителя результата действия энергии дискретно поступают на входы вычислительного блока и сохраняются. В зависимости от особенностей процесса и требуемой точности частота измерений может быть различной (секунда, минута, час).

При достижении температуры воды конечной установленной температуры $t_{\text{кон}}$, при помощи вычислительного блока фиксируются фактическое время $t_{\text{факт}}$ нагрева (достигается результат действия энергии R) и величина потреблённой энергии $Q_{\text{факт}}$. При этом по команде вычислительного блока пульт управления отключает источник питания.

На практике обычно фактическое время нагрева всегда будет больше теоретического времени нагрева из-за потерь энергии:

$$t_{\text{факт}} = t_{\text{теор}} + \Delta t \quad (4)$$

В вычислительном блоке определяется приращение времени Δt между фактическим $t_{\text{факт}}$ и теоретическим временем нагрева $t_{\text{теор}}$:

$$\Delta t = t_{\text{факт}} - t_{\text{теор}} \quad (5)$$

При известном значении мощности ТЭН-а и вычисленном значении приращения времени Δt , определяется величина потерь энергии ΔQ на выполнение энерготехнологического процесса нагрева воды:

$$\Delta Q = P_{\text{ном}} \cdot \Delta t = P_{\text{ном}}(t_{\text{факт}} - t_{\text{теор}}) = Q_{\text{факт}} - Q_{\text{теор}} \quad (6)$$

По завершении энерготехнологического процесса нагрева воды, вычислений и расчетов на процессоре происходит сравнение результатов расчета с паспортными данными и/или предыдущими данными.

Определяются следующие параметры:

1. энергоёмкость энерготехнологического процесса:

$$Q_{\text{э}} = Q_{\text{факт}} / Q_{\text{теор}} \quad (7)$$

2. относительные потери $\Delta Q_{\text{пасп*}}$ относительно паспортных данных:

$$\Delta Q_{\text{пасп*}} = \frac{(\Delta Q - \Delta Q_{\text{пасп}})}{\Delta Q_{\text{пасп}}} * 100\%; \quad (8)$$

3. относительные потери ΔQ^* относительно современных инновационных энерготехнологических процессов:

$$\Delta Q_{\text{инновац.*}} = \frac{(\Delta Q - \Delta Q_{\text{инновац.}})}{\Delta Q_{\text{инновац.}}} * 100\%; \quad (9)$$

4. вырабатываются рекомендации (количество рекомендаций зависит от степени сложности ЭТП, например, в таблице 1 приведены три рекомендации) по совершенствованию ЭТП (относительно паспортных данных).

5. создается энергетический паспорт энерготехнологического процесса, где приводятся: название, назначение и месторасположение энерготехнологического процесса, дата и время проведения измерений, паспортные данные энерготехнологического процесса, результаты всех (предыдущих и настоящих) измерений, вычислений и расчетов показателей эффективности использования энергии в энерготехнологическом процессе, информация о современных инновационных энерготехнологических процессах, выработанные рекомендации по совершенствованию энерготехнологического процесса и ФИО ответственных за проведение измерений. На мониторе визуализируются введенная исходная информация, численные значения результатов измерений, вычислений и расчетов, паспортные данные энерготехнологического процесса, результаты предыдущих измерений, вычислений и расчетов (при наличии), а также энергетический паспорт энерготехнологического процесса. На устройстве печати можно распечатать всю информацию, которая выводится на монитор. При необходимости через БВВД вводится корректировки и исправления. Введенная исходная информация, результаты измерений, вычислений и расчетов, паспортные данные энерготехнологического процесса, результаты предыдущих измерений, вычислений и расчетов (при наличии), а также энергетический паспорт энерготехнологического процесса может быть переданы в систему высшего уровня по каналам связи. Также дистанционно по каналам связи может быть введена исходная информация и проведены исследования по определению эффективности использования энергии в энерготехнологическом процессе (по каналам связи, например, RS-485, Ethernet и др.).

Таблица 1–Рекомендации по совершенствованию энерготехнологического процесса нагрева воды

| Значение параметра | Рекомендации |
|--|---|
| Если $\Delta Q^{\text{пасп}*} \leq 5\%$ | Требуется проводить профилактические мероприятия, текущий ремонт. |
| Если $5\% < \Delta Q^{\text{пасп}*} \leq 15\%$ | Требуется проводить капитальный ремонт, замена нагревательного элемента, усиление изоляции водонагревателя. |
| Если $\Delta Q^{\text{пасп}*} > 15\%$ | Требуется замена элементов изоляции и нагревательного элемента. Замена на энергоэффективное и инновационное оборудование. |

Пример №2. – энерготехнологический процесс подъема воды при помощи насосного агрегата. С пульта управления вводятся следующие параметры: объем воды W (м^3), высота подъема H (м), номинальная мощность электродвигателя насосного агрегата $P_{\text{ном}}$ (кВт).

При определении эффективности использования энергии в ЭТП при подъеме объема W воды на высоту H в вычислительном блоке определяются:

-теоретическое необходимое количество энергии для подъема объема воды W на высоту H :

$$Q_{\text{теор}} = 1000 \cdot W \cdot g \cdot H. \quad (10)$$

-определяется теоретическое время $t_{\text{теор}}$ подъема заданного количества воды на высоту H :

$$t_{\text{теор}} = Q_{\text{теор}} / P_{\text{ном}}. \quad (11)$$

По результатам измерений определяется фактическое время $t_{\text{факт}}$ подъема объема воды на высоту H , при котором достигается результат R (объем поднятой воды) и значение израсходованной фактически энергии $Q_{\text{факт}}$.

Обычно фактическое время подъема воды всегда будет больше теоретического времени подъема воды.

$$t_{\text{факт}} = t_{\text{теор}} + \Delta t. \quad (12)$$

Определяется приращение времени фактического и теоретического времени подъема воды:

$$\Delta t = t_{\text{факт}} - t_{\text{теор}}. \quad (13)$$

Определяются потери энергии в энерготехнологическом процессе при подъеме воды:

$$\Delta Q = P_{\text{ном}} \cdot \Delta t = P_{\text{ном}}(t_{\text{факт}} - t_{\text{теор}}) = Q_{\text{факт}} - Q_{\text{теор}}. \quad (14)$$

По завершении энерготехнологического процесса нагрева воды, вычислений и расчетов на процессоре происходит сравнение результатов расчета с паспортными данными и/или предыдущими данными.

Определяются следующие параметры:

1. энергоемкость энерготехнологического процесса:

$$Q_{\text{э}} = Q_{\text{факт}} / Q_{\text{теор}}. \quad (15)$$

2. относительные потери $\Delta Q^{\text{пасп}*}$ относительно паспортных данных:

$$\Delta Q^{\text{пасп}*} = \frac{(\Delta Q - \Delta Q_{\text{паспорт}})}{\Delta Q_{\text{паспорт}}} * 100\%; \quad (16)$$

3. относительные потери ΔQ^* относительно современных инновационных энерготехнологических процессов:

$$\Delta Q_{\text{инновац.}*} = \frac{(\Delta Q - \Delta Q_{\text{инновац.}})}{\Delta Q_{\text{инновац.}}} * 100\%; \quad (17)$$

4. вырабатываются рекомендации (количество рекомендаций зависит от степени сложности энерготехнологического процесса, например, в таблице 2 приведены три рекомендации) по совершенствованию энерготехнологического процесса (относительно паспортных данных).

Таблица 2 – Рекомендации по совершенствованию энерготехнологического процесса подъема воды

| Значение параметра | Рекомендации |
|--|---|
| Если $\Delta Q_{\text{пасп}*} \leq 5\%$ | Требуется проводить профилактические мероприятия, текущий ремонт. |
| Если $5\% < \Delta Q_{\text{пасп}*} \leq 15\%$ | Требуется проводить капитальный ремонт насосного агрегата, замена насосного колеса, очистка и ремонт водозабора, устранение утечек. |
| Если $\Delta Q_{\text{пасп}*} > 15\%$ | Требуется замена на энергоэффективное и инновационное оборудование. |

5. Аналогично как в п.5 Примера №1.

При проектировании производства существует этап, называемый выбором энергетического оборудования. Осуществляется выбор специалистами, профессионально подготовленными по основным видам энергии и соответствующему оборудованию (в основном, это электрическая и тепловая энергии). Практически до сих пор умение правильно выбрать оборудование является целью подготовки специалиста. Общепринятый принцип выбора - по максимальной расчетной нагрузке (мощности) с различными вариациями уточнения расчета. Параметр, по которому выбирается оборудование - номинальная мощность, соответствующая его наивысшей энергетической эффективности. Такой принцип выбора гарантирует высокую надежность энергообеспечения приемников энергии, имеющих переменную нагрузку, путем создания ресурса мощности. Так как наибольшая энергетическая эффективность соответствует только номинальной мощности, то и вариации ухудшения эффективности за какой-либо период времени будут зависеть как от свойств оборудования, так и от изменения нагрузки за это время. Кроме этого, выбранное оборудование может быть с постоянной мощностью (например, нагреватели, лампы), с пластичной (например, асинхронный электродвигатель) и с управляемой мощностью (например, группа нагревателей с индивидуальным подключением, группы ламп с групповым отключением).

Очевидно, если оборудование оснащено автоматическим управлением с учетом нагрузки, то это создает условия для улучшения использования энергии, но не служит гарантией высокой эффективности, т.к. энергетическая эффективность является многофакторной функцией, а усложнение автоматизации приемлемо не для любого производства.

Таким образом, необходимость контроля энергетической эффективности ПЭС закладывается при ее синтезе (при выборе оборудования) и связано это с различным номинальным КПД оборудования (от 1% у ламп накаливания до 100% у элементных нагревателей воды), с различной зависимостью КПД от нагрузки и от наличия, отсутствия и сложности системы автоматического управления.

Необходимо отметить, что совокупность, образованная выбранным для производственного процесса оборудованием, не образует систему, связанную с энергоемкостью продукции. Об энергетической системе можно говорить только после того, как схема, включающая все оборудование, будет дополнена энерготехнологическими процессами (ЭТП), потребляющими энергию с целью получения необходимого для производства результата. Такое дополнение превращает обычную схему размещения оборудования в энергетическую схему, более информативную, т. к. она отражает производственные цели потребления энергии, достигаемые в определенных процессах, происходящих, как правило, не только в выбранном энергетическом оборудовании, но и в технологическом (рис 2).

Введение ЭТП дает возможность рассматривать и анализировать процессы в оборудовании как относящиеся к общей искусственной сфере (одной из семи сфер взаимодействия, принятых к системному рассмотрению [3])-технологической сфере. Именно ЭТП позволили рассматривать энергетическую систему предприятия во взаимодействии с другими сферами, прежде всего, с биосферой, экономической и социальной. Поэтому энергетическая схема потребителя, включающая ЭТП, представленная на рис. и описанная в [1], может считаться достаточно адекватным отображением ПЭС.

Предлагаемое представление ПЭС отражает основные аспекты, входящие в определение технической системы и раскрывающие содержание системности [3]:

$$Q_{\Pi} = Q/\Pi \quad (18)$$

Математически энергия Q и объем продукции Π представляют собой определенные интегралы, т.е. значения к концу периода интегрирования.

Таким образом, речь идет о минимизации отношения двух интегральных значений. Известно, что каждое из этих значений может быть выражено функцией мощности $P(t)$ и производительности $\Pi'(t)$. Известно также, что каждый из этих интегралов может быть выражен через линейную функцию в соответствии с теоремой Лагранжа [4]. Такая замена функции в точности сохраняет интегральное значение, но полностью утрачивает динамические особенности процесса интегрирования во времени. Если они важны, то от линеаризации следует отказаться. Важно также отметить, что рассчитывать на использование для различных элементов какой-либо простой функции для выражения $Q(t)$, т.е. для потребляемой элементом энергии в течение существенного промежутка времени, в условиях ПЭС не приходится. Даже аппроксимация зарегистрированной зависимости $Q(t)$ едва ли целесообразна, поскольку она скроет связь динамических особенностей с какими-либо конкурентными процессами в конкретных элементах ПЭС. Рассмотрим производную Q'_{Π} по времени в предположении, что функции производных существуют по определению:

$$Q'_{\Pi} = \frac{Q' \cdot \Pi - Q \cdot \Pi'}{\Pi^2} \quad (19)$$

Промежуточные (до равенства $Q'_{\Pi} = 0$) зависимости также интересны, в частности:

$$Q'_{\Pi} = \frac{1}{\Pi} (Q' - Q_{\Pi} \cdot \Pi'). \quad (20)$$

Производная энергоемкости обратно пропорциональна объему выпущенной продукции без всяких оговорок (кроме ($\Pi = 0$)).

Знак числителя зависит от того, сохраняют или нет Q' и Π' соотношение, равное Q'_{Π} . На самом деле, если приравнять Q'_{Π} к нулю, т.е. определить условие постоянства Q_{Π} , то получим его в виде равенства:

$$\frac{Q}{\Pi} = \frac{Q'}{\Pi'} \quad \text{или} \quad Q_{\Pi} = \frac{Q'}{\Pi'}. \quad (21)$$

Делаем вывод о том, что энергоемкость продукции равна отношению функций. Если перейти к процессам, отображаемым функциями, то можно сделать вывод, что синхронное изменение Q' и Π' не вызывает изменение Q_{Π} , условием уменьшения Q_{Π} является неравенство $\Pi' > Q'$. Поскольку отсутствие функции, а проще сказать монотонности изменения мощности P и Π' в практике успешно может компенсироваться наличием счетчиков, то необходимо рассмотреть возможность и специфику перехода от интегральных значений к производным в условиях ПЭС. Важной особенностью ПЭС является то, что Q и Π связаны через энергетическую сеть потребителя, в которой энергия не только передается с потерями, но и используется в других ЭТП, не имеющих прямой энергетической связи с ЭТП, производящим продукцию, поэтому никак нельзя считать, что Π есть функция всей потребленной энергии. Поскольку интегральные значения Q и Π можно считать известными (измеряемыми), то и значение энергоемкости, соответствующее определенному промежутку времени, можно также считать известным. Уточнение задачи снижения энергоемкости в ПЭС сводится к обоснованию оценки ее значения и к определению роли каждого элемента в превышении ее значения над установленным уровнем.

Таким образом, задача повышения эффективности использования энергии в ПЭС на начальном этапе является информационной, дающей ответ на вопрос: какую, в каких параметрах и как можно получить информацию об эффективности энергетических процессов в каждом из элементов ПЭС?

Один общий подход, позволяющий обойти отсутствие функции, описывающей изменение энергии по длине элемента, предложен в [2] - использовать отношение конечных (т.е. в начале и в конце элемента) энергетических параметров. Именно такое отношение, дублирующее оператора определения основного параметра эффективности - энергоемкость продукции, положено в основу метода оценки эффективности энергетических процессов в элементах, названного методом конечных отношений (МКО).

Выводы

Представление совокупности потребительского оборудования как системы с отчетливо выраженным показателем эффективности позволяет воспользоваться не только международным опытом управления качеством функционирования, но и использовать эффективные методы проектирования, объединяемые понятием инжиниринг качества. Становится очевидным вывод о том, что для подготовки специалистов по энергоэффективности по отраслям народного хозяйства, необходимо предусматривать в образовательных программах значительное обновление содержания дисциплин, которое обеспечит необходимую инновационность знаний, а также необходимость реформирования системы обслуживания потребителей энергии.

Таким образом, по измеренным двум параметрам (значению израсходованной энергии на входе ЭТП и результату на выходе ЭТП) в течение времени $t_{\text{факт}}$ в любом энерготехнологическом процессе при помощи предлагаемого устройства для определения эффективности использования энергии можно определить эффективность использования энергии в энерготехнологическом процессе по приведенным в примерах алгоритмам.

Рецензент: Содиков Х.Р. – к.т.н., профессор кафедры «АЭТиЭМ» ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Устройство для определения потерь энергии в энерготехнологических процессах: пат. №2727149 РФ. МПК G01R 21/14, H05B 1/02. / В.Н. Карпов. Авторы: В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев, А.А. Немцев, И.А. Немцев, Ю.А. Старостенков / Заявитель и патентообладатель: СПбГАУ, В. -№2017146053. опубли.: 09.07.2020. Бюл. № 19.
2. Устройство контроля показателей энергоэффективности процесса нагрева жидкости: пат. №156085 РФ. МПК⁶ B28B7/24. / Заявитель и патентообладатель: СПбГАУ, В.Н. Карпов. Авторы: В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев, А.А. Немцев, И.А. Немцев. -№2015120355/28(031439). Дата подачи 28.05.2015.
3. Устройство для определения эффективности использования энергии в энерготехнологических процессах: малый патент №ТЖ1167 РТ. МПК (2006) H 05 B 1/02. G 05 D 23/00. / В.Н Карпов, З.Ш. Юлдашев, Р.З. Юлдашев, Т.М. Камолов, Ш.И. Мирзоев, Л.С. Касобов. -№2021498, заявл. 13.01.2021. Бюл. №172, 2021.
4. Карпов В.Н. Управление энергетической эффективностью предприятия - это правильный выбор оборудования и действия энергии / В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев, А.А. Немцев, И.А. Немцев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - СПб.: СПбГАУ. -2016. - №45. - С.291-297.
5. Карпов В.Н. Технологическая востребованность и техническое сопровождение увеличения потребления энергии в АПК / Карпов В.Н., Юлдашев З.Ш. // Монография. - СПб.: СПбГАУ, 2021. -168 с.
6. Карпов В.Н. Энерготехнологический процесс как ключевой элемент для управления энергетической эффективностью в действующих технических системах / В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев, А.А. Немцев, И.А. Немцев // Известия МААО. Выпуск №31 (2016). –С. 33-40.
7. Карпов В.Н. Повышение показателей энергоэффективности процесса нагрева жидкости / В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев, Г.К. Хакимов, Т.М. Камолов // Вестник технологического университета Таджикистана. –Душанбе. -2020. -4 (43). –С. 63-69.
8. Юлдашев З.Ш. Управление энергетической эффективностью предприятия / З.Ш. Юлдашев, Л.С. Касобов, М.Ш. Раджабов // Политехнический Вестник. Серия: Инженерные исследования. -№1(53). -2021. –С.14-18.
9. Юлдашев З.Ш. Интегральный подход к инжинирингу для устойчивого развития / З.Ш. Юлдашев, Л.С. Касобов, Р.З. Юлдашев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. -№3(55). -2021. –С. 8-13.
10. Valery N. Karpov, Fedor D. Kosoukhov, Alexey P. Epifanov, Zarifjan Sh. Yuldashev and Vladislav V. Kolosovsky. Consumer Systems in Agricultural Economics: Focus on Energy Efficiency and Digital Technology / The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Volume 1. –Springer. – P. 634-641. -2021.
11. Kabanen T.V., Karpov V.N., Yuldashev Z. Sh., Nemsev A.A., Nemsev I.A. Basic theory and method of managing energy efficiency in consumer systems //Agronomy Research 14(5), 1619-1625, 2016. <http://agronomy.emu.ee/category/volume-14/number-5/#abstract-4682>.
12. Юлдашев З.Ш. Комплексное получение тепловой и электрической энергии / З.Ш. Юлдашев, Л.С. Касобов, М.А. Балаев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №1(6) 2023. –С. 13-17.
13. Варжапетян А.Г. Системность процессов создания и диагностики технических структур / Варжапетян А.Г., В.В. Глущенко, П.В. Глущенко -СПб.: Политехника, 2004. -186 с.
14. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев // Перевод с немецкого. - Лейпциг, изд-во Тойбнео. - М.: Наука. -1981. -720 с.
15. Карпов В.Н. Показатели энергетической эффективности действующих агроинженерных (технических) систем / В.Н. Карпов, З.Ш. Юлдашев // Монография. - СПб.: СПбГАУ, 2014. -160 с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Юлдашев Зарифшон Шарифович | Юлдашев Зарифджан Шарифович | Yuldashev Zarifjan Sharifovich |
| д.и.т., профессор | д.т.н., профессор | Dr. Sci. Tech., professor |
| Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шохтемур | Таджикский аграрный университет имени Ш. Шохтемура | Tajik agrarian University named Shirinsho Shotemur |
| e-mail: zarifjan_yz@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қасобов Лоик Сафарович | Касобов Лоик Сафарович | Kasobov Loik Safarovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | Candidat of engineering sciences, Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: loiknstu@mail.ru | | |

УДК 621.313

ТАҲҚИҚИ РОҶҶОИ САРФАИ НЕРӢИ БАҶ ДАР КОРХОНАҶОИ СОҶАИ БОФАНДАӢ**И.Р. Каримов**

Донишкадаи политехникии донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд

Бо мақсади таҳқиқи имкони сарфаи нерӯи барқ дар корхонаҳои истеҳсолии соҳаи бофанда, роҳҳо ва воситаҳои ҳалли ин масъала зери таҳлилҳо қарор дода шудаанд. Мувофиқ ба тадқиқот ба корхонаҳои истеҳсолии соҳаи бофанда ду роҳи асосии сарфаи иқтидор ва нерӯи барқ пешниҳод гардид. Инчунин дар мақолаи илмӣ мазкур барои таҳқиқи равандҳои гузарандаи речаи қорандозӣ дар ҳаракатовари электрикӣ мошинҳои ресанда, модели компютерӣ қоркард карда шуд.

Калимаҳои калидӣ: нерӯи барқ, коргоҳи истеҳсолӣ, соҳаи бофанда, муҳарриқи асинхронӣ, ҳаракатовари электрикӣ, табдилдиҳандаи басомадӣ, моделиронии компютерӣ.

ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**И.Р. Каримов**

С целью исследования возможности энергосбережения в производственных предприятиях текстильной промышленности были анализированы пути и средства решения данной проблемы. Согласно результатам исследования для производственных предприятий текстильной промышленности предложены два основных способа экономии мощности и электроэнергии. Также в научной работе для исследования пусковых переходных процессов электропривода прядильной машины разработана компьютерная модель.

Ключевые слова: электроэнергия, производственный цех, текстильная промышленность, асинхронный двигатель, электропривод, преобразователи частоты, компьютерное моделирование.

RESEARCH OF ENERGY SAVING WAYS IN TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES**I.R. Karimov**

In order to research the possibilities and energy saving in manufacturing enterprises of the textile industry, ways and means of solving this problem were analyzed. According to the results of the research, two main ways to save power and electricity were proposed for manufacturing enterprises in the textile industry. Also in the scientific work, a computer model was developed to research the starting transient processes of the electric drive of the spinning machine.

Keywords: electricity, manufacturing workshop, textile industry, asynchronous motor, electric drive, frequency converters, computer modeling.

Муқаддима

Мақсади тадқиқот: сарфаи нерӯи барқ дар ҳаракатоварҳои электрикӣ корхонаҳои соҳаи бофанда бо назардошти хусусияти системаи таъминоти барқи минтақа.

Муаммо: Имрӯз дар Ҷумҳурии Тоҷикистон миқдори зиёди корхонаҳои соҳаи бофанда бо таҷҳизот ва дастгоҳҳои кӯҳна амал мекунад, ки ин боиси талафи нерӯи барқ ва камсамар гаштани кори онҳо мегардад. Ба ғайр аз ин хусусияти ҳоса доштани системаи таъминоти барқ дар ҳар минтақаҳои кишвар, муаммо боз ҳам душвор мекунад. Масалан системаи таъминоти барқи вилояти Суғд (шимол) хеле аз системаи энергетикӣ дигар минтақа (ҷануб) вобастагии калон дорад, яъне автономӣ нест.

Роҳи ҳалли муаммо: Барои ҳал намудани муаммо, аз тартиби муайяни таҳлилу таҳқиқот истифода бурдан зарур меояд. Сараввал, дар мисоли як корхонаи амалкунанда маълумоти техникӣ ҷамъ ва таҳлил карда мешавад. Баъд дар мисоли ҳамина корхона ҳаракатоварҳои электрикӣ дастгоҳҳои он бо усули моделиронии компютерӣ таҳқиқ карда мешавад. Баъди таҳқиқи равандҳои гузарандаи ҳаракатоварҳои электрикӣ, роҳҳои сарфаи нерӯи барқ дар корхона зери омӯзиш қарор дода мешавад. Дар натиҷаи тадқиқот роҳи пурсамар барои ҷорӣ намудан пешниҳод карда мешавад.

ҶДММ “Ҷавонӣ” яке аз корхонаҳои калони саноатии пешрафтаи амалкунанда дар ҳудуди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба ҳисоб меравад. Корхонаи мазкур фаъолияти худро аз 10 октябри соли 1992 ҳамчун корхонаи муштараки ҶСК “Ҷавонӣ” бо бренди “CARRERA” оғоз намуда, раванди истеҳсолот ба соҳаи бофанда мансуб буд. Корхона соли 2012 аз ҶСК “Ҷавонӣ” ба ҶДММ “Ҷавонӣ” гузашт. Корхона дар асоси технологияҳои аврупоӣ қор карда, ба ҳамаи стандартҳои аврупоӣ ҷавобгӯ мебошад. Ҷамаи маҳсулоти дар корхона истеҳсолшаванда бо бренди “CARRERA” сабт шуда, ба ҳориҷа барои фуруш содирот карда мешавад. Дар дохили кишвар низ маҳсулоти корхона паҳн карда мешавад. Дар ибтидо корхона кори худро танҳо аз истеҳсоли матоъ ва либосҳо сар карда буд, вале амалҳои рангунӣ дар ҳориҷа гузаронида мешуд. Бо гузашти вақт ва рушди корхона вобаста бо ворид намудани дастгоҳҳои зарурӣ ҷамаи равандҳои истеҳсолот дар Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида мешавад. Корхона коргоҳҳои зиёд дорад, ки онҳо бо дастгоҳҳо ва муҳарриқҳои электрикӣ амал мекунад. Дар як шабонарӯз тақрибан 40 МВт иқтидори активӣ ва 30-35 МВАр иқтидори реактивӣ аз тарафи дастгоҳҳои барқии корхона истеъмол карда мешавад. Аз омори истеъмоли нерӯи барқ дар корхона маълум гашт, ки иқтидори реактивӣ аз меъёр зиёд истеъмол мешавад ва бартарафкунии ин камбудӣ метавонад ба сарфаи нерӯи барқ оварда расонад.

Маводҳо ва усулҳо

Дар ҶДММ “Ҷавонӣ” чунин коргоҳҳои истеҳсолӣ мавҷуданд:

- коргоҳи ресандагӣ;
- коргоҳи бофандагӣ;
- коргоҳи пардозгарӣ;
- коргоҳи дӯзандагӣ;
- коргоҳи рангунӣ;

- коргоҳи дарзмолкунӣ;
- қитъаи компрессорӣ;
- қитъаи дегхона;
- қитъаи оҳардиҳӣ.

Корхонаи номбурда асосан ба истеҳсоли маҳсулоти “Jeans”-й машғул буда, чунин равандҳои технологӣ дар коркарди он дида мешаванд:

- тозакунии пахтаи навъҳои 1-ум ва 2-юм ва омодаи он ба коргоҳи ресандагӣ;
- ресмонресӣ дар коргоҳи ресандагӣ ва омодаи он ба коргоҳи пардозӣ;
- коркарди ресмон дар коргоҳи пардозгарӣ бо маҳлулҳои махсус ва омодаи он ба коргоҳи бофандагӣ;
- коркарди матоъ дар коргоҳи бофандагӣ ва омодаи он ба коргоҳи дӯзандагӣ;
- омодаи либосҳо аз матоъ;
- коркарди либосҳо дар коргоҳи рангкунӣ;
- дарзмолкунии либосҳо ва бандубасти онҳо.

Равандҳои технологияи дар корхона амалкунанда аз ҳамдигар вобастаанд ва дар ҳолати аз кор баромадани дастгоҳҳои барқии яке аз коргоҳҳо, кори дигар коргоҳи душвор мегардад, ё ки умуман раванди истеҳсоли ғайри имкон мешавад [1].

Бо мақсади таҳлили иқтидори электрии истеъмолкунандаи коргоҳҳои корхона тадқиқот гузаронида шуд, ки натиҷаи он дар ҷадвали 1 оварда шудааст:

Ҷадвали 1 – Маълумоти истеъмоли иқтидори электрии дар коргоҳҳои ҚДММ “Чавонӣ”

| № | Номгӯи коргоҳ | Иқтидори истеъмол, кВт |
|----|--------------------------|------------------------|
| 1 | Коргоҳи ресандагӣ | 410 |
| 2 | Коргоҳи бофандагӣ | 290 |
| 3 | Коргоҳи дӯзандагӣ | 140 |
| 4 | Коргоҳи рангкунӣ | 200 |
| 5 | Коргоҳи пардозгарӣ | 250 |
| 6 | Дегхона | 150 |
| 7 | Қитъаи компрессорӣ | 2·250 |
| 8 | Насосҳои обкаш | 10 |
| 9 | Насосҳои чохӣ | 45 |
| 10 | Равшаноии ҳудуди корхона | 10 |
| 11 | Ошхона | 30 |

Ҳисобкунакҳои иқтидорҳои активӣ ва реактивӣ дар корхона истеъмолшаванда дар як шабонарӯз бо миқдори миёна 38200 кВт·соат ва 31150 кВАр·соат нишон дод. Мувофиқи маълумоти ҷадвали 1 маълум гашт, ки иқтидори назаррасро коргоҳи ресандагӣ истеъмол мекунад. Дар ин коргоҳ асосан мошинҳои ресандагии ҳалқагӣ истифода бурда мешаванд. Мошинҳои ресандагӣ барои пахта аз тарафи ширкатҳои зиёди давлатҳои гуногун истеҳсол мешаванд, ки аз ҷиҳати техникӣ метавонанд фарқ кунанд. Ширкатҳои машҳури истеҳсолкунандагони чунин мошинҳо Cognetex, Marzoli дар Италия, Toyota дар Ҷопон, Rieter дар Швейтсария, Zinser, Suessen дар Олмон ва Platt дар Испания мисол овардан мумкин аст.

Тавсифи техникӣ мошинҳои ресандаи ширкатҳои хориҷӣ дар ҷадвали 2 ва 3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2 – Тавсифи техникӣ мошинҳои ресандаи ширкатҳои Аврупо

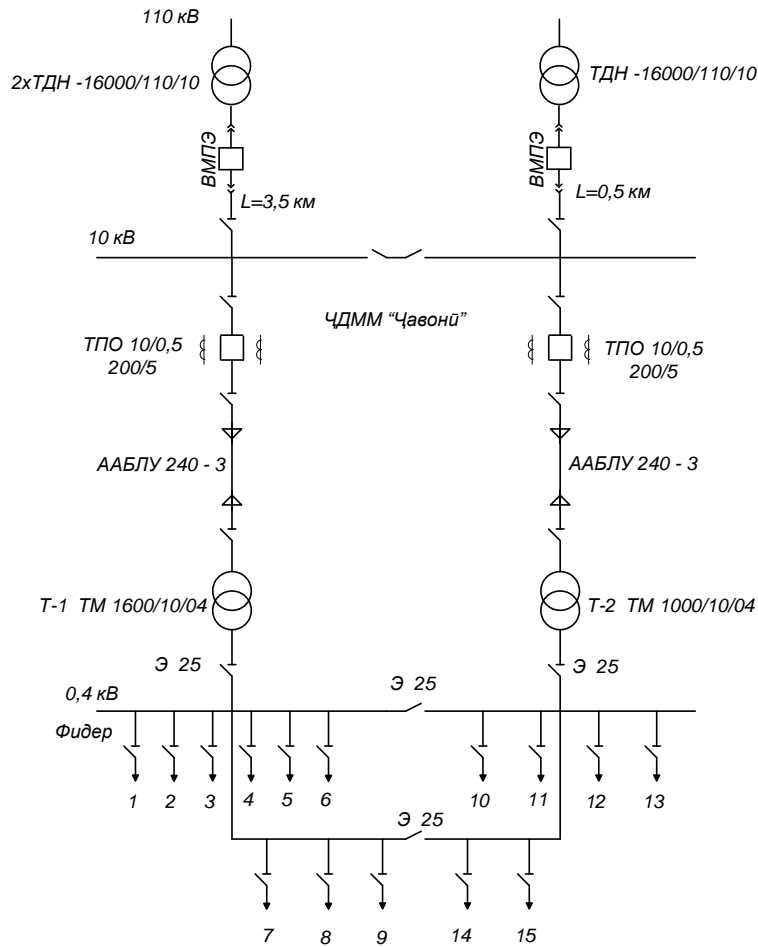
| Ширкат | Marzoli | Rieter | | CSM | Zinser | |
|--|--------------|------------|-------|-------|----------------------------|-------|
| Давлат | Италия | Швейтсария | | Олмон | | |
| Навъ | NSF3 (RST-1) | G30 | G33 | 2213B | 330 | 350 |
| Басомади гардиши мехварҳо, гард/дақ | 25000 | 25000 | 25000 | 25000 | 25000 | 25000 |
| Шумораи ниҳии мехварҳо | 1080 | 1008 | 1200 | 1008 | 1200 | 1200 |
| Харчи нерӯи барқ, кВт, модоми 500 мехвар, 12000 гард/дақ | 22 | - | - | 68 | 31,5 модоми 25000 гард/дақ | 33 |

Ҷадвали 3 – Тавсифи техникӣ мошинҳои ресандаи ширкатҳои Осиё

| Ширкат | Howa | Toyota | Ўзбектекс-тильмаш |
|--|-------|--------------------------|-------------------|
| Давлат | Ҷопон | | Ўзбекистон |
| Навъ | U33G | RX230 | П-75-А, П-70 |
| Басомади гардиши мехварҳо, гард/дақ | 21000 | 25000 | 18000 |
| Шумораи ниҳии мехварҳо | 1008 | 960 | 432/480 |
| Харчи нерӯи барқ, кВт, модоми 500 мехвар, 12000 гард/дақ | 15 | 33 модоми 25000 гард/дақ | 20, 55 |

Нақшаи яқхаттаи таъминоти барқии корхонаи ҚДММ “Чавонӣ” дар расми 1 оварда шудааст. Мувофиқ ба нақша (Расми 1) аён аст, ки корхона бо нерӯи барқро аз ду зеристгоҳи барқии “Заррин” ва “Радий” мегарад. Зеристгоҳи “Заррин” манбаи асосӣ буда, зеристгоҳи барқии “Радий” манбаи

эҳтиётӣ мебошад. Дар зеристгоҳи барқии “Заррин” ва “Радий” ду трансформаторҳои навъи ТДН 16000/110/10 мавҷуд аст. Ҳамин тавр иқтидори трансформаторҳо 16000 кВА буда, тарафи шинаи шиддати баланд 110 кВ ва тарафи шинаи шиддати паст 10 кВ мебошад. Масофа аз ҶДММ “Чавонӣ” то зеристгоҳи барқии “Заррин” $L=3,5$ км ва то зеристгоҳи барқии “Радий” $L=0,5$ км мебошад.



Расми 1 – Нақшаи якхаттаи таъминоти барқи корхонаи ҶДММ “Чавонӣ”

Дар нақшаи оварда (расми 1), дар тарафи шиддати 0,4 кВ коргоҳҳои корхона бо рақамҳои тартибии 1-15 оварда шудаанд, ки иқтидори истеъмолкунандаи онҳо дар ҷадвали 1 нишон дода шудааст. Истеъмолкунандагони асосии ин коргоҳҳо муҳарриқҳои асинхронии роторашон кӯтоҳвасл мебошанд, ки иқтидори онҳо аз 1 кВт то 250 кВт ташкил медиҳад. Муҳарриқи иқтидораш назаррас дар коргоҳи компрессорӣ насб шудааст, ки иқтидори он ба 250 кВт баробар аст.

Яке аз роҳҳои сарфачӯии нерӯи барқ дар корхонаҳои саноатӣ, ин ворид намудани ҷубронкунакҳои иқтидори реактивӣ буда метавонад [2, 3]. Аз сабаби, он ки дар коргоҳҳои истеҳсолии корхонаҳои соҳаи бофанда муҳарриқҳои электрикӣ зиёд истифода мешаванд, иқтидори реактивӣ низ аз ин ҳисоб зиёд истеъмол карда мешавад. Ин ҳолат ҳам ба корхона ва ҳам ба системаи энергетикӣ манфӣ таъсир мерасонад. Бо мақсади бартараф намудани чунин ҳолат ҷубронкунакҳои конденсаториро истифода бурдан мумкин аст. Дар ин маврид корхона иқтидори реактивиро аз шабака нагирифта, балки аз ҷубронкунак истеъмол мекунад. Дар натиҷа ҳиссаи бори реактивӣ дар хатҳои интиқоли барқ (ХИБ) коҳиш меёбад, инчунин дар корхона ҳам беҳбудӣ аз ҳисоби сарфаи иқтидори реактивии аз шабака истеъмолшаванда дида мешавад.

Бо назардошти, он ки ҷубронкунии иқтидори реактивӣ самаранокии калон дорад ба он дар давлатҳои рушдкардаи саноатӣ аҳамияти калон медиҳанд. Масалан дар Фаронса, Шветсия ва Олмон иқтидори ҷубронкунакҳои конденсаторӣ 35% аз иқтидори активии максималӣ ташкил мекунад, дар ИМА ва Ҷопон бошад ин қимат ба 70% баробар аст. 35% от активной пиковой мощности, в США и Японии – около 70%. Доир ба коэффитсиенти иқтидори реактивӣ $\text{tg}\phi$ дар речаи борҳои максималӣ қайд кардан зарур аст, ки дар ИМА, Ҷопон ва дар қисми зиёди давлатҳои аврупо, он дар сатҳи $\text{tg}\phi=0,2-0,4$ нигоҳ дошта мешавад. Ин қимат ба коэффитсиенти иқтидори активии $\text{cos}\phi=0,98-0,92$ мувофиқат мекунад. Дар Россия тавсия доир ба коэффитсиенти иқтидорҳои активӣ ва реактивӣ мувофиқ ба ҷадвали 4 дода шудааст.

Ҷадвали 4 – Қиматҳои тавсиявии коэффитсиентҳои иқтидори активӣ ва реактивӣ

| Шиддати номиналии зеристгоҳҳои барқӣ | cosφ | tgφ |
|--------------------------------------|------|------|
| 10 (6) | 0,93 | 0,4 |
| 35 | 0,9 | 0,49 |
| 110 | 0,88 | 0,54 |
| 220 | 0,86 | 0,59 |

Самараи иқтисодӣ аз ҷорӣ намудани ҷубронкунакҳои конденсаторӣ бо чунин омилҳо асоснок карда мешавад:

- сарфаи маблағ аз ҳисоби коҳиши пардохт барои иқтидори реактивӣ. Одатан ҳиссаи ин намуди пардохт аз 12% то 50%-и пардохти иқтидори активиро ташкил мекунад. Мувофиқи таҷрибаи истифодабарии ҷубронкунакҳои иқтидори реактивӣ, мӯҳлати хароҷотбаргардонӣ то як сол ташкил медиҳад;

- коҳишҳои талафи нерӯи барқ дар хатҳои кабелӣ аз ҳисоби камшавии қимати ҷараёнҳои фазагӣ.

Мисоли ҳисоби самараи иқтисодӣ аз ҷорӣ намудани ҷубронкунаки конденсатории иқтидори реактивӣ дар объекти амалкунанда дида мебароем. Коэффитсиенти иқтидор то ҷорӣ намудани ҷубронкунак cosφ=0,60 ва баъди он cosφ=0,95 баробар гаштааст. Дар умум барои объекти амалкунанда коҳишҳои истеъмоли иқтидори активӣ аз ҳисоби зиёд намудани коэффитсиенти иқтидори активӣ cosφ бо чунин формула ҳисоб карда мешавад:

$$\Delta W_c = \left\{ \frac{\left[\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - \frac{1}{\cos^2 \varphi_2} \right]}{\left[\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} \right]} \right\} k_{II} \cdot 100\%$$

дар ин ҷо cosφ₁ – коэффитсиенти иқтидори активӣ то ҷубронкунӣ (мисол 0,6);

cosφ₂ – коэффитсиенти иқтидори активӣ баъди ҷубронкунӣ (мисол 0,95);

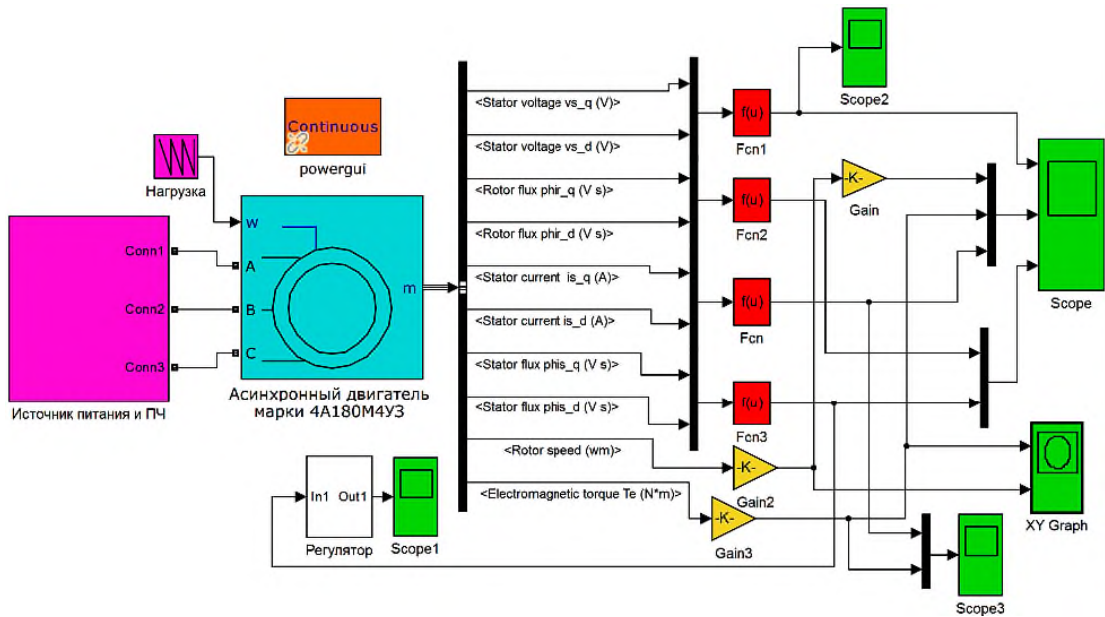
k_{II} – коэффитсиенти талафҳо, (мисол 0,12).

Он гоҳ ҳосил мешавад:

$$\Delta W_c = \left\{ \frac{\left[\frac{1}{0,6^2} - \frac{1}{0,95^2} \right]}{\left[\frac{1}{0,6^2} \right]} \right\} \cdot 0,12 \cdot 100\% = 7,2\%$$

Дар натиҷа муайян карда шуд, ки дар мисоли овардашуда истеъмоли иқтидори активӣ ба 7,2% кам гашт.

Дигар роҳи сарфаи нерӯи барқ дар корхонаҳои соҳаи бофанда ин ворид намудани ҳаракатоварҳои электрикии басомадӣ буда метавонад. Дар чунин ҳаракатоварҳои электрикӣ танзими ҳаракатовар бо воситаи табдилдиҳандаҳои басомадӣ иҷро карда мешавад [1]. Шартҳои муҳими сарфаи нерӯи барқ дар чунин роҳ, ин тағйирёбанда будани сарбории истеъмолкунандаи ҳаракатоварҳои электрикӣ мебошад [4]. Дар ҳолати доимӣ будани сарборӣ самараи сарфаи нерӯи барқ кам мешавад. Аз тадқиқоти олимони соҳа маълум аст, ки бо танзими басомадӣ дар ҳаракатоварҳои электрикӣ то 40% нерӯи барқ сарфа намудан мумкин аст. Дигар тарафи беҳбудии ин роҳ дар он аст, ки модомки истифодаи табдилдиҳандаи басомадӣ, равандҳои гузарандаи ҳаракатоварҳои электрикӣ мунтазам ва беҳтар мегарданд. Ин ҳолат дар навбати худ ба калоншавии захираи техникӣ ва баландшавии эътимоднокии қисмҳои ҳаракатоварҳои электрикии мошинҳо оварда мерасонад [5]. Барои таҳқиқи равандҳои гузаранда дар ҳаракатовари электрикии мошинҳои ресанда модели компютери он коркард карда шуд (ниг. ба расми 2).

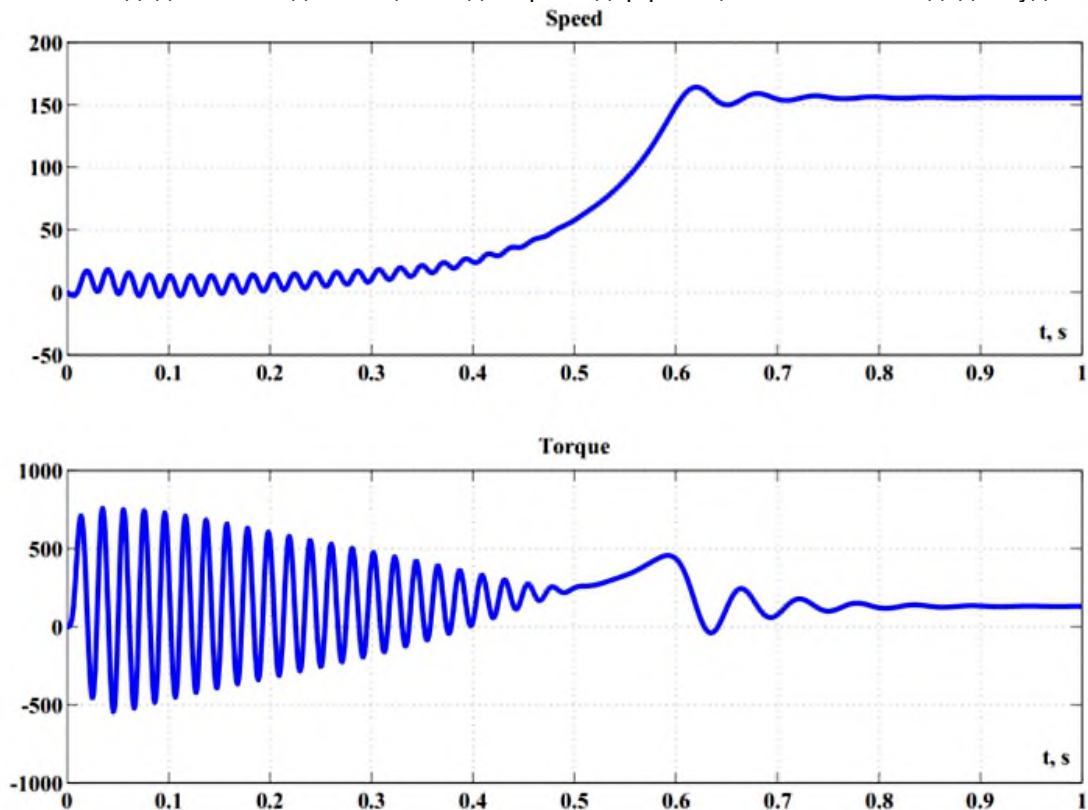


Расми 2 – Модели компютери ҳаракатовари электрикии мошинаи ресанда

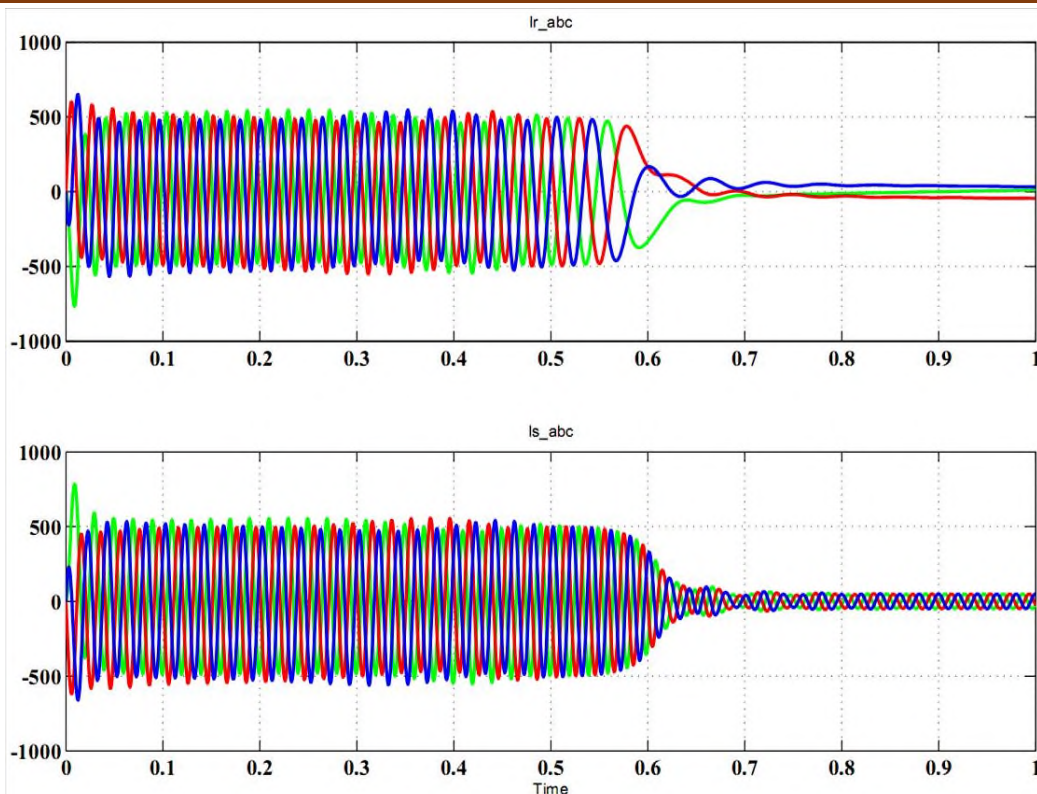
Модели компютерӣ дар барномаи амалии MATLAB коркард карда шудааст [6, 7, 8]. Дар модел муҳаррики асинхронии навъи 4A180M4 истифода шудааст, ки он чунин маълумоти техникӣ дорад: иқтидори номиналӣ 30 кВт, ҷараёни номиналӣ 56 А, суръати кунҷӣ 153,9 рад/с, коэффитсиенти иқтидор 0,9 ва коэффитсиенти кори фойданок 0,91.

Натиҷа ва муҳокима

Натиҷаи моделиронии компютерӣ одатан бо графикҳо ва ё характеристикаҳои бузургӣҳои ҳаракатовари электрикӣ нишон дода мешавад. Дар мисоли мо ҳам натиҷаи моделиронии компютерӣ бо графикҳои равандҳои гузарандаи бузургӣҳои асосии ҳаракатовари электрикӣ дар вақти корандозии мустақим нишон дода мешавад. Натиҷаи моделиронӣ дар расмҳои 3 ва 4 нишон дода шудааст.



Расми 3 – Графикҳои тағйирёбии суръати кунҷӣ ва momenti электромагнитии муҳаррики асинхронӣ дар вақти корандозии мустақим



Расми 4 – Графикҳои ҷараёнҳои симпечи ротор ва статори муҳаррики асинхронӣ дар вақти корандозии мустақим

Натиҷаҳои моделиронӣ нишон медиҳад, ки равандҳои гузаранда ҳам дар бузургҳои механикӣ ва ҳам дар бузургҳои электрикӣ ҳаракатовари электрикӣ мошинҳои ресанда мураккаб мегузаранд. Хатари калон ба қисмҳои ҷараёнгузар аз тарафи ҷараёнҳои корандози симпечҳои муҳаррики асинхронӣ дида мешавад, ки қимати он тақрибан 6-7 маротиба аз қимати номиналӣ калон аст. Барои бартараф кардани чунин равандҳои гузаранда аз воситаҳои мунтазамгардонии он истифода бурдан мумкин аст, яъне корандозӣ бо табдилдиҳандаҳои нимқоил, автотрансформаторҳо ва ғайраҳо.

Хулоса

Таҳлилҳо нишон доданд, ки масъалаи сарфаи нерӯи барқ дар корхонаҳои соҳаи бофанда муҳимияти хоса дорад ва бе аҳамиятӣ ба он ба талафи калон нерӯи барқ ва хароҷоти молиявӣ назаррас оварда мерасонад. Барои сарфаҷӯии нерӯи барқ дар чунин коргоҳҳо ду роҳи амалӣ шаванда пешниҳод гардид. Ҳар ду роҳи пешниҳод гашта ба талаботи замони муосир ҷавобгӯ аст ва онҳо дар давлатҳои хориҷа дар ҳар соҳаҳои саноат ҷорӣ шуда истодаанд. Дар давлати мо ҳоло ба ин гуна роҳҳои сарфаи нерӯи барқ диққати зарурӣ дода намешавад.

Натиҷаи тадқиқот: Мувофиқи тадқиқот маълум гашт, ки барои сарфаи нерӯи барқ дар системаи таъминоти барқи корхонаҳои соҳаи бофанда, воридкунии ҷубронкунакҳои иқтидори реактивӣ роҳи самаранок шуда метавонад ва бо ҳисоби миёна 5-15% сарфаи нерӯи барқро ба даст овардан мумкин аст. Барои сарфаи нерӯи барқ дар ҳаракатоварҳои электрикӣ дастгоҳҳои соҳаи бофанда бошад, ворид намудани системаҳои идораи басомадӣ бо табдилдиҳандаҳои басомад ва муҳаррикҳои асинхронӣ мақсаднок аст. Бояд қайд кард, ки аз ҳисоби диапазони танзими суръати ҳаракатоварҳои дастгоҳҳои бофанда паст будан, танзими басомадии скалярӣ тавсия дода мешавад. Танзими басомадии векторӣ ба диапазонҳои танзими баланд тавсия додан мумкин аст. Бояд қайд кард, ки роҳҳои пешниҳод гардида гуногун бошанд ҳам, вале онҳоро дар якҷоягӣ ҷорӣ намудан мумкин аст. Дар ин ҳолат сарфаи нерӯи барқ боз ҳам назаррас афзун мегардад.

Муҳаррир: Шамсиев Ғ.М. – н.и.т., дотсенти қабдрави таъминоти барқи Донишгоҳи кӯҳии металлургии Поҷиқистон

Адабиёт

1. Каримов, И. Р. К вопросу компьютерного моделирования электропривода кольцевых прядильных машин / И. Р. Каримов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 373-380. – EDN YVPCSB.
2. Вохидов, А. Д. К вопросу о задачах повышения надежности системы электроснабжения насосной станции первого подъема / А. Д. Вохидов, Ш. Т. Дадабаев, Ф. М. Разоков // Надежность. – 2016. – Т. 16, № 4(59). – С. 36-39. – EDN YU1HKZ.

3. Разоков, А. Р. Постановка задачи по оптимизации работы текстильного электрооборудования при жарком климате / А. Р. Разоков, Ш. Дадобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2012. – № 11. – С. 58-59. – EDN RKQGSR.
4. Тошходжаева, М. И. Моделирование и Сравнение основных параметров электроэнергетической системы в нормальном и аварийном режимах с помощью прикладной программы Матлаб / М. И. Тошходжаева, И. Р. Каримов, Е. И. Грачева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13, № 4(52). – С. 113-122. – EDN EHDGDU.
5. Каримов, И. Р. Компьютерное моделирование регулируемого электропривода переменного тока с частотным скалярным управлением / И. Р. Каримов, Ш. Т. Дадабаев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 2(62). – С. 6-12. – EDN OXBGZQ.
6. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА. Век, 2008. 368 с.
7. Dadabaev S.T., Islomovna T.M., Saidulloevna M.D. [Modeling of starting transition processes of asynchronous motors with reduced voltage of the supply network](#). *European Journal of Electrical Engineering*. 2020. Т. 22. № 1. С. 23-28.
8. Алиев, Д. С. Применение энергоэффективных машин переменного тока / Д. С. Алиев, Д. С. Джураев // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : материалы I Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 16–17 ноября 2017 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2017. – С. 11-15. – EDN YQPZMA.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|---|--|
| Каримов Ибодкул Раҳимкулович | Каримов Ибодкул Раҳимкулович | Karimov Ibodkul Rahimkulovich |
| Омузгори калон | Старший преподаватель | Senior Lecturer |
| Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд | Худжандский политехнический институт ТТУ имени академика М.С. Осими | Khujand Polytechnical Institute of Tajik Technic University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: lbod_1991@mail.ru | | |

УДК: 621.311

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ГИДРОАГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

И.Х. Махмудов, Ш.М. Султонзода, Дж.С. Ахъёев

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

Техническая диагностика играет важную роль в обеспечении оптимальной работы гидроагрегатов, выявляя потенциальные неисправности на ранней стадии и обеспечивает их надёжность. Анализ методов технической диагностики и мониторинга гидроагрегатов охватывает целый ряд методик, направленных на обеспечение их эксплуатационной надёжности и эффективности. В статье выполнен анализ методов мониторинга и диагностики гидроагрегатов, включая вибрационные, акустические и тепловые. Проблема вибрации гидроагрегатов гидроэлектростанций, на которую в основном влияют колебания давления отсасывающей трубы и другие факторы во время переходного процесса, является одним из основных факторов влияющий на надёжную работу основного оборудования станции.

Ключевые слова: гидроагрегат, диагностика, мониторинг, вибрация.

ТАҲЛИЛИ УСУЛҶОИ ТАШХИС ВА МОНИТОРИНГИ ГИДРОАГРЕГАТҶОИ НБО

И.Ҳ. Маҳмудов, Ш.М. Султонзода, Ҷ.С. Аҳъёев

Ташхиси техникӣ дар таъмини кори оптималии гидроагрегатҳо, дар давраи барвақт ошкор намудани камбудии ҳатимолӣ ва таъмини эътимоднокии онҳо роли калон мебозад. Таҳлили усулҳои ташхиси техникӣ ва мониторинги гидроагрегатҳо маҷмӯи пурраи техникаро дар бар мегирад, ки ба таъмини эътимоднокии ва самаранокии кори онҳо ниғаронида шудаанд. Дар мақола усулҳои мониторинг ва ташхиси гидроагрегатҳо, аз ҷумла ларзиш, акустикӣ ва гармӣ таҳлил карда шудаанд. Проблемаи ларзиши гидроагрегатҳои станцияи электрикии обӣ, ки ба он асосан ба тағйирёбии фишори кубур ва дигар омилҳо дар рафти процесси гузариш таъсир мерасонад, яке аз омилҳои асосие мебошад, ки ба кори боэътимоди таҷхизоти асосии станция таъсир мерасонад.

Калимаҳои калидӣ: гидроагрегат, ташхис, мониторинг, ларзиш.

ANALYSIS OF METHODS OF DIAGNOSTICS AND MONITORING OF HYDROELECTRIC UNITS OF HPP

I.H. Mahmudov, Sh.M. Sultonzoda, J.S. Ahyoev

Technical diagnostics plays an important role in ensuring optimal operation of hydro units by detecting potential faults at an early stage and ensuring their reliability. The analysis of methods of technical diagnostics and monitoring of hydro units covers a number of techniques aimed at ensuring their operational reliability and efficiency. The article analyzes the methods of monitoring and diagnostics of hydro units, including vibration, acoustic and thermal. The problem of vibration of hydro units of hydroelectric power plants, which is mainly affected by pressure fluctuations of the suction pipe and other factors during the transition process, is one of the main factors affecting the reliable operation of the main equipment of the plant.

Keywords: hydroelectric unit, diagnostics, monitoring, vibration.

Введение

Гидроэлектростанции (ГЭС) являются неотъемлемой частью генерирующих мощностей в составе электроэнергетической системы Республики Таджикистан вырабатывая почти 98% электроэнергии в стране [1]. На сегодняшний день на гидроэлектростанциях в основном установленных на реках Вахш, Сырдарья, Варзоб и Гунд эксплуатируются около 55 гидроагрегатов большой с средней мощности (более 1 МВт). ГЭС в энергосистеме поддерживают устойчивую работу энергосистемы, так как они имеют высокую манёвренность. Гидроагрегаты являются основными элементами гидроэлектростанций, обеспечивающими преобразование энергии воды в электрическую энергию. Надёжная и бесперебойная работа гидроагрегатов напрямую влияет на эффективность производства электроэнергии и стабильность энергосистемы. Сложные условия эксплуатации, такие как колебания гидравлического давления, износ механических частей, кавитация, тепловые нагрузки и вибрации, требуют тщательного контроля и своевременной диагностики.

Эксплуатация гидроагрегата по фактическому состоянию позволяет повысить его эффективность, уменьшить объёмы обслуживания и ремонтов, снизить риски, связанные с аварией и отказов [2]. Определение дефектов на ранней стадии развития позволяет обеспечить высокий коэффициент готовности, сокращает время простоя, снижает затраты на ремонты, продлевает срок службы основного оборудования, а также предотвращает аварийные ситуации.

Основные проблемы диагностики и мониторинга гидроагрегатов

Мониторинг технического состояния — это диагностика основных параметров оборудования, на непрерывно примыкающих интервалах времени, в течении которого состояние оборудования существенно не меняется. Мониторинг технического состояния оборудования позволяет своевременно обнаруживать возникновение дефектов и неисправностей и принять оперативные меры по восстановлению нормального технического состояния оборудования или приостановить развитие неисправностей в нем.

Системы непрерывного контроля и диагностики создавались для увеличения срока работы гидрогенераторов за счёт непрерывного мониторинга ряда параметров генераторов, анализа считываемой с датчиков системы информации, раннего диагностирования неисправностей, выдачи

рекомендаций техническому персоналу, направленных на корректировку режима и выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Диагностическая система контролирует:

- параметры электрического режима;
- тепловое состояние гидроагрегата;
- вибрации корпусов подшипников;
- время срабатывания исполнительных механизмов при пуске и останове агрегата и другие параметры.

Эффективность диагностики технического состояния гидроагрегатов повышается при разработке новых и совершенствовании существующих методов и средств обнаружения дефектов [3]. В настоящее время важнейшими из таких признаков являются местные нагревы и вибрации, а также частичные разряды в изоляции обмоток статора гидрогенераторов [4], [5].

Техническая система является работоспособной, если она обеспечивает работу гидроагрегата с нормативными (паспортными) параметрами. Состояние отдельных элементов технической системы определяется их соответствием паспортным данным, технической документации и нормативными документами [6].

Система мониторинга состояния может быть основана на системе контроля и сбора данных (SCADA) [7]. Проблема использования SCADA в качестве источника данных заключается в том, что данные обычно собираются в течение интервала времени в несколько минут, что не подходит для некоторых традиционных методов мониторинга состояния машины, таких как спектральный анализ [8].

Последние тенденции исследований и разработок сосредоточены не только на мониторинге состояния, но и на идентификации и диагностике неисправностей с использованием методов интеллектуального анализа данных из-за доступности большого объема полученных данных. Интеллектуальный анализ данных – это вычислительный процесс обнаружения закономерностей в больших наборах данных, включающий методы на стыке искусственного интеллекта, машинного обучения, статистики и систем баз данных. Методы интеллектуального анализа данных были успешно применены к энергосистемам, для обнаружения отработанных деталей и для обнаружения неисправностей асинхронных двигателей [9]. Структура технической диагностики приведена на рисунке 1.

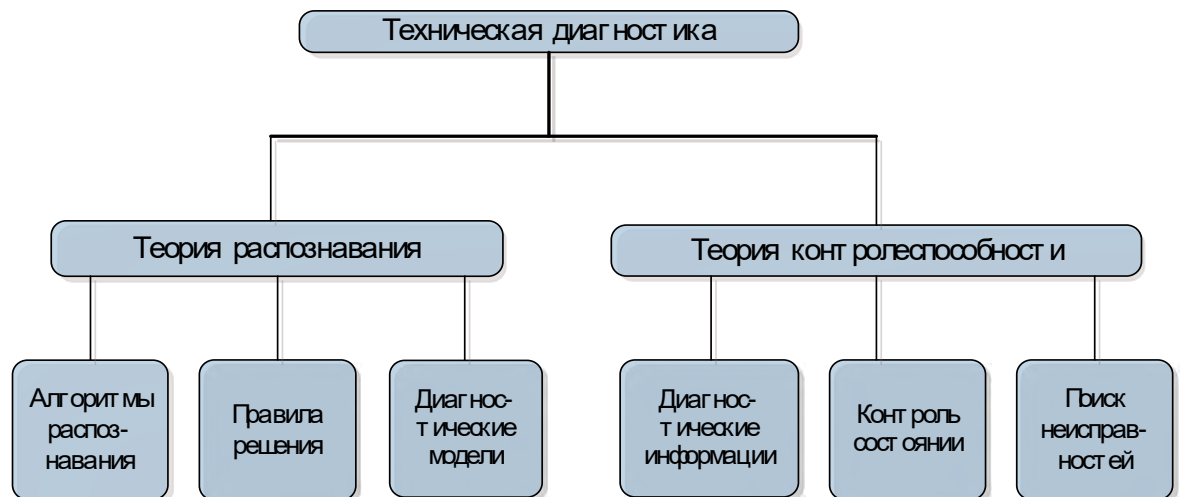


Рисунок 1 – Структура технической диагностики

При диагностике и мониторинге гидроагрегатов появляются некоторые сложности, такие как:

- Масштаб и габариты оборудования: многотонные роторы, лопастные системы и обмотки требуют комплексного подхода к контролю.
- Труднодоступные места: многие дефекты возникают в местах, недоступных для визуального осмотра.
- Многофакторность: механические, гидравлические, термические и электрические воздействия взаимодействуют между собой, усложняя диагностику.
- Кавитация: гидравлические аномалии приводят к эрозии лопастей, что требует раннего обнаружения.
- Сложность обработки больших данных: мониторинг требует сбора и анализа больших объемов информации [10].

Современные методы диагностики и мониторинга гидроагрегатов позволяют выявлять аномалии на ранних стадиях, прогнозировать развитие дефектов и оптимизировать техническое обслуживание. Техническая диагностика гидроагрегата определяет признаки дефектов оборудования основываясь на различные принципы, методы и средства, при помощи которых устанавливается диагноз. На основании диагностических данных делается заключение о сущности, характере, объемах дефектов и их местонахождении. Расположение датчиков для технической диагностики на примере вертикального гидроагрегата с поворотной-лопастным рабочим колесом представлен на рисунке 2.

Вибрационная диагностика является одним из наиболее распространенных методов мониторинга гидроагрегатов. Она основана на измерении и анализе параметров вибрации (амплитуда, частота, спектр).

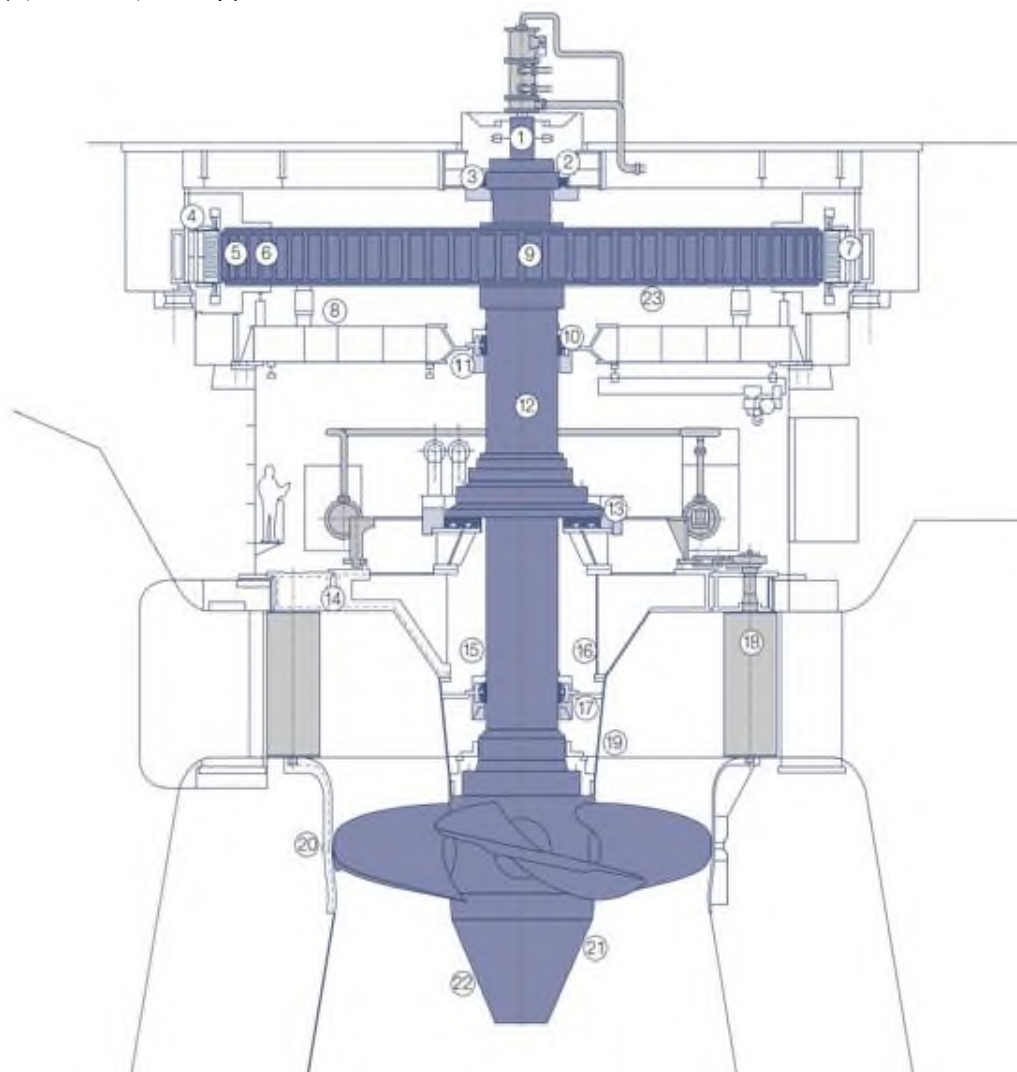


Рисунок 2 - Расположение датчиков в вертикальном гидроагрегате

1. Клавишный фазоинвертор; 2. Абсолютная вибрация подшипников; 3. Относительная вибрация вала; 4. Вибрация концевой обмотки статора; 5. Воздушный зазор; 6. Магнитный поток; 7. Вибрация сердечника статора; 8. Контроль температуры генератора; 9. Частичный разряд; 10. Абсолютная вибрация подшипников; 11. Относительная вибрация вала; 12. Контроль тока вала; 13. Осевая вибрация / перемещение и толщина масляной пленки; 14. Вибрация крышки турбины; 15. Контроль температуры турбины; 16. Относительная вибрация вала; 17. Абсолютная вибрация подшипников; 18. Вибрация калитки; 19. Лабиринтная щель; 20. Зазор между бегунками (Карпан); 21. Контроль кавитации; 22. Давление; 23. Мониторинг озона;

Методы вибрационной диагностики

Мониторинг вибрации гидроагрегатов является важным параметром для поддержания их нормального технического состояния в период эксплуатации [11]. Информация о вибрационном состоянии агрегата должна дополняться применением и других методов неразрушающего контроля, включая мониторинг температурного и электромагнитного состояния, контроль параметров смазки, параметров рабочего процесса машины и др. [2].

Эксплуатационный контроль вибрационного состояния гидроагрегата осуществляется в виде вибрационных испытаний, наблюдений за уровнем вибрации и осмотров основных узлов.

Вибрационное состояние гидроагрегата определяется по результатам измерения вибрации конструктивных узлов при наблюдениях и испытаниях с учетом результатов осмотров и определения механических характеристик. Измерение вибрации гидроагрегата, а также осмотр конструктивных узлов и лобовых частей обмотки статора должны проводиться до и после каждого капитального ремонта. Одним из основных направлений исследований для гидроагрегата и его опорной конструкции является исследование характеристик вибрации под действием различных гидравлических, механических и электрических возмущений с целью эффективной и надежной работы агрегата [12].

В установившемся режиме работы механические силы могут быть вызваны неуравновешенностью вращающихся масс, упругостью вала, трением при задевании вращающихся частей, сухим трением в подшипниках, внутренним трением металла; гидравлические силы – неравномерным распределением скоростей потока воды, вихреобразованием в камере рабочего колеса, кавитационными явлениями в турбине, гидравлическим небалансом рабочего колеса; электрические силы – периодической составляющей магнитного тяжения, неравномерностью воздушного зазора генератора, несимметричной нагрузкой и т.д. [13].

Повышение уровня вибрации не только является следствием изменения эксплуатационного состояния или наличия дефекта, но может стать и причиной возникновения иного дефекта или повреждения, вызвать электрические, тепловые и другие процессы, приводящие к аварии. Например, повышенная вибрация сердечника статора вызывает ослабления крепления пазовых и лобовых частей обмотки статора, механические повреждения и пробой их изоляции, повреждение узлов крепления сердечника, коррозию стальных конструкций статора, усиление вихревых токов и местные нагревы сердечника статора.

Источниками вибрации гидроагрегатов являются переменные составляющие возмущений, вызванных механическими, гидравлическими и электрическими силами и моментами, действующими на работающей гидроагрегат. В большинстве случаев вибрация имеет периодический характер при установившихся режимах и непериодический – при переходных режимах работы гидроагрегата. На рисунке 3 приведены возмущающие силы, вызывающие вибрацию гидроагрегата.



Рисунок 3 – Силы, вызывающие вибрацию гидроагрегата

Определение вибрационного состояния гидроагрегата осуществляется путем измерения вибрации его опорных конструкций, биения вала и вибрации стальных конструкций и лобовых частей обмоток статора, которые должны подвергаться также тщательному осмотру [6].

Основные аспекты вибрационной диагностики — это контроль состояния подшипников основывается на анализе уровня вибрации: его увеличение часто свидетельствует об износе подшипников и необходимости их замены. Низкочастотные вибрации могут указывать на статический или динамический дисбаланс ротора, связанный с неравномерным распределением массы или механическими деформациями [14]. Кроме того, разрегулировка креплений статора или турбинной

камеры приводит к появлению высокочастотных колебаний, что может быть сигналом ослабления конструкции или износа соединений.

Технологии применяемые при вибродиагностике:

- Датчики вибрации (пьезоэлектрические, MEMS).
- Спектральный анализ с использованием быстрого преобразования Фурье.
- Модели анализа вибрации на основе временных рядов.

Спектральный анализ с использованием быстрого преобразования Фурье

Спектральный анализ является важнейшим инструментом для диагностики и мониторинга сложных технических систем, включая гидроагрегаты. Одним из наиболее эффективных и распространённых методов спектрального анализа является быстрое преобразование Фурье (FFT) — математический алгоритм, позволяющий эффективно выполнять разложение сигнала на частотные компоненты. FFT позволяет выявить спектральный состав сигналов вибрации, шума, давления и других параметров оборудования в реальном времени. В диагностике гидроагрегатов FFT помогает:

- определить частоту вибраций и их амплитуды;
- идентифицировать источники неисправностей (дисбаланс, износ подшипников, кавитацию и резонансные явления);
- анализировать сигнал для обнаружения скрытых дефектов на ранних стадиях.

Математический принцип преобразования Фурье

Для получения спектральной характеристики сигнала биений используют различные математические алгоритмы, в основе которых лежит преобразование Фурье. В качестве метода вычисления спектра сигнала биений, соответствующего зазору между датчиком и валом гидроагрегата при реализации алгоритма вычислений амплитуд и начальных фаз гармонических составляющих, целесообразно использовать дискретное преобразование Фурье [15].

Вычисление амплитуд и фазовых сдвигов гармонических составляющих биений вала может быть выполнено по следующему алгоритму.

1. Расчет сигналов биений вала на заранее заданном интервале времени $[0; T_{расч}]$,

$$[T_{расч} > 2T_{об}].$$

2. Разложение каждого из рассчитанных сигналов биений в ряд Фурье на интервале $[T_{расч} - T_{об}; T_{расч}]$.

- a. Определение амплитуд гармонических составляющих сигнала биений.
 - b. Определение фаз гармонических составляющих сигнала биений.
3. Прибавление к фазам гармонических составляющих соответствующих фаз запаздывания.

Преобразование Фурье позволяет разложить сигнал $x(t)$ в заданной временной области, на сумму синусоидальных сигналов с различными частотами и амплитудами.

Формула для непрерывного преобразования Фурье:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

где:

- $X(f)$ — спектр сигнала;
- $x(t)$ — исходный сигнал;
- f — частота;
- $e^{-j2\pi ft}$ — гармоническая функция.

Для дискретных сигналов преобразование Фурье (DFT) принимает вид:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j(2\pi kn/N)},$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

где:

- $X[k]$ — спектральные компоненты сигнала;
- $x[n]$ — отсчеты исходного сигнала;
- N — количество точек данных;
- k — индекс частоты.

Принцип работы FFT основан на алгоритме «разделяй и властвуй», который позволяет значительно сократить объем вычислений. Сигнал делится на четные и нечетные компоненты, каждая из которых обрабатывается с помощью рекурсивного вычисления дискретного преобразования Фурье (DFT). Затем результаты объединяются с учетом симметрии и периодичности гармонических функций, что позволяет эффективно получить полный спектр сигнала с минимальными затратами ресурсов.

Формула для FFT:

$$X[k] = X_{чет}[k] + W_{нечет}[k],$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

Где $W_N^k = e^{-j(2\pi kn/N)}$ – весовой коэффициент (базисная гармоника).

Цифровые сигналы с датчиков сначала проходят этап предварительной обработки, включающий удаление смещения и шума, а также применение оконных функций для минимизации утечки спектра и повышения точности анализа. Затем сигнал разделяется на четные и нечетные компоненты, каждая из которых анализируется с помощью дискретного преобразования Фурье. Объединяя результаты подгрупп, система формирует полный спектр сигнала, чтобы выявить его частотные характеристики и определить потенциальные аномалии или дефекты.

DFT широко используется для анализа вибрационных сигналов и шумов в гидравлических силовых установках:

1. Диагностика дисбаланса ротора - частота вибрации соответствует частоте вращения агрегата.
2. Контроль износа подшипников - появление гармоник и высокочастотных составляющих свидетельствует об износе.
3. Обнаружение кавитации - кавитация проявляется как высокочастотный шум в спектре сигнала давления или вибрации.

Таким образом спектральный анализ на основе быстрого преобразования Фурье является эффективным инструментом для диагностики гидроагрегатов. Он позволяет анализировать вибрации, шумы и давление, выявляя дефекты на ранних стадиях. В сочетании с современными методами обработки сигналов FFT значительно повышает точность и надежность мониторинга оборудования.

Акустические методы диагностики

Акустическая диагностика основана на анализе ультразвуковых и инфразвуковых сигналов, возникающих при эксплуатации гидроагрегатов.

Ультразвуковые датчики работают на основе генерации и приема высокочастотных акустических волн (от 20 кГц до нескольких МГц). Эти волны распространяются через среду (воду или металл) и отражаются от дефектных поверхностей, таких как микротрещины, кавитационные пузырьки или эрозионные повреждения. При схлопывании кавитационных пузырьков возникают высокочастотные импульсы, которые регистрируются датчиками. Ультразвуковые волны отражаются от трещин или неровностей на поверхности лопатки, что позволяет определить их положение.

Кавитация и микродефекты на лопастях турбин являются серьезной проблемой при эксплуатации гидроагрегатов. Они могут привести к износу турбины, повышенным вибрациям и снижению КПД. Ультразвуковые датчики позволяют обнаружить кавитационные явления и микротрещины на ранних стадиях, что помогает провести профилактический ремонт до возникновения серьезных повреждений [16].

Акустический метод имеет ряд преимуществ при мониторинге и диагностике гидроагрегатов. Метод очень чувствительный, позволяет осуществлять непрерывный динамический мониторинг и может адаптироваться к сложным условиям, что делает ее эффективным для обнаружения неисправностей.

Тепловая диагностика и мониторинг температуры

Тепловая диагностика и контроль температуры являются одним из основных параметров при оценке технического состояния гидроагрегатов. Они помогают обнаружить перегрев и другие температурные отклонения, которые могут указывать на потенциальные неисправности. Основная суть мониторинга заключается в измерении температуры важных элементов, таких как подшипники, обмотки статора и ротора, а также системы охлаждения и смазки. Температурные сенсоры, включая термопары и инфракрасные датчики, обеспечивают сбор данных в режиме реального времени.

Увеличение температуры обмотки статора может указывать на проблемы в системе охлаждения или начальную стадию межвиткового замыкания. Повышение температуры подшипников часто возникает из-за отсутствия необходимого количества смазки или их износа, тогда как рост температуры в системе смазки может быть следствием загрязненного масла. Применение тепловизионной диагностики наряду с контролем температуры предоставляет возможность

визуализировать теплоотдачу на поверхности оборудования. Оно содействует выявлению локальных перегретых участков, которые не всегда могут быть замечены стандартными точечными датчиками.

Современные температурные системы отслеживания сочетают в себе алгоритмы прогнозирования, которые играют важную роль при выявлении потенциальных неисправностей и организации планового обслуживания. Таким образом тепловая диагностика обеспечивает стабильную работу оборудования, снижая риск аварий и уменьшив затраты на незапланированные ремонты.

Электромагнитные методы диагностики

Электромагнитные методы диагностики являются одним из важных при обеспечении надежной работы гидроагрегатов. Они позволяют осуществлять непрерывный контроль состояния важных электрических компонентов, таких как обмотки статора и ротора, силовые кабели, системы возбуждения и трансформаторы и др. Диагностика осуществляется путем: измерения тока и напряжения на выводах генератора, трансформаторов и силовых кабелей, которые позволяют обнаружить асимметрии, гармоники и другие искажения, указывающие на наличие межвитковых замыканий, обрывов проводов или неисправности в соединениях. В основе этих методов лежит принцип анализа электромагнитного поля, генерируемого электрооборудованием в процессе работы. Отклонения от нормальных параметров поля свидетельствуют о наличии дефектов, которые могут привести к серьезным авариям и длительным простоям. Преимущество этих методов заключается в возможности проведения диагностики в режиме реального времени, без необходимости отключения оборудования.

Современные системы электромагнитной диагностики выходят далеко за рамки простого измерения параметров, используя мощные алгоритмы машинного обучения, в том числе нейронные сети, для интерпретации полученных данных и прогнозирования потенциальных отказов. В основе электромагнитных методов лежат принципы измерения и анализа электромагнитного поля, генерируемого работающим агрегатом.

Применение интеллектуальных систем в диагностике

В последние годы диагностические методы на основе машинного обучения позволили значительно повысить точность диагностики гидроагрегатов. Такие методы, как искусственные нейронные сети (ANN), методы случайного леса (RF) и машины опорных векторов (SVM), широко используются при технической диагностике неисправностей агрегатов.

Нейронная сеть — это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. Распознавание дефекта — самое широкое применение нейронных сетей; определяет «слабое» место всей системы. Нейрон — вычислительная единица, получающая информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Они делятся на три основных типа: входной-синий, скрытый-красный и выходной-зеленый (рисунок 4). Температура — параметр, динамика изменения которого позволяет выполнить прогноз ухудшения состояния тех или иных элементов трансформатора и оценить состояние оборудования в целом.

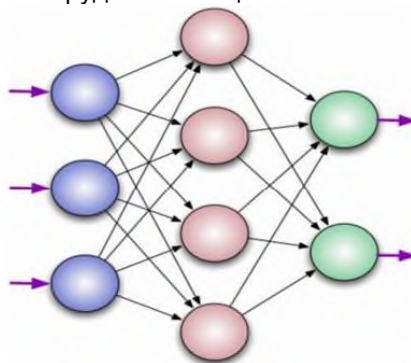


Рисунок 4 – Основные типы нейронов

Программа мониторинга состояния гидроагрегата ГЭС основана на анализе измерительных данных, полученных в переходных процессах. Техническое состояние гидроагрегата может определяться на основе нескольких рассчитываемых параметров состояния. Динамика вращательного движения турбины описывается известным дифференциальным уравнением:

$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{BP}(t) - M_C(t),$$

где J — момент инерции вращающихся деталей гидрогенератора; $\omega(t)$ — угловая скорость вращения турбины, вала и ротора гидрогенератора; $M_{BP}(t)$ — вращающий момент гидротурбины; $M_C(t)$ — момент сил сопротивления гидрогенератора.

В общем случае вращающий момент $M_{BP}(t)$ гидротурбины представляется полиномом степени m относительно объемного расхода $Y(t)$ воды, протекающей через турбину:

$$M_{BP}(t) = k_m \cdot Y^m(t) + k_{m-1} \cdot Y^{m-1}(t) + \dots + k_2 \cdot Y^2(t) + k_1 \cdot Y(t)$$

Момент сил сопротивления $M_C(t)$ вращающихся деталей гидрогенератора представим в полиномиальной степени относительно угловой скорости вращения:

$$M_C(t) = x_n \cdot \omega^n(t) + x_{n-1} \cdot \omega^{n-1}(t) + \dots + x_2 \cdot \omega^2(t) + x_1 \cdot \omega(t) + x_0$$

x_1, x_2, \dots, x_n – коэффициенты динамического сопротивления гидрогенератора.

x_0 – момент трогания гидротурбины и соединённого с ней ротора генератора.

С целью исключения из уравнения динамики момента инерции выполняется нормировка параметров математической модели гидрогенератора:

$$k^* = \frac{k}{J} \quad x^* = \frac{x}{J}$$

Идентификация параметров состояния гидрогенератора:

Параметры состояния гидрогенератора $k_1^*, k_2^*, \dots, k_m^*$ и $x_0^*, x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ вычисляются в результате минимизации функции:

$$F(k_1^*, k_2^*, \dots, k_m^*; x_0^*, x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \sum_{p=1}^{q-1} \left(\frac{\omega_{p+1} - \omega_{p-1}}{t_{p+1} - t_{p-1}} - (k_m^* \cdot Y_p^m + k_{m-1}^* \cdot Y_p^{m-1} + \dots + k_2^* \cdot Y_p^2 + k_1^* \cdot Y_p + x_n^* \cdot \omega_p^* + x_{n-1}^* \cdot \omega_p^{n-1} + \dots + x_2^* \cdot \omega_p^2 + x_1^* \cdot \omega_p + x_0^*) \right)^2$$

Минимизация функции $F(k_1^*, k_2^*, \dots, k_m^*; x_0^*, x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ осуществляется методом Левенберга-Марквардта.

В результате минимизации можно определить значения k^* и x^* , свойственные каждому гидрогенератору.

Основные преимущества использования нейронных сетей в диагностике гидроагрегатов является: выявление скрытых дефектов, обработка больших объемов информации, прогнозирование неисправностей, автоматизация диагностики.

Нейронные сети позволяют свести к минимуму участие человека в процессе диагностики. Автоматизированные системы анализа данных, основанные на нейронных сетях, обеспечивают более быструю интерпретацию данных и принятие решений.

Диагностику и мониторинга гидроагрегатов можно совершенствовать, следующими путями:

1. Комбинировать различные диагностические инструменты, такие как: вибрационные, тепловые, акустические и электрические, что позволяет получить более полную информацию о состоянии гидроагрегата.

2. Внедряйте системы на основе методов машинного обучения, которые помогут моделировать режимы работы оборудования и прогнозировать его поведение, предсказывать возможные неисправности на ранней стадии. Это позволит избежать серьезных проблем и сохранить работоспособность гидроагрегатов.

Эти технологии позволяют не только выявлять текущие неисправности, оборудования, но и прогнозировать их развитие, что значительно снижает вероятность аварий, обеспечивает своевременное техническое обслуживание и продлить их срок службы.

Заключение

Таким образом, анализ методов мониторинга и диагностики гидроагрегатов показал, что для обеспечения надёжной работы оборудования необходим комплексный подход, который объединяет традиционные и современные технологии. Каждая группа методов, такие как, вибрационные, акустические, тепловые и электромагнитные - имеют свои преимущества и ограничения в применении. Однако их сочетание позволяет создавать системы, которые обеспечивают максимальную точность диагностики и прогнозирования. Анализ систем виброконтроля и диагностирования гидроагрегатов позволяют контролировать текущее состояние гидроагрегата, а некоторые позволяют осуществлять мониторинг. Полная оценка вибрационного состояния гидроагрегата осуществляется по измеренным вибрациям опорных конструкций гидроагрегата, биениям вала, вибрациям стальных конструкций и лобовых частей обмоток статора.

Существующие методы диагностики требуют постоянного обновления и адаптации к возрастающим требованиям энергетической системы. Среди ключевых направлений развития можно выделить повышение точности диагностических систем, снижение количества ложных срабатываний, а также внедрение беспроводных датчиков и автоматизацию процесса интерпретации данных.

Внедрение интеллектуальных систем мониторинга и диагностики способствует увеличению срока службы гидроагрегатов, повышению их надежности и эффективности. Эти технологии не только предотвращают внеплановые простои, но и снижают затраты на обслуживание, что является крайне важным для устойчивого развития гидроэнергетики.

Можно отметить, что будущее диагностики и мониторинга гидроагрегатов лежит в интеграции современных технологий, автоматизации процессов и переходе на интеллектуальные системы управления, что позволяет обеспечить высокий уровень надежности и безопасности работы гидроагрегатов, которые, в свою очередь, будут способствовать стабильному и надежному функционированию всей энергетической системы.

Рецензент: Джураев Ш.Дж. — к.т.н., ст. преподаватель кафедры электроэнергетики ДФ НМУ "МЭИ"

Литература

1. Анализ режимов работы водохранилищ гидроэлектростанций работающих в каскаде / М.Ш. Раджабов, Х.И. Усмонов, Ш.М. Султонов У.У. Қосимов // Политехнический вестник. Серия: Серия Инженерные исследования. №4 (60), 2022. –Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими 2022. pp. 52-58.
2. Новкунский А.А. Информационно-аналитическая система оценки и прогнозирования технического состояния гидросилового оборудования ГЭС // Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15). pp. 87-92.

3. Мониторинг воздушного зазора гидроагрегатов / И.Х. Махмудов, Х.И. Усмонов, Ш.М. Султонов // Радиотехника, электротехника и энергетика: тридцатая междунар. науч.-техн. конф. Тез. Докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. – С. 1305
4. Vibration problem solution of high-capacity hydropower units / Khalyasmaa A.I., Sultonov S.M., Ahyoev J.S., Bahovadinov A.H. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 4th International Conference on Reliability Engineering (ICRE 2019), // Volume 836 (2020) 012009 (5 p), 20-22 November 2019, Rome, Italy – 5 p. DOI:10.1088/1757-899X/836/1/012009.
5. Султонов Ш.М. Анализ частичных разрядов в обмотках статора гидрогенератора при появлении влаги на её поверхности // Политехнический вестник. Серия: Серия Инженерные исследования. 2019. No. №1 (45). pp. С.76-80.
6. Гидроэлектростанции методики оценки технического состояния основного оборудования. СТО 70238424.27.140.001-2011. 2014.
7. W. Yang, R. Court, J. Jiang, Wind turbine condition monitoring by the approach of SCADA data analysis, Renewable Energy 53 (2013) 365–376.
8. Y. Yang, G. Xie, X. Xu, Y. Jiang, A monitoring system design in transmission lines based on wireless sensor networks, Energy Procedia 12 (2011) 192–199.
9. Luka Selak, Peter Butala, Alojzij Sluga. Condition monitoring and fault diagnostics for hydropower plants // Computers in Industry. 2014. pp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2014.02.006>.
10. Методические указания по оценке технического состояния основного оборудования гидроэлектростанций. Москва: ОАО «РусГидро», 2007.
11. Vibration problem solution of high-capacity hydropower units / Khalyasmaa A.I., Sultonov S.M., Ahyoev J.S., Bahovadinov A.H. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 4th International Conference on Reliability Engineering (ICRE 2019), // Volume 836 (2020) 012009 (5 p), 20-22 November 2019, Rome, Italy – 5 p.
12. Leike Zhang, Qianqian Wc, Zhenyue Md, Xueni Wang. Transient vibration analysis of unit-plant structure for hydropower station in sudden load increasing process // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. Vol. 120. No. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.10.037>. pp. 486-504.
13. Алексеев Б.А. Определение состояния (диагностика) крупных гидрогенераторов. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002.– 144 с.
14. Кузнецов Д.В., Маслов В.В., Пикульский В.А. и др. Дефекты турбогенераторов и методы их диагностики на начальной стадии появления. Электрические станции, №8, 2004
15. Белоглазов А. В., Глазырин Г. В. Автоматическая система контроля и диагно-стики гидроагрегатов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Во-стока. Новосибирск: Изд-во НГАВТ, 2009. Спец. вып. 1. С. 127–130.
16. Mamikonyants, L.G. Service life Prolongation and Reliability Increase of Long Operating Turbogenerators [Text]: CIGRE A1-211 / L.G. Mamikonyants. V.A. Pikulskiy, F.A. Polyakov // Доклад на Сессии СИГРЭ, 2006.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН –
INFORMATION ABOUT AUTHORS**

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Махмудов Илхом Хотамович Докторант PhD | Махмудов Илхом Хотамович Докторант PhD | Mahmudov Ilhom Hotamovich PhD |
| Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi |
| e.mail: imahmudov640@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо н.и.т., дотсент | Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо к.т.н., доцент | Sultonzoda (Sultonov) Sherkhon Murtazo |
| Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi |
| e.mail: sultonzoda.sh@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ахъёев Чавод Саламшоевич н.и.т., дотсент | Ахъёев Джавод Саламшоевич к.т.н., доцент | Ahyoev Javod Salamshoevich |
| Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi |
| e.mail: javod_66@mail.ru | | |

УДК 621.31(575.3)

САМАРАНОКИИ ИСТИФОДАИ ЗАХИРАҶОИ НЕРҶИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР НОҶИЯИ МУРҶОБ

А.Я. Абдурахманов, Ф.Н. Кувватов, Н.Х. Одинаев, Ф.Ҷ. Қаландаров

Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон

Дар ин мақола навъҳои манбаъҳои алтернативии энергия, афзалиятҳо ва нуқсонҳои онҳо, ҳангоми истифодаи шароити иқлимӣ ҷуғрофӣ минтақа баррасӣ мешаванд. Дар мақолаи мазкур истифодабарии манбаъҳои анъанавии энергия дар ноҳияҳои дурдасти Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ҷалби захираҳои энергия ба истилоҳ ғайрианъанавӣ (ё алтернативӣ) ба муомилоти иқтисодӣ бештар истифода бурда мешаванд, аз он ҷумла дар ноҳияи Мурғоб.

Калидвожаҳо: манбаъи алтернативии энергия, офтоб, рельеф, гидрогенератор, аҳоли, самаранокӣ, захираҳои гидроэнергетикӣ, шабакаҳои гармидиҳӣ, васли нерӯгоҳи офтобӣ, схемаи пайвасти нерӯгоҳи офтобӣ.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В МУРГАБСКОМ РАЙОНЕ

А.Я. Абдурахманов, Ф.Н. Кувватов, Н.Х. Одинаев, Ф.Ҷ. Каландаров

В данной статье рассматриваются виды альтернативных источников энергии, их преимущества и недостатки при использовании географических климатических условий региона. В данной статье использование традиционных источников энергии в отдаленных регионах Республики Таджикистан используется для привлечения к хозяйственным операциям так называемых нетрадиционных (или альтернативных) энергоресурсов, в том числе в Мургабском районе.

Ключевые слова: альтернативный источник энергии, солнце, местность, водородный генератор, население, КПД, гидроэнергетические ресурсы, тепловые сети, установка солнечной электростанции, схема подключения станции.

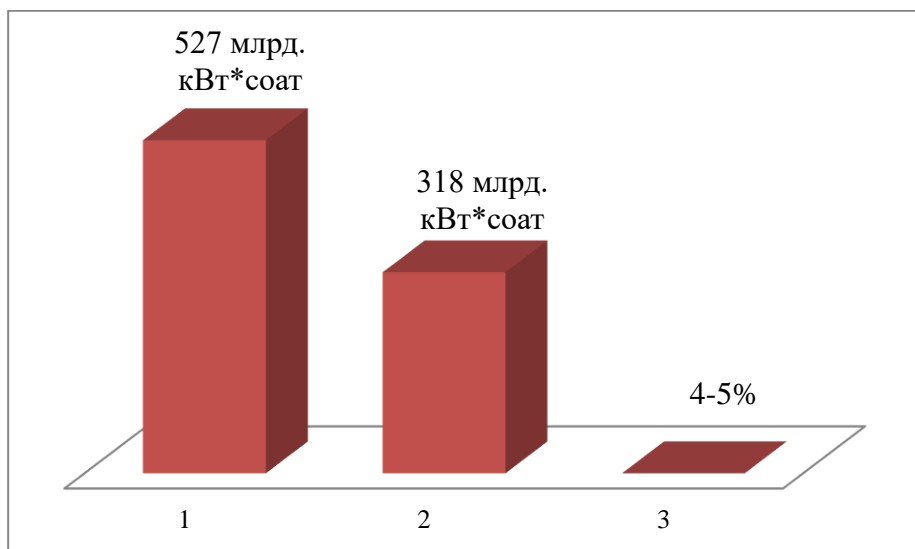
EFFICIENCY OF USE OF ELECTRIC RESOURCES IN MURGOBSKY DISTRICT

A.Ya. Abdurakhmanov, F.N. Kuvvatov, N.Kh. Odinaev, F.Kh. Kalandarov

This article discusses the types of alternative energy sources, their advantages and disadvantages when using the geographical climatic conditions of the region. In this article, the use of traditional energy sources in remote regions of the Republic of Tajikistan is used to attract so-called non-traditional (or alternative) energy resources to economic operations, including in the Murgob.

Keywords: alternative energy source, sun, terrain, hydrogen generator, population, efficiency, hydropower resources, heating networks, installation of solar power plant, connection diagram of solar power plant.

Тоҷикистон, бо захираҳои калони энергияи обии худ, солона метавонад 527 миллиард кВт·соат энергияи электрикӣ истеҳсол кунад. Аз ҷиҳати захираҳои фанӣ, ин имконияти солонаи энергияи обӣ 317 миллиард кВт·соатро ташкил медиҳад, ки аз он имконияти солонаи энергияи электрикӣ 4-5% истифода мешавад. Дар рӯйхати кишварҳои дорои бузургтарин захираҳои энергияи обӣ, Тоҷикистон ҷои 8-умро ишғол мекунад. Ба ҳисоби миёна, зиёда аз 95% энергияи электрикӣ Тоҷикистон аз манбаъҳои обӣ истеҳсол мешавад, ки ин нисбат ба талаботи Осиёи Марказӣ се баробар зиёдтар аст. Истифодаи дурусти ин захираҳо ба Тоҷикистон имкон медиҳад, ки бо энергияи арзону тоза на танҳо талаботи дохилро қонеъ созад, балки дар таъмини энергияи минтақа низ саҳм гирад.



Расми 1 – Диграмаи захираи энергетикӣ Тоҷикистон:

1-захираҳои энергияи солона; 2-имкониятҳои солонаи энергияи обӣ; 3-миқдори истифодашаванда.

Захираҳои асосии обии кишвар дар дарёҳои Вахш, Панҷ, Амударё, Сирдарё, Кофарниҳон ва Зарафшон ҷойгир шудаанд. Ин манбаъҳо имкон медиҳанд, ки иқтисоди системаи энергетикӣ Тоҷикистон ба 7000 МВт расад. Аз ин иқтисод 93,9% энергияи барқӣ Тоҷикистон аз нерӯгоҳҳои обӣ ва 6,1% аз марказҳои гармидиҳӣ ҳосил мешаванд. Ҳар сол дар Тоҷикистон истеъмоли энергия ба 20 миллиард кВт·соат мерасад, ки он низ асосан тавассути нерӯгоҳҳои барқӣ таъмин мегардад. Беш аз

98%-и энергияи истеҳсолшуда аз нерӯгоҳҳои обӣ ва аз он 93%-аш аз нерӯгоҳҳои миёна ва бузург ба даст меояд.

Баръакс, дар тобистон бо зиёд шудани ҷараёни об тавлиди неруи электрикии обӣ то 3-5 миллиард кВт•соат афзоиш меёбад. Ҳангоми истифодаи нашудани ин энергияи зиёдӣ, талафи иқтисодӣ байни 90 то 225 миллион доллар ҳисоб шудааст.

Ҷадвали 1 – Талафоти ва норасоии энергияи электрикии дар мавсимҳои сол

| Мавсим | Норасоии энергия | Афзоиши энергия | Талафоти иқтисодӣ | таъсир ба аҳолии | таъсир ба кишоварзӣ |
|----------|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| Зимистон | 2,2-2,5 млрд кВт•соат | - | - | Таъсир ба деҳоти кишвар | барзиёд талафи ҳосилот |
| Тобистон | - | 3-5 млрд кВт•соат | 90-225 млн доллар | Зарурати истифодаи изофа | Таъсири ғайримустақим |

Ҳоло дар Тоҷикистон 11 нерӯгоҳи миёна ва бузурги обӣ амал мекунад, ки асосан нерӯгоҳҳои "Норак", "Сарбанд", "Қайроққум" ва нерӯгоҳи "Роғун"-ро дар бар мегиранд. Ғайр аз ин, дар кишвар 287 нерӯгоҳи хурд бо иқтидори умумии 131 МВт фаъолият доранд. Барномаи махсуси рушди нерӯгоҳҳои хурд дар соли 2009 қабул шуда буд, ки сохтмони 189 нерӯгоҳи хурд бо иқтидори 103,6 МВт-ро дар назар дошт. Дар солҳои 2010-2011 зиёда аз 60 нерӯгоҳи хурд бо иқтидори умумии 47 МВт сохта шуд, ва ин раванд то имрӯз идома дорад.

Тибқи баҳодиҳии мутахассисон, сохтмони беш аз 900 нерӯгоҳи хурд бо иқтидори то 30 МВт дар минтақаҳои кӯҳии ҷумҳурӣ аз ҷиҳати фанӣ ва иқтисодӣ имконпазир аст, ки метавонад ниёзи 500-600 ҳазор нафарро таъмин намояд. Дар баробари ин, системаи ягонаи энергетикӣ кишвар, ки шимол ва ҷанубро пайваст мекунад, соли 2011 таъсис дода шуд. Ин имконият медиҳад, ки сокинони тамоми Тоҷикистон ба энергияи барқии обии истеҳсолшаванда дастрасӣ дошта бошанд.

Ҷадвали 2 – Маълумоти асосӣ дар бораи системаи нерӯгоҳҳои хурд ва иқтидори онҳо дар Тоҷикистон

| Нишондиҳанда | Маълумот |
|---|-----------------------------------|
| Шумораи умумии нерӯгоҳҳои хурд | 287 |
| Иқтидори умумии нерӯгоҳҳои хурд (МВт) | 131 |
| Нақшаи сохтмони нерӯгоҳҳои хурд | 189 нерӯгоҳ бо иқтидори 103,6 МВт |
| Нерӯгоҳҳои сохташуда (2010-2011) | 60 нерӯгоҳ бо иқтидори 47 МВт |
| Иқтидори потенциали барои нерӯгоҳҳои хурд (МВт) | 90 - 2700 |
| Аҳолии эҳтимолии фарогиршуда | 500 000 – 600 000 |
| Энергияи солона (кВт•соат) | 20 000 000 000 |

Дар Тоҷикистон, 98%-и нерӯи барқ аз манбаъҳои барқароршавандаи энергияи калон ва хурд, асосан об, ҳосил мешавад. Кишвар аз рӯи тавлиди "энергияи сабз" шашумин кишвари пешсафи ҷаҳон маҳсуб мешавад. Бо татбиқи лоиҳаҳои бузурги бунёди нерӯгоҳҳои обӣ, аз ҷумла "Роғун" ва таҷдиди "Норак", "Сарбанд", ва "Қайроққум", дар 7 соли оянда иқтидори энергияи Тоҷикистон 4 ҳазор МВт афзоиш хоҳад ёфт. Дар баробари ин, дар 11 моҳи ахир ҳаҷми истеҳсоли нерӯи электрикӣ нисбат ба соли 2020 853 миллион кВт•соат ё 4,3% афзоиш ёфтааст. Барои таъмин намудани рушди устувори соҳаи энергетика, лоиҳаҳои бо арзиши 16,6 миллиард сомонӣ дар марҳилаи татбиқи қарор доранд.

Тоҷикистон дорои иқлими мусоиди барои истифодаи васеи энергияи офтобӣ аст. Бо доштани 280-330 рузи офтобӣ дар як сол ва шиддати радиатсияи офтобӣ, ки дар минтақаҳои наздикуҳӣ аз 280 то 925 мегаҷоул/м² ва дар минтақаҳои кӯҳӣ аз 360 то 1120 мегаҷоул/м² дар сол мерасад, кишвар имконияти назарраси табдили энергияи офтобиро барои таъмини талаботи худ дорад [1,2].

Ба ҳисоб гирифта шудааст, ки захираи умумии энергияи офтобӣ дар Тоҷикистон дар як сол тақрибан 25 миллиард кВт/соатро ташкил медиҳад. Ин миқдор барои қонеъ кардани 10-20% талаботи энергияи Тоҷикистон кофӣ аст, аммо айни замон асосан истифодаи амалӣ надорад, ба истиснои истифодаи маҳдуди он барои гарм кардани об. Бо вучуди ин, таҳқиқотҳои охири ва лоиҳаҳои ба нақшагирифташуда нишон медиҳанд, ки сармоягузорӣ ба таҷҳизоти энергияи офтобӣ метавонад самарабахш ва иқтисодан ғоидаовар бошад, хусусан дар минтақаҳои дурдаст, ки таъминоти энергияи барқии муқаррарӣ маҳдуд аст.

Истифодаи энергияи офтобӣ дар Тоҷикистон барои таъмини энергияи тоза ва коҳиши вобастагӣ ба манбаъҳои гидроэнергетикӣ дар фаслҳои зимистон имкониятҳои назаррас фароҳам меорад. Дар солҳои охир, барномаҳо ва лоиҳаҳо барои васеъ намудани истифодаи панелҳои офтобӣ барои истифодаи рӯзмарра ва таъмини манзилҳо бо оби гарм дар кишвар дар назар дошта шудаанд.

Бодҳои аз ҳама саҳт асосан дар манотиқи кӯҳистон, бахусус дар ҷойҳои, ки пастиву баландӣ ҷараёнҳои ҳавоиро суръат мебахшад, ин суръати бод метавонад барои истихроҷи энергияи барқии бодӣ муносиб бошад. Дар вилоятҳои Суғд ва водии Рашт суръати миёнаи бод ба 5-6 метр дар як сония мерасад, ки ба талаботҳои истифодабарии таҷҳизоти бодии хурд барои барқдихӣ мувофиқ аст [3, 4].

Захираи умумии энергияи бод: Ҳарчанде, ки захираи умумии энергияи бод дар муқоиса бо захираҳои обӣ ва офтобӣ камтар аст, истифодаи он дар манотиқи мо бо суръати баланди бод метавонад талаботи энергетикӣ манзилҳо ва корхонаҳои хурдро дар манотиқи дурдасти кӯҳӣ коҳиш

диҳад. Чандин лоиҳаи пилотӣ барои истихроҷи энергияи бод дар минтақаҳои кӯҳӣ амалӣ шудааст ва натиҷаҳои мусбат ба даст оварда шудаанд.

Самаранокии гидроэнергетика баҳозорӣ карда мешавад аз рӯи маълумотҳо ва нишондодҳои захираҳо ва ба ин монанди табиӣ, инчунин бо яқчанд нишондодҳои дараҷавӣ, яъне бо равандҳои гузариши физикавӣ, техникӣ ва маишию иқтисодиашон. Дар амал се категория баҳозории нерӯгоҳҳоро истифода мебаранд:

- энергетикӣ ё ин ки захираи пурраи нерӯе, ки дарёҳо доранд;
- самаранокии навардии гидроэнергетика;

- техникӣ-қисми навардии асли ҳосилшавандае, ки ба даст оварда мешавад бо ёрии воситаҳои маълумии техникӣ.

- иқтисоди қисми самаранокии техникӣ, ки аз худ карданаш аз рӯи нишондодҳои иқтисоди беҳтаринанд ва мақсаднок мебошанд [5].

Бо ин маҷмуи ҳисоб карда мешавад, ҳамаи вазни оби ҷоришаванда барои истеҳсоли нерӯи электрикӣ (бе талафот ҳангоми тағирёбии нерӯи обӣ ба нерӯи электрикӣ).

Имрӯзҳо нерӯи офтобро барои иҷрои корҳои амалӣ бисёр ба кор мебаранд, чунки яке аз манбаҳои муҳими нерӯи энергияи барқароршаванда мебошад ва барои тавлиди нерӯи электрикӣ ва гарми ниҳоятан мувофиқ мебошад. Дар зери моҳият ва истифода инро бояд ба назар гирифт:

1. Манбаи барқароршаванда. Нерӯи офтоб аз нури офтоб ҳосил мегардад инчунин манбаи аз ҷиҳати экологии тоза ва бемаҳдуд аст.

2. Ба муҳити зист зарар намерасонад ва ҳосилшавии партовҳо ба атмосфера, ки дорои гази карбон мебошад, кам мекунад.

Панелҳои офтобӣ нури офтобро ба худ гирифта, аз он нерӯи электрикӣ ҳосил мекуанд. Яъне, истифодаи онро дар хонаҳо, корхонаҳо ва нерӯгоҳҳои офтобӣ муҳаайё месозад.

Нерӯгоҳҳои офтобӣ ин нерӯгоҳҳои нерӯи офтобро барои истеҳсоли нерӯи электрикӣ дар миқёси калон ба кор мебаранд. Онҳо метавонанд аз панелҳои офтобӣ ки ё низоми консентратсияи офтоби истифода кунанд.

Энергетикаи офтобӣ ин соҳаи илмию техникӣ буда усулҳо ва воситаҳои истифодаи нурафкании офтобро ё ки радиатсияи онро дар бар мегирад, барои истеҳсол кардани нерӯҳои электрикӣ, гармӣ ва дигар намудҳои нерӯ, инчунин истифодаи онро дар хоҷагии халқ. Офтоб монанди дигар ситораҳо аз худ газҳои доғкардашударо мегузорад. Дар таркибаш 82% гидроген, 17% гелии, дигар элементҳо 1% ташкил медиҳанд. Дар дохили офтоб миқёси зиёдагии фишор баланд буда ҳарорати 15-20 млн °С мерасад. Замин аз офтоб тақрибан дар масофаи 150 млн.км ҷойгир аст.

Ҳисоби потенциали энергияи офтобӣ

Потенциали энергияи офтобӣ одатан аз рӯи радиатсияи миёнаи солона ва майдони панелҳои офтобӣ ҳисоб карда мешавад.

$$E_{\text{солона}} = A \times H \times \eta \quad (1)$$

дар ин ҷо $E_{\text{солона}}$: энергияи солона (кВт·соат), A -масоҳати сатҳи панелҳои офтобӣ (м^2), H -радиатсияи миёнаи солона ($\text{кВт}/\text{м}^2$), η -самаранокии панелҳои офтобӣ (ба ҳисоби миёна 15-20%)

Ҷадвали 3 – Хусусиятҳои радиатсияи офтоб ва бод дар ноҳияи Мурғоб

| Нишондиҳанда | Арзиш |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Радиатсияи миёнаи солона | 850 - 1,100 МДЖ/м ² |
| Миқдори рӯзи офтобӣ | 280 - 330 рӯз |
| Суръати миёнаи бод | 6 - 8 м/с |
| Захираи эҳтимолии энергияи офтобӣ | ~ 20 - 25 млрд кВт/соат |
| Захираи эҳтимолии энергияи бод | ~ 10 - 15 млн кВт/соат |

Нурафкании офтоб дар сатҳи замин аз бисёр омилҳо вобастагӣ дорад ба монанди: арзҳои ҷойгиршавӣ дар макон (арзҳои тулию-пахӣ); хусусиятҳои ҷойгиршавии ҷуғрофию минтақавӣ, ҳолати атмосферӣ, баландии офтоб нисбати уфуқиаш ва ғайра. Имрӯзҳо дар ноҳияи Мурғоб як нерӯгоҳи нави офтобии 220 киловатт истифода бурда мешавад. Ин нерӯгоҳ бузургтарин нерӯгоҳи барқӣ офтобӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва баландтарин нерӯгоҳи офтобӣ дар Ҷаҳон ҳоҳад буд. Ҳамчунин тибқи дигар лоиҳа сохтмони як нерӯгоҳи офтобии барқӣ низ бо иқтидори 180 киловатт-соат дар назар дошта шудааст.



Расми 2 – Пайвасти панелҳои офтоби дар ноҳияи Мурғоб

Ноҳияи Мурғоби Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшони Тоҷикистон, ки дар қаторкӯҳҳои Помир ҷойгир аст ва тақрибан 4000 нафар аҳоли дорад, ва ягона ноҳия дар қисми шарқии Бадахшони Кӯҳӣ мебошад. Ин баландтарин шаҳрак дар Тоҷикистон аст, ки дар баландии 3650 метр аз сатҳи баҳр қарор дорад. Шароити зимистонии ин минтақа, ки ҳарорати ҳаво аз 0° пасттар буда, ҳатто ба -40 °С мерасад, эҳтимолан ба доираи кори таҷҳизот таъсир мерасонад, ки онро бояд пудратчиён дар лоиҳаҳои пешниҳодшаванда ва интихоби таҷҳизот ба инобат гиранд.

Координатҳои UTM W84 қитъаи ҷудошуда 414428,00 м тӯли шарқӣ ва 4225849,00 м паҳнои шимолро дар минтақаи 43-юми паҳнои ҷанубӣ ташкил медиҳанд, ки ба 38,176499° дараҷаи даҳӣ паҳнои ҷуғрофӣ ва 74,023007° дараҷаи даҳӣ тӯли ҷуғрофӣ баробар аст.

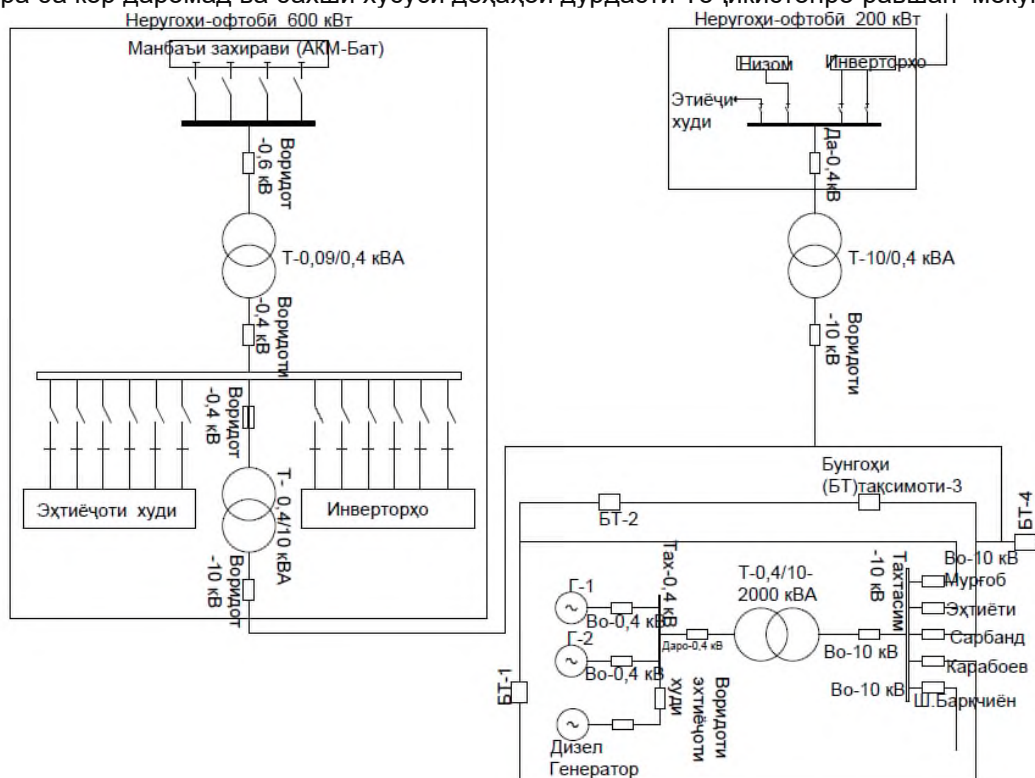
Ба қитъа метавон тавассути роҳи асфалтпӯш аз Мурғоб ва Қонақурғон рафт, сипас тақрибан 900 метр аз роҳи регзор барои расидан ба қитъаи ҷудошудаи завод гузашт.

Гуфта мешавад, ки бо ба кор даромадани ин нерӯгоҳ беш аз 6 ҳазор нафар сокинони шаҳраки Мурғоби Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон бо нерӯи барқ дастрасӣ пайдо карданд. «Зиёда аз 6 ҳазор нафар бар асари релефи мушкӣ дар баландии 3600 метр аз манбаи барқи «Помир Энерджи» ва шабакаи барқи ҷудо шуданд. Нерӯгоҳи нави офтобии Мурғоб нерӯи барқи рӯзонро 50 дарсад афзоиш медиҳад. Ин на танҳо ба таври қобили мулоҳиза сифати зиндагии сокинонро беҳтар мекунад, балки ба рушди кулли иқтисодии минтақа мусоидат хоҳад кард [6].

Гуфта мешавад, ки нерӯгоҳи нави офтобӣ натиҷаи мустақими ҳамкории муваффақи ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, USAID ва ширкати «Помир Энерджи» мебошад.

"Бо дархости Вазорати энергетика ва захираҳои оби Тоҷикистон USAID лоиҳаи нерӯи офтобӣ дар Мурғобро барои мукамал кардани нерӯгоҳи барқи оби Тоҷикистон ба 1,5 мегаватт ва илова кардани энергияи тоза ва барқароршаванда ба шабакаи барқи маҳаллӣ дастгирӣ намуд.

Панелҳои офтобӣ дар «БОМИ ҶАҶОН» 4 декабри соли 2020 Нерӯгоҳи электрикии офтобии Мурғоб пурра ба кор даромад ва бахши хусусӣ деҳаҳои дурдасти Тоҷикистонро равшан мекунад.



Расми 3 – Пайвасти мувозии нерӯгоҳи барқи офтобӣ ва нерӯгоҳи барқи оби дар ноҳияи Мурғоб

Қаторкӯҳҳои Помир яке аз баландтаринҳо дар Ҷаҳон мебошанд. Дар ин ҷо деҳаҳои дурдаст мавҷуданд, ки сокинони онҳо дар баландии зиёда аз 3600 метр зиндагӣ мекунанд. Минтақа хушк ва хеле хунук аст. Ҳарорат аз моҳи ноябр то март мунтазам то -50 дараҷа паст мешавад.

Аз сабаби рельеф ва ҷойгиршавии дур баъзе аз деҳаҳои хурд ба шабакаи ягон барқи имкони пайвастшавӣ надоранд. Мардуми Мурғоб бештар ба корҳои кишоварзии ва ҷорводорӣ машғул мешаванд. Дастрасӣ ба нерӯи барқ дар ин ноҳия дар давраҳои гузашта мушкилиҳои зиёд дошт. Дар соли 2002 танҳо 13 дарсади хонаводаҳои Мурғоб ба нерӯи барқ дастрасӣ доштанд ва ҳатто онҳо зуд-зуд қатъи барқро эҳсос мекарданд [7], вале пайдошавии манбаъҳои нав боиси баланд шудани эътимодияти электроташминкунии ин минтақа гаштааст.

Дар соли 2002 ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ҳамкори бо шарикони хориҷӣ барои тармиму азнавсозии нерӯгоҳҳои мавҷудаи минтақаи Бадахшон корҳои барқарорсозиро шуруъ намуд. Дар ин сол Ширкати "Помир Энерджи" 11 нерӯгоҳи хурди барқи обиро барқарор кард, аммо иқлими саҳти Мурғоб дар тавлиди барқ бештар вақт мушкилоти ҷиддӣ ба бор меорад. Дар фасли зимистон оби бештари дарёҳо ях мекунанд, ки дат тавлиди нерӯ бетаъсир намемонанд. Барои бартараф кардани ин мушкилот истифодаи панелҳои офтобӣ дар бештари ҳолатҳо ба мақсад мувофиқ мебошанд.

Тавре, ки дар боло оварда шудааст, айни ҳол дар ноҳияи Мурғоб неӯгоҳи барқи офтобӣ фаъолият мекунад ва иқтидори он ба 200 кВт баробар аст.

Мухимтар аз ҳама, неӯгоҳи барқи офтобии Мурғоб дар баробари манбаи дигари барқароршавандаи энергия, неӯгоҳи мавҷудаи Тоҷикистон кор мекунад. Ин ду неӯгоҳҳои энергетикӣ тоза дастрасии тамоми сол ба деҳаҳои ҳамсоя неӯи барқӣ доимиро таъмин хоҳанд кард.

Ин неӯгоҳ афзоиши неӯи барқи рӯзонро 50% афзоиш дода, ба рушди шароити иқтисодӣ ва иҷтимоии аҳоти таъсири мусбӣ расонида метавонад [8] ва таъсири манфӣ ба муҳити атроф аз ҳисоби истифодаи бурдани сузишвориҳо мутаносибан кам мешавад.

Хулоса

1. Ноҳияи Мурғоб яке аз ноҳияҳои дурдаст ба ҳисоб рафта он аз неӯи электрикӣ дар фасли тобистон бо пурраги таъмин буда дар фасли зимистон бошад аҳоли аз неӯи электрикӣ, бинобар сабаби омилҳои ҷуғрофӣ қисман танқиси мекашад, бинобар сабаби то 80% ях кардани оби дарёи Оқсу.

2. Дар ноҳияи Мурғоб барои рушди соҳаҳои хоҷагии халқ аз ҳама заруртарин захира дар соҳаи электроэнергетика ин истифодаи яқоягии дастгоҳҳои бодӣ ва офтобӣ мебошад, зиро истифодаи яқояи онҳо имкони таъмини шабонарӯзии неӯи электрикиро фароҳам меоварад.

3. Дар ояндаи наздик офтоб чун манбаи равшанӣ ва гармӣ таъминкунанда дар рӯи ҷаҳон доништа мешавад. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон тавлиди неӯи электрикӣ аз ҳисоби неӯи офтобӣ о соли 2030 то 10% ба нақша гирифта шудааст. Ин тадбир, имконияти таъмини неӯи электрикиро ба ноҳияҳои дурдаст афзоиш медиҳад.

4. Дар робита ба ин таҳқиқот ва омӯзиши захираи неӯи офтобӣ ва боди дар минтақаҳои дурдасти Ҷумҳурии Тоҷикистон масъалаи мубрам ба ҳисоб меравад.

Муқарриз: Ҷуразода Ш.Ҷ. – н.и.т., дотсенти кафедраи электроэнергетикаи Филиали ДМТТ “ДЭМ” дар ш. Душанбе.

Адабиёт

1. Вазорати энергетика ва захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон – www.mewr.tj
2. Вазорати энергетика ва захираҳои оби Ҷумҳурии Тоҷикистон . Гузориши давлатӣ оид ба рушди энергетика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон. Душанбе: Нашриёти давлатии “Ирфон”. 2018. Саҳ. 130-135.
3. Ғаниев Зокирдҷон Султонович “Рушди энергияи барқароршаванда дар Тоҷикистон” Душанбе, 2018 саҳифа: 45-47.
4. Ғаниев З.С. – *Таҳқиқот ва лоиҳаҳои энергияи барқароршаванда дар Тоҷикистон*. Маҷаллаи илмӣ, нашри соли 2020.
5. Ҳафизов, Н. И. "Мушкилоти энергияи шамол дар минтақаҳои кӯхистонӣ." Маҷаллаи илмӣ "Технологияи инноватсионӣ", 2020, ҷилди 12, саҳ. 145-153.
6. Ноҳияи Мурғоб // Энциклопедияи советии тоҷик. — Душанбе. : «Главная редакция Таджикской советской энциклопедии», 1984. — Т. 5. (тадж.)
7. Ноҳияи Мурғоб // Энциклопедияи Миллии Тоҷик. — Алмата : «Сарредакцияи илмӣ Энциклопедияи Миллии Тоҷик», 2015. — Т. 5. (тадж.)
8. Ширкати “Помир Энерҷӣ” (2015). *Annual Report on Energy Development in GBAO: Public-Private Partnership Experience*. Хоруг: Нашриёти “Помир Энерҷӣ”. Саҳ. 45-67

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Абдурахмонов Абдукарим Якубович | Абдурахмонов Абдукарим Ёкубович | Abdurakhmanov Abdukarim Yakubovich |
| Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi |
| д.и.т. | д.т.н. | Doctor of Technical Sciences |
| E-mail: up_energy@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қувватов Фарух Назриалоевич | Қувватов Фарух Назриалоевич | Khuvatov Farukh Nazrialoevich |
| Донишкадаи Энергетикаи Тоҷикистон | Институт Энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan |
| Ассистент | Ассистент | Assistant |
| TJ | RU | EN |
| Одинаев Неккадам Хушқадамович | Одинаев Неккадам Хушқадамович | Oдинаev Nekkadam Khushkadamovich |
| Донишкадаи Энергетикаи Тоҷикистон | Институт Энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidate of Technical Sciences |
| TJ | RU | EN |
| Қаландаров Фаррух Ҳазраткулович | Қаландаров Фаррух Ҳазраткулович | Qalandarov Farrukh Hazratkulovich |
| Донишкадаи Энергетикаи Тоҷикистон | Институт Энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan |
| Ассистент | Ассистент | Assistant |

УДК 330.34

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: ПРЕИМУЩЕСТВА И ВЫЗОВЫ

Ш.Н. Саидова

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Цифровизация энергосистемы Республики Таджикистан играет ключевую роль в модернизации энергетического сектора, повышении эффективности управления энергопотреблением и снижении потерь. Однако цифровая трансформация несет в себе не только преимущества, но и значительные вызовы, особенно в сфере кибербезопасности. В данной статье анализируются ключевые аспекты цифровизации энергосистемы, включая внедрение интеллектуальных счетчиков, систем управления энергосетями, блокчейн-технологий и искусственного интеллекта. Рассматриваются риски, связанные с киберугрозами, уязвимостью энергетической инфраструктуры и необходимостью создания эффективных механизмов защиты данных. Проанализирован международный опыт цифровизации энергосистем (Казахстан, Норвегия, Германия, США) и его адаптация к условиям Республики Таджикистан.

Ключевые слова: цифровизация, энергосистема, кибербезопасность, интеллектуальные счетчики, блокчейн, Smart Grid.

РАҚАМИКУНОНИИ НИЗОМИ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: АФЗАЛИЯТҶО ВА ДУШВОРИҶО

Ш.Н. Саидова

Рақамикунони низоми энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон нақши калидӣ дар муосирсозии соҳаи энергетика, баланд бардоштани самаранокии идоракунии истеъмоли нерӯи барқ ва кам кардани талафот мебозад. Аммо табили рақамӣ на танҳо афзалиятҳо, балки душвориҳои ҷиддиро низ ба бор меорад, хусусан дар соҳаи амнияти киберӣ. Дар ин мақола ҷанбаҳои асосии рақамисозии низоми энергетикӣ, аз ҷумла ҷорӣ намудани ҳисобкунакҳои интеллектуалӣ, системаҳои идоракунии шабакаҳои энергетикӣ, технологияҳои блокчейн ва зехни сунъӣ баррасӣ мешаванд. Хавфҳои марбут ба таҳдидҳои киберӣ, осебпазирии инфрасохтори энергетикӣ ва зарурати таъсиси механизмҳои самарабахши ҳифзи додаҳо таҳлил карда мешаванд. Таҷрибаи байналмилалӣ рақамисозии низоми энергетикӣ (Қазоқистон, Норвегия, Олмон, ИМА) ва мутобиқсозии он ба шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шудааст.

Калидвожаҳо: рақамисозӣ, низоми энергетикӣ, амнияти киберӣ, ҳисобкунакҳои интеллектуалӣ, блокчейн, Smart Grid.

DIGITALIZATION OF THE ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN: ADVANTAGES AND CHALLENGES

Sh.N. Saidova

The digitalization of the energy system of the Republic of Tajikistan plays a key role in modernizing the energy sector, improving energy consumption management efficiency, and reducing losses. However, digital transformation brings not only advantages but also significant challenges, particularly in the field of cybersecurity. This article analyzes key aspects of energy system digitalization, including the implementation of smart meters, energy network management systems, blockchain technologies, and artificial intelligence. Risks associated with cyber threats, the vulnerability of energy infrastructure, and the need to create effective data protection mechanisms are examined. The international experience of energy system digitalization (Kazakhstan, Norway, Germany, USA) and its adaptation to the conditions of the Republic of Tajikistan are also analyzed.

Keywords: digitalization, energy system, cybersecurity, smart meters, blockchain, Smart Grid.

Введение

Мировая практика показывает, что цифровая трансформация действительно может способствовать углублению интеграционных процессов. Именно поэтому цифровой парадигме отводится место в повестке дня крупнейших интеграционных объединений.

В настоящее время цифровизации охвачены все сектора экономики, включая энергетику. Цифровая энергетика является одним из элементов цифровой экономики. С целью предотвращения рисков для энергосистемы Таджикистана необходимо проанализировать и оценить текущее состояние цифровой трансформации энергетического сектора. Определить положительные и отрицательные последствия цифровизации.

Состояния проблемы. Цифровизация энергетического сектора необходима для повышения эффективности управления энергоресурсами, однако процесс ее внедрения сталкивается с рядом вызовов, включая отсутствие четкой стратегии цифровой трансформации, нехватку финансирования, киберугрозы и недостаток цифровых навыков у специалистов. Для успешной цифровизации энергосистем требуется стратегический подход, включающий инвестиции в инфраструктуру, усиленную защиту данных, подготовку кадров и адаптацию нормативно-правовой базы к новым технологическим условиям.

Энергетическая отрасль быстро меняется. Поскольку мы стремимся сократить выбросы углекислого газа и защитить планету для будущих поколений, меняются технологии и эффективность производства и потребления электроэнергии. С уходом от ископаемого топлива возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра и солнца, растут экспоненциально, и в 2050 году на них будет приходиться почти 70% мирового производства электроэнергии. Транспорт электрифицируется, и ожидается, что к 2033 году 50% всех новых автомобилей, продаваемых в мире, будут электрическими [1].

Цифровизация включает в себя компьютеры (облачное хранение), соединения (Интернет), датчики и данные (распределение данных), программное обеспечение (машинное обучение, блокчейн, большие данные, искусственный интеллект и т.д.).

В 2019 году была утверждена Концепция цифровой экономики в Республике Таджикистан до 2040 года [2]. Концепция предусматривает трансформацию основных сфер экономической деятельности страны, таких как энергетика, добывающая промышленность, сельское хозяйство, а также создание новых секторов, таких как финансовые технологии (FinTech). В энергетическом секторе планируется интеллектуализация энергетических систем (Smart Grid), полный учет потребляемой и производимой энергии, так называемая система Smart metering, а в будущем автоматическая обработка больших данных (Big Data) позволит систематически управлять нагрузкой (Demand Response), в том числе путем совершенствования тарифной политики для конечных потребителей.

Сектор электроэнергетики в Республике Таджикистан представляет собой реструктурированную систему. Ранее монопольная Открытая акционерная холдинговая компания (ОАХК) "Барки Тоҷик", государственная национальная энергетическая компания Республики Таджикистан, основной задачей которой было производство, транспортировка, передача, распределение и продажа электрической и тепловой энергии преимущественно на местном рынке Таджикистана, была реструктурирована. Реструктуризация сектора была проведена для того, чтобы сделать финансовые операции энергетической компании прозрачными.

Несмотря на реструктуризацию системы на три составляющие: *генерация, распределительные сети и сбыт*, отрасль все еще сталкивается с множеством проблем, требующих решения.

Основными проблемами, с которыми сталкивается отрасль, являются: слабый энергетический менеджмент, неплатежеспособный спрос, высокий уровень потерь и т.д. Платежеспособный спрос на электроэнергию среди населения за 2009-2019 годы в среднем составил 78,35%, при этом наблюдается тенденция роста потребления электроэнергии [3]. Учитывая низкую платежеспособность, Таджикистан начал оцифровывать энергетический сектор, начиная со сбытовой сферы и заканчивая улучшением системы сбора платежей.

Например, с 2015 года реализуется "Программа автоматизации систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) до 2025 года" с заменой старых счетчиков на электронные (Таблица 1) для их последующей интеграции в систему АСКУЭ. Для финансирования этой программы был выделен грант Азиатского банка развития в размере \$105 млн.

Цифровизация энергосистемы Республики Таджикистан является неотъемлемой частью устойчивого развития энергетического сектора страны. Современные технологии, такие как интеллектуальные системы управления, искусственный интеллект и блокчейн, способствуют повышению эффективности производства, передачи и распределения электроэнергии. Однако, цифровая трансформация сопровождается новыми угрозами, связанными с уязвимостью цифровой инфраструктуры, ростом кибератак и необходимостью усиленной защиты данных. Одним из ключевых вызовов является не только обеспечение надежной защиты критически важных систем управления энергоснабжением, но и формирование комплексной стратегии кибербезопасности в энергетическом секторе.

Данные, приведенные в табл.1 показывают, что в настоящее время в Республике Таджикистан ведется только оцифровка сбытовой части электроэнергии на основе установки интеллектуальных счетчиков/биллинговой системы.

Таблица 1 – Оцифровка сектора сбыта в Республике Таджикистан

| № п/п | Наименование | Тип цифровых технологий | Генерация/ Распределение/ Сбыт | Уровень оцифровки |
|--------------------------|--|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 1. | Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) Согдийской области (2015-2017) | Интеллектуальные счетчики | Сбыт | 100% |
| 2. | Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) города Душанбе (р. Сино) | Интеллектуальные счетчики | Сбыт | 100% |
| 3. | Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) города Сарбанд | Интеллектуальные счетчики | Сбыт | 100% |
| 4. | Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) города Вахдат | Интеллектуальные счетчики | Сбыт | 100% |
| 5. | Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) района Рудаки | Интеллектуальные счетчики | Сбыт | 100% |
| *Банковская сфера | | Электронные кошелки | Сбыт | 100% |

Источник: Составлено автором на основе данных Барки Тоҷик.

Первым проектом по оцифровке энергетического сектора в Таджикистане был "Проект автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии в Согдийской области" внедрение биллинговых счетчиков. В Согдийской области эта система действует уже пять лет. Потребители электроэнергии быстро адаптировались к такой системе, и собираемость платежей увеличилась. После проект был реализован в таких городах, как Сарбанд, Вахдат, район Рудаки.

В городе Душанбе внедрение данной биллинговой системы ASCS проект начался в районе Сино с 125 000 квартир. Проект рассчитан на 4 года с 2021 по 2025 год. По данным энергохолдинга "Барки Точик" на сентябрь 2021 года в столице уже установлены новые счетчики для 12 тысяч семей. Счетчики произведены Китайской Народной Республикой, гарантийный срок эксплуатации составляет 8 лет. Счетчики на 100% состоят из цифровых технологий.

Развитие банковского сектора в Таджикистане также повышает эффективность маркетинга в энергетике. Популярные электронные кошельки, такие как alif mobi, Dushanbe City, Megafon Life и другие, позволяют пользователям оплачивать использованную электроэнергию онлайн, независимо от местонахождения и без очередей.

Кроме того, в дополнение к вышеперечисленному в Таджикистане имеется положительный опыт внедрения системы биллинга и контроля данных компанией "Памир Энерджи". Памирская энергетическая компания была создана в декабре 2002 года в результате заключения Концессионного соглашения между Правительством Республики Таджикистан, Фондом экономического развития Ага Хана и Международной финансовой корпорацией на Памире, Хорог. В настоящее время компания обеспечивает электроэнергией 96% жителей Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) Республики Таджикистан и афганского Бадахшана. Общая мощность энергокомпании состоит в основном из малых гидроэлектростанций и одной СЭС мощностью 200 кВт. Рабочая мощность всех электростанций составляет 43,55 МВт.

Таблица 2 – Количество электронных и ручных счетчиков у абонентов Pamiр Energy, в первом полугодии 2020 года

| №. | Районы | Всего абонентов | Электронное снятие | Ручное снятие |
|----|----------|-----------------|--------------------|---------------|
| 1. | Хорог | 8169 | 7803 | 91 |
| 2. | Шугнан | 7390 | 6933 | 20 |
| 3. | Рушан | 4777 | 4543 | 22 |
| 4. | Щек | 3952 | 3841 | 26 |
| 5. | Мургоб | 1455 | 1345 | 0 |
| 6. | Дарвоз | 3635 | 3513 | 15 |
| 7. | Ишкашим | 4717 | 4534 | 15 |
| 8. | Рошткала | 4166 | 4013 | 24 |
| | Всего | 38261 | 36525 | 213 |

Источник: Отчет Pamiр Energy

Данные показывают, что более 98% клиентов энергетической компании установили электронные счетчики, которые учитывают потребленную электроэнергию в онлайн-режиме. Это свидетельствует о массовой цифровизации сферы учета электроэнергии и высокой степени внедрения интеллектуальных технологий в сектор ее сбыта. После внедрения биллинговой системы ежемесячная собираемость платежей составляет 98-100%, что говорит о значительном повышении платежной дисциплины среди потребителей. Одновременно отмечается сокращение потерь на 10%, что подтверждает эффективность цифровых решений в снижении коммерческих и технических потерь. Важным элементом цифровой трансформации стала интеграция круглосуточной горячей линии 0404, куда могут обратиться клиенты для получения оперативной поддержки. Еще одной функцией данной системы является рассылка SMS-оповещений, информирующих потребителей о возможных проблемах в сети.

Таким образом, внедрение электронных счетчиков и биллинговой системы не только повысило точность учета и платежную дисциплину, но и способствовало улучшению качества обслуживания клиентов за счет интерактивной обратной связи. Этот успешный опыт может быть масштабирован и на другие сегменты энергосистемы, включая генерацию и распределение, что позволит повысить эффективность управления энергетическими ресурсами.

Биллинговая система контроля и учета электроэнергии играет ключевую роль в цифровизации энергосектора, обеспечивая его прозрачность, эффективность и экономическую выгоду. Как показано на рисунке 1, среди основных преимуществ этой системы можно выделить прозрачность расчетов, позволяющую устранить неточности в учете и минимизировать мошенничество. Внедрение автоматизированного учета также способствует повышению платежной дисциплины, так как клиенты получают актуальную информацию о потреблении и своевременные уведомления. Кроме того,

система помогает снизить задолженность за счет интеграции цифровых платежных решений и напоминаний о неоплаченных счетах.

Другим важным аспектом цифровизации является оперативное выявление потерь электроэнергии, что позволяет быстро обнаруживать утечки и незаконные подключения. Это, в свою очередь, способствует снижению операционных затрат энергокомпаний, так как уменьшаются расходы на бумажные квитанции, обработку платежей и контроль со стороны персонала.

Однако, как отмечается на рисунке 1, биллинговая система также сопровождается определенными вызовами. Одним из ключевых факторов является высокая стоимость реализации, включающая закупку оборудования, внедрение программного обеспечения и модернизацию сетевой инфраструктуры. Не менее важным аспектом остается необходимость обучения персонала, поскольку переход на цифровые технологии требует новых навыков работы с базой данных и аналитическими инструментами.

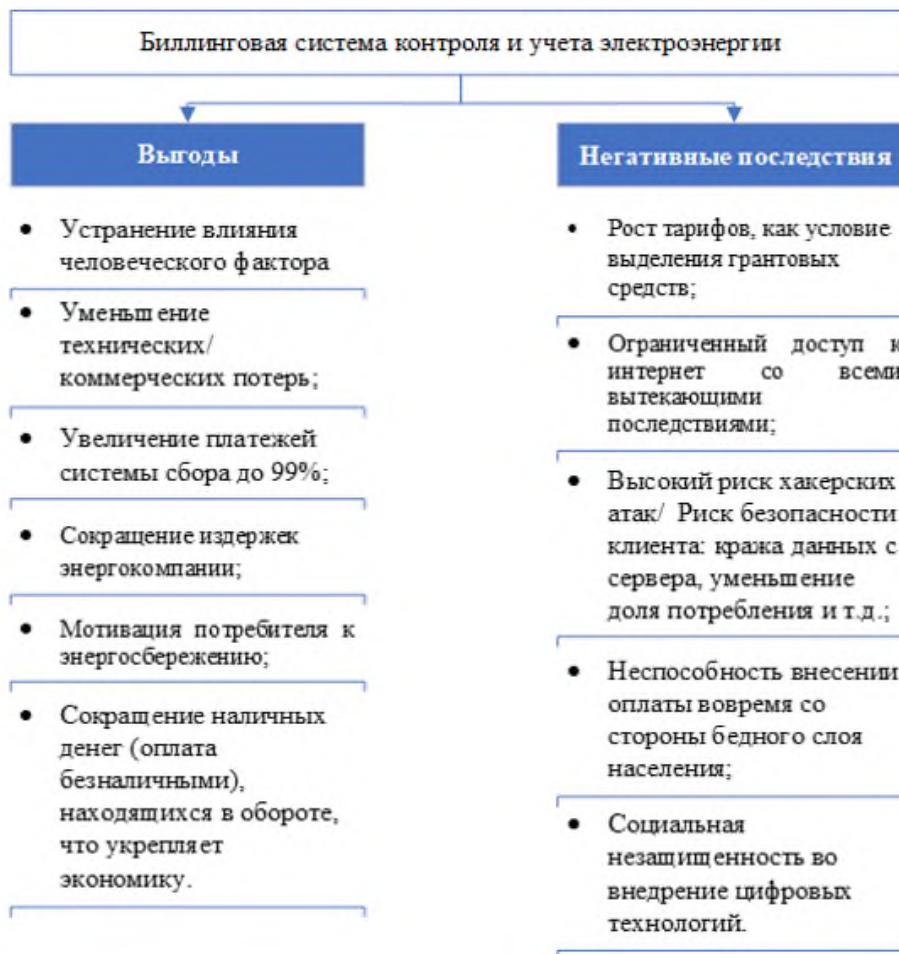


Рисунок 1 – Выгоды и негативные последствия системы биллинга и учета для Республики Таджикистан
Источник: Составлено автором.

Еще одним вызовом становится риск технических сбоев, которые могут привести к ошибкам в расчетах, задержкам в выставлении счетов и снижению доверия потребителей. В дополнение к этому, существует угроза кибератак, что делает кибербезопасность приоритетной задачей при внедрении системы. Наконец, некоторые потребители могут проявлять сопротивление внедрению цифровых технологий из-за недостатка цифровой грамотности или недоверия к автоматизированным расчетам.

Исходя из вышеприведенного, биллинговая система действительно делает энергосистему более прозрачной, эффективной и экономически выгодной, однако для ее успешного функционирования необходимо учитывать киберугрозы, обучать персонал и разрабатывать механизмы предотвращения технических сбоев, как это показано на рисунке.

Ускорить процесс цифровизации и при этом снизить угрозы негативных последствий позволяет изучение международного опыта и адаптация его к условиям Таджикистана.

Международный опыт цифровизации и кибербезопасности энергосистем:

1. Цифровой биллинг – опыт Казахстана

➤ Внедрение Smart Grid [4] включает автоматизированные системы управления энергопотреблением, интеллектуальные счетчики и адаптивные энергосети, способные регулировать нагрузку в режиме реального времени. Эти технологии позволяют повысить надежность энергоснабжения, снизить потери в сетях и интегрировать возобновляемые источники энергии. Цифровые биллинговые системы обеспечивают прозрачность расчетов, возможность автоматизированного мониторинга потребления электроэнергии и внедрение динамического тарифообразования, что стимулирует эффективное потребление ресурсов.

➤ Создание центра киберзащиты критической энергетической инфраструктуры включает разработку комплексной системы мониторинга и предотвращения кибератак на энергетические объекты. Центр будет обеспечивать круглосуточное наблюдение за киберугрозами, анализировать потенциальные риски и внедрять передовые технологии защиты, такие как искусственный интеллект для предиктивного обнаружения атак и блокчейн для защиты данных. Также в его задачи входит разработка и реализация стандартов кибербезопасности, проведение регулярных аудитов и обучение персонала методам защиты критической инфраструктуры.

2. Генерация (ГЭС) – опыт Норвегии

➤ Полное внедрение интеллектуальных счетчиков (AMS) с защитой данных предусматривает использование современных технологий для сбора, обработки и передачи информации о потреблении электроэнергии в режиме реального времени [5]. Эти счетчики оснащены встроенными модулями шифрования данных, что обеспечивает их защиту от несанкционированного доступа и хакерских атак. Дополнительно AMS-системы позволяют автоматизировать учет электроэнергии, снижая потери и улучшая платежную дисциплину потребителей. В Норвегии такая система интегрирована с национальными энергетическими платформами, что дает возможность гибкого управления нагрузками и оптимизации энергопотребления в зависимости от спроса. Важным элементом AMS является механизм удаленного обновления программного обеспечения, который позволяет своевременно реагировать на возникающие киберугрозы и обновлять защитные протоколы. Данные технологии обеспечивают прозрачность энергопотребления, снижают риски мошенничества и способствуют цифровой трансформации энергетической отрасли.

➤ Интеграция искусственного интеллекта (AI) для анализа угроз и оптимизации энергопотребления включает разработку и внедрение алгоритмов машинного обучения, способных выявлять потенциальные киберугрозы, анализировать аномалии в потреблении электроэнергии и автоматически адаптировать нагрузку в энергосистеме. Эти технологии позволяют прогнозировать и предотвращать атаки на критически важную энергетическую инфраструктуру, улучшать управление энергоресурсами и повышать эффективность генерации и распределения энергии. В Норвегии AI интегрирован в системы управления энергосетями для оптимизации распределения нагрузки, предотвращения перегрузок и сокращения потерь электроэнергии. Кроме того, применение AI способствует снижению выбросов углерода за счет более точного прогнозирования потребления и интеграции возобновляемых источников энергии в сеть.

3. Оптимизация – опыт Германии (AI, Big Data)

Использование AI и Big Data для защиты энергосетей от кибератак включает разработку интеллектуальных систем обнаружения угроз, которые анализируют огромные объемы данных о сетевой активности в реальном времени. Искусственный интеллект способен выявлять аномалии в функционировании энергосистем, прогнозировать потенциальные атаки и автоматически инициировать меры защиты. Big Data позволяет анализировать исторические данные киберинцидентов, что помогает совершенствовать алгоритмы безопасности и разрабатывать превентивные стратегии.

В Германии эти технологии активно применяются для мониторинга критически важных энергетических объектов. В частности, в рамках программы SIEM (Security Information and Event Management) AI анализирует поступающие данные с энергетических систем и мгновенно выявляет подозрительные паттерны активности [6, 7]. Это позволило значительно снизить количество кибератак на энергосистему Германии за счет оперативного реагирования на аномальные события.

Кроме того, Big Data активно используется для построения моделей предсказания уязвимостей, что позволяет энергетическим компаниям своевременно обновлять системы защиты и предотвращать атаки до их возникновения. В результате интеграция AI и Big Data способствовала повышению надежности энергосетей Германии, минимизации рисков отключений и защите данных потребителей.

➤ Внедрение программного обеспечения для мониторинга цифровых угроз в Германии позволило энергетическим компаниям значительно повысить уровень кибербезопасности и оперативно реагировать на возникающие угрозы. В рамках национальной стратегии киберзащиты были развернуты автоматизированные платформы на основе технологий машинного обучения и

искусственного интеллекта, которые в режиме реального времени анализируют сетевой трафик и выявляют аномальную активность.

Практическое применение таких решений помогло сократить количество атак на энергетическую инфраструктуру, снизить вероятность взломов систем управления энергосетями и минимизировать экономические потери от возможных отключений. Одним из наиболее успешных кейсов стало внедрение системы SIEM (Security Information and Event Management), которая интегрирована с национальными энергосистемами и позволяет в автоматическом режиме блокировать подозрительные запросы, предотвращать несанкционированный доступ к данным и анализировать поведение пользователей в сети.

Кроме того, Германия активно использует концепцию Cyber Threat Intelligence (CTI) – мониторинг цифровых угроз на основе анализа глобальных кибератак и выявления схожих моделей угроз в энергосетях страны. Это позволило энергокомпаниям разработать и внедрить эффективные стратегии превентивной защиты, снизив вероятность успешных атак на ключевые объекты энергетической инфраструктуры. В результате внедрения современных программных решений Германия добилась значительного повышения устойчивости энергосистем к цифровым угрозам и создала основу для дальнейшего развития интеллектуальных энергосетей с высокой степенью защиты.

4. Кибербезопасность – опыт США

➤ Программы усиленной кибербезопасности для энергетических компаний включают в себя многоуровневые механизмы защиты, направленные на предотвращение, выявление и ликвидацию киберугроз в энергетическом секторе. В Германии эти программы реализуются через комплексные системы мониторинга, такие как SIEM (Security Information and Event Management), которые анализируют сетевой трафик в режиме реального времени, выявляют аномалии и автоматически блокируют подозрительные активности. Кроме того, используются технологии Cyber Threat Intelligence (CTI), которые позволяют прогнозировать возможные атаки на основе глобального анализа киберинцидентов [8].

Практическое применение этих технологий помогло Германии снизить число успешных атак на энергетические системы, минимизировать экономические потери от отключений и повысить общую устойчивость энергосетей. Например, при внедрении автоматизированных защитных механизмов на критически важных объектах, таких как электростанции и центры управления энергоснабжением, значительно сократилось число попыток несанкционированного доступа. Также была усилена защита интеллектуальных счетчиков и систем управления энергопотреблением, что позволило избежать утечек данных и повысить доверие потребителей к цифровой инфраструктуре энергетического сектора.

Таким образом, программы кибербезопасности способствуют не только защите энергосистемы, но и формированию надежной цифровой экосистемы, которая способна адаптироваться к новым вызовам и угрозам в сфере энергетики.

➤ Развитие технологий блокчейна для защиты цифровых транзакций в энергосистеме позволило Германии значительно повысить прозрачность и безопасность финансовых расчетов в энергетическом секторе. Блокчейн используется для защиты данных, а также для создания децентрализованных систем учета электроэнергии, исключая возможность манипуляций и мошенничества. На практике это привело к внедрению смарт-контрактов в энергосекторе, которые обеспечивают автоматизированные и надежные расчеты между производителями и потребителями электроэнергии. Кроме того, блокчейн активно применяется для верификации зеленой энергии, гарантируя, что электроэнергия, поступающая к конечному потребителю, действительно была произведена из возобновляемых источников. В результате внедрения блокчейн-решений Германия добилась снижения операционных затрат энергокомпаний, повышения доверия потребителей и значительного уменьшения случаев мошенничества в цифровых транзакциях.

Киберугрозы и вызовы цифровизации энергосистемы:

а) Инфраструктурные ограничения

Одним из ключевых барьеров на пути цифровизации энергосистемы Республики Таджикистан является необходимость модернизации устаревших энергетических сетей. Внедрение Smart Grid и интеллектуальных счетчиков требует значительных инвестиций в обновление подстанций, линий электропередач и серверных мощностей.

б) Киберугрозы и защита данных

С ростом уровня цифровизации энергосистемы увеличивается вероятность кибератак. Возможные угрозы включают:

- Взлом систем управления энергосетями – потенциальная возможность удаленного отключения оборудования.
- Кража персональных данных – хакерские атаки на биллинговые системы и базы данных потребителей.
- Атаки на интеллектуальные счетчики – возможность несанкционированного доступа и манипуляций с показаниями.

- Для защиты цифровой инфраструктуры необходимо внедрение:
- Технологий шифрования данных – использование современных стандартов защиты, таких как AES-256.
- Систем мониторинга угроз (SIEM) – автоматический анализ трафика и выявление подозрительных активностей.
- Гибридных систем аутентификации – двухфакторная и биометрическая верификация пользователей.

В Таджикистане необходимо разработать национальную стратегию кибербезопасности энергосистемы, опираясь на международный опыт таких стран, как Германия и США.

- Кибератаки – рост числа атак на энергосистемы по всему миру требует усиленной защиты. Например, в 2015 году произошла одна из самых известных атак на энергосистему – кибератака на энергосеть Украины (BlackEnergy), в результате которой около 225 000 человек остались без электричества. В 2021 году хакерская атака на нефтепровод Colonial Pipeline в США парализовала поставки топлива на восточном побережье, что привело к серьезному экономическому ущербу. Эти инциденты продемонстрировали уязвимость энергетических сетей и подчеркнули необходимость усиленной защиты инфраструктуры с использованием таких технологий, как SIEM-системы, AI-анализ угроз и технологии блокчейна для повышения киберустойчивости энергосистем.

- Финансовые ограничения – необходимость значительных инвестиций в развитие цифровых механизмов безопасности, что подтверждается опытом других стран. Например, Германия потратила около 40 миллиардов евро на модернизацию энергосистем и цифровизацию сетей, включая внедрение Smart Grid и усиление кибербезопасности. В Великобритании реализация программы интеллектуальных сетей обошлась государству и частным инвесторам примерно в 30 миллиардов фунтов стерлингов. В Казахстане инвестиции в цифровизацию энергетики с 2018 по 2023 год составили около 500 миллионов долларов США, включая запуск интеллектуальных систем учета и киберзащиты энергосетей [1]. Эти примеры показывают, что цифровая трансформация энергосистем требует значительных финансовых ресурсов, но в долгосрочной перспективе приводит к снижению потерь электроэнергии, повышению надежности сетей и улучшению экономической эффективности отрасли.

- Обеспечение конфиденциальности данных – защита информации потребителей является одним из ключевых аспектов цифровизации энергосистем. Внедрение интеллектуальных счетчиков и автоматизированных систем учета электроэнергии требует строгих мер по обеспечению безопасности персональных данных. Реальные примеры показывают, что утечки информации могут приводить к серьезным последствиям. Например, в 2018 году в Великобритании хакеры получили доступ к системе управления интеллектуальными счетчиками, что поставило под угрозу данные миллионов потребителей. В Германии были внедрены строгие стандарты защиты, такие как ISO/IEC 27001, которые регулируют обработку и хранение данных в энергетическом секторе. Благодаря этим мерам удалось предотвратить массовые утечки данных и обеспечить высокий уровень доверия к цифровым технологиям в энергетике. Такие подходы можно адаптировать и в Таджикистане, обеспечивая безопасность информации потребителей на всех уровнях энергосистемы.

- Обновление нормативно-правовой базы – адаптация законодательства для цифровых энергосетей включает разработку и внедрение новых стандартов безопасности, регулирование использования интеллектуальных технологий и обеспечение киберзащиты критически важных энергетических объектов. Например, в Германии был принят закон "IT-Sicherheitsgesetz", обязывающий оператора энергосистем соответствовать строгим требованиям по кибербезопасности. В Европейском Союзе действует директива NIS2 (Network and Information Security), направленная на защиту цифровой инфраструктуры, включая энергосектор. Такие законодательные инициативы помогают минимизировать риски кибератак, регламентировать использование AI и блокчейна в энергетике, а также обеспечивать защиту персональных данных потребителей. В Таджикистане адаптация подобных норм позволит повысить уровень цифровой безопасности энергосистемы и обеспечить ее устойчивость к возможным угрозам.

Выводы

Цифровизация энергосистемы Республики Таджикистан является важным шагом в развитии энергетического сектора страны. Внедрение интеллектуальных счетчиков, цифровых биллинговых систем и технологий Smart Grid позволит значительно повысить эффективность управления энергоресурсами, снизить технические и коммерческие потери, а также улучшить платежную дисциплину среди потребителей.

Однако цифровизация сопровождается значительными вызовами, такими как:

- Финансовые барьеры – высокая стоимость модернизации энергосистемы.
- Инфраструктурные ограничения – необходимость обновления сетей и цифровых платформ.
- Киберугрозы – рост атак на энергосистему и необходимость усиленной защиты данных.

Опыт стран, таких как Германия, Норвегия, Казахстан и США, показывает, что успешная цифровизация энергосистемы требует комплексного подхода, включающего инвестиции, нормативно-правовое регулирование и усиленные меры кибербезопасности.

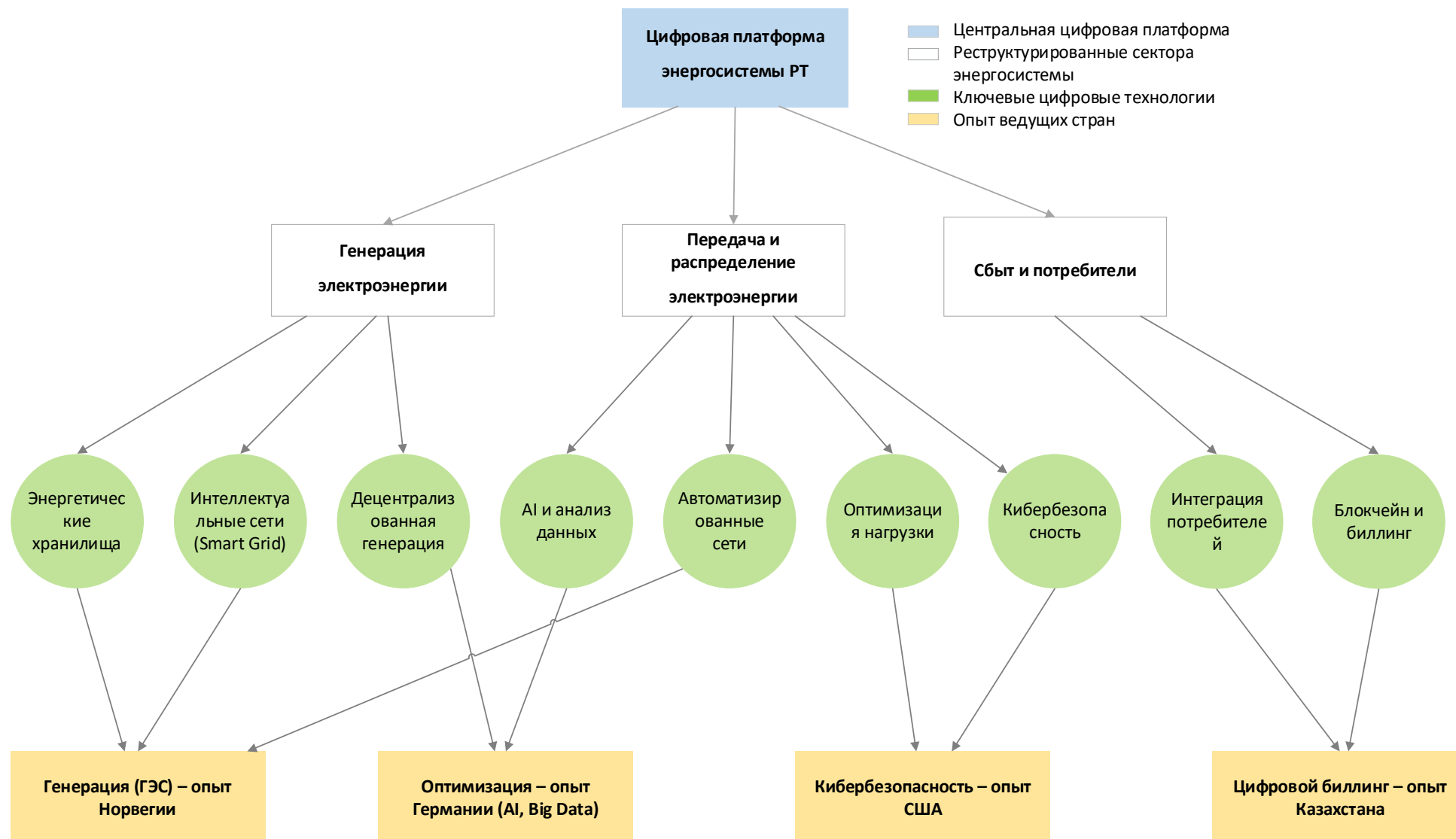


Рисунок 2 – Модель цифровой платформы энергосистемы РТ

Для Республики Таджикистан важно не только адаптировать современные технологии, но и создать национальную стратегию цифровизации энергосектора с учетом международного опыта и специфики страны. Только комплексный и последовательный подход позволит добиться устойчивого развития и безопасности цифровой энергосистемы. Цифровизация энергосистемы открывает новые перспективы для повышения эффективности управления энергоресурсами, оптимизации процессов генерации, распределения и потребления электроэнергии. Однако, помимо технических и экономических преимуществ, данный процесс сопровождается серьезными вызовами в области кибербезопасности, защиты данных и нормативного регулирования.

Внедрение таких технологий, как Smart Grid, блокчейн, AI и системы предиктивного анализа, (рис.2) способствует созданию гибких и устойчивых энергетических сетей, которые могут адаптироваться к изменению спроса и интеграции возобновляемых источников энергии. Использование AI и Big Data позволяет прогнозировать потребление, снижать потери электроэнергии и предотвращать несанкционированные вмешательства в работу энергосистемы. Блокчейн обеспечивает прозрачность расчетов и учет энергопотребления, исключая возможность манипуляций и мошенничества.

Опыт таких стран, как Германия, Норвегия, Казахстан и США, показывает, что цифровая трансформация требует значительных инвестиций, модернизации инфраструктуры и разработки новых стандартов безопасности. Внедрение комплексных мер киберзащиты, включая системы мониторинга угроз (SIEM), технологии Cyber Threat Intelligence (CTI) и национальные стратегии кибербезопасности, помогает минимизировать риски атак и повысить устойчивость энергосистемы.

Таким образом, цифровизация энергосистемы Республики Таджикистан должна сопровождаться созданием многоуровневой системы защиты, инвестициями в новые технологии и адаптацией международного опыта с учетом национальной специфики. Только комплексный подход обеспечит эффективное развитие цифровой энергетики, безопасность критической инфраструктуры и устойчивое энергоснабжение страны в долгосрочной перспективе.

Рецензент: Назиров Х.Б. — к.т.н., преподаватель кафедры электроэнергетики ДФ ЖНУ "МЭИ"

Литература

1. Отчет: ДИГИТАЛИЗАЦИЯ И БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ. DNV GL 05/2019: Доступно по ссылке: https://smartenergycc.org/wp-content/uploads/2019/07/Digitalization_report_pages.pdf
2. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН/ от «30» декабря 2019 года, №642 Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан.
3. Системное тарифное регулирование в энергетической отрасли: теория. Методология, практика: монография / А.Д. Ахророва, А.Д. Куанышбаев, С.С. Сагинтаева и др. – М.: Издательство МЭИ, 2022. С-440. – 536 с.
4. Министерство энергетики Казахстана (2023). Стратегия "умных сетей" и цифровой энергетики. Доступно по ссылке: <https://energy.gov.kz/smartgrid>
5. Норвежский директорат водных ресурсов и энергетики (2023). Цифровизация гидроэнергетики. Доступно по ссылке: <https://nve.no/digitalhydro>
6. Федеральное министерство экономики и климатических мероприятий Германии (2022). Стратегия интеллектуальных энергетических систем. Доступно по ссылке: <https://bmwk.de/smartenergy>
7. Международное энергетическое агентство (МЭА) (2023). Роль искусственного интеллекта в интеллектуальном управлении энергией. Доступно по ссылке: <https://iea.org/smartai>
8. Министерство энергетики США (2023). Кибербезопасность в энергетическом секторе. Доступно по ссылке: <https://energy.gov/cybersecurity>

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Саидова Шахло Нуруллоевна докторант Ph.D | Саидова Шахло Нуруллоевна докторант Ph.D | Saidova Shahlo Nurulloevna Ph.D 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. |
| E-mail: saidova.sharlotta@gmail.com | | |

UDK: 621.311

DEVELOPMENT OF RELIABILITY MODEL FOR A MULTIPHASE SYNCHRONOUS GENERATOR WITH AN UNCONTROLLED RECTIFIER

A. M. Davlatov, N.Kh. Odinaev, A.Z. Rakhmatulloev

Institute of Energy Tajikistan

The work is devoted to increasing the reliability of the main unit of mini and micro-hydroelectric power plants. Various combinations of using a multiphase brushless generator with uncontrolled rectifiers in the event of failure of one diode or generator phase are considered. Domestic and foreign methods are used to assess the reliability indicators of a brushless-type multiphase generator. A pattern has been established for the number of phases, taking into account reliability and an increase in the number of phases, which leads to a decrease in the ripple of the generator output parameters.

Keywords: mini-hydroelectric power plant, synchronous generator, permanent magnet, reliability indicators, pulsation, uncontrolled rectifier, optimization.

КОРКАРДИ МОДЕЛҲОИ ЭЪТИМОДНОКИИ ГЕНЕРАТОРҲОИ БИСЁРФАЗАИ СИНХРОНИИ БО РОСТКУНАҚҲОИ ИДОРНАШАВАНДА

А.М. Давлатов, Н.Х. Одинаев, А.З. Раҳматуллоев

Дар мақола роҳи баланбардоштани эътимоднокии генераторҳои НБО хурд ва миёна дида баромадашудааст. Дидабаромадашудааст ҳаргунаҳолатҳои аз генераторҳои бисёрфаза бо росткунақҳои идоранашаванда ҳангоми аз акорбаромадани як росткунақ ё кандашудани як фазаи генератор. Барои арзёбии нишондиҳандаҳои эътимоднокии генератори бисёрфазаи вентил усулҳои хориҷи истифода шудааст. Тартиби шумораи фазаҳо бо назардошти эътимодноқӣ ва афзоиши шумораи фазаҳо муқаррар карда шудааст, ки ин боиси кам шудани мавҷи параметрҳои баромади генератор мегардад.

Калимаҳои калидӣ: НБО хурд, генератори синхронӣ, магнити доими, нишондиҳандаҳои эътимодноқӣ, мавҷ, росткунақи идоранашаванда, оптимизатсия.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ МНОГОФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С НЕУПРАВЛЯЕМЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ

А.М. Давлатов, Н.Х. Одинаев, А.З. Раҳматуллоев

Статья посвящена повышению надежности работы основного агрегата мини и микро-ГЭС. Рассмотрены разные комбинации применения многофазного вентильного генератора с неуправляемыми выпрямителями при выходе из строя одного диода или фазы генератора. Применяются отечественный и зарубежный методы для оценки показателей надежности вентильного многофазного генератора. Установлена закономерность числа фаз с учетом надежности и увеличения числа фаз, которые ведут к снижению пульсаций выходных параметров генератора.

Ключевые слова: мини-ГЭС, синхронный генератор, постоянный магнит, показатели надёжности, пульсация, неуправляемый выпрямитель, оптимизация.

Introduction

Recently, thanks to the development of materials with permanent magnets and the development of power electronics, synchronous generators with permanent magnets (PMSG) are widely used in the creation of electromechanical transmissions of vehicles for various purposes, in the creation of direct voltage sources or, with subsequent conversion, variable frequency alternating current sources for industrial devices, etc. [1-6]. It should also be noted that PMSG has been widely used in recent years as a voltage source in wind power plants and hydroelectric power stations. As a specific example, the work [7] PMSG is used as an alternative power source for small and medium-sized rivers.

A particularly common option for constructing such a design is the use of a three-phase generator with excitation from permanent magnets and a full-wave rectifier. The disadvantage of three-phase circuits is the relatively high ripple of the rectified voltage [8-10]. To eliminate them, it is necessary to use relatively rather bulky ones. You can also use sinusoidal rectifiers [11] which will allow you to obtain a constant voltage at the output with virtually no ripple. Control circuits and algorithms are quite complex for sinusoidal rectifiers; they require the use of transistor switches for the full rectified current and voltage, and ultimately turn out to be significantly more expensive than circuits with an uncontrolled rectifier. The disadvantage of such three-phase circuits is their sensitivity to failure of the power elements of the rectifier. Indeed, statistics show that failure of a power diode or transistor leads to failure of the entire device.

In this regard, the development of a reliability model for a multiphase synchronous generator with an uncontrolled rectifier is an important step towards increasing the efficiency and fault tolerance of renewable energy systems, especially for using the energy of small rivers. This report summarizes key points from recent research to provide insight into the design, analysis and optimization of such systems.

It should be noted that increasing the number of phases leads to another technical contradiction. The number of valves increases, the volume and cost of switching equipment increases, and the current supply to the armature becomes more complicated. This contradiction can be reduced by making a power hybrid assembly for the rectifier module and integrating it into the generator itself. But power electronics technologies have just begun to develop in this

direction and have found application exclusively in space technology and special-purpose drives. It will still be a considerable period of time when they will be used in drives for general industrial purposes. In this regard, the problem of optimizing the number of phases for multiphase drives in general and for mini-hydroelectric power plants in particular arises. An analysis of Russian sources shows that the topic of increasing phases for drives for various purposes has been developing for more than 30 years. In the works, Vildanov K.Ya., Zabora I.G., Chemov R.O carried out work on the analysis of generators for alternative energy supply sources, and studied block-modular structures for autonomous sources with an arbitrary number of phases. Currently, Avilov V.D., Tretyakov E.A., Petrov P.G., Krause studied autonomous power supply systems based on renewable sources, in particular for small hydroelectric power plants.

Problem Statement

One of the ways to increase the reliability of mini-hydroelectric power plants is to increase the number of phases more than three traditional ones. In this case, the failure of one phase does not lead to system failure, but only deterioration in output characteristics. Accordingly, it is necessary to establish a threshold to which this deterioration is acceptable.

On the one hand, with an increase in the number of phases and emergency break situations, the system parameters deteriorate to a lesser extent. On the other hand, as the number of phases and their corresponding electronic components increases, the likelihood of their failures increases. A technical contradiction arises: the number of phases must be increased to maintain characteristics during failures, and the number of phases should not be increased, reducing the probability of failures. This contradiction can be resolved using the methods of probability theory and mathematical statistics.

Calculation and design

Reliability requirements, reliability models and calculation of the reliability of electrical devices are mainly reflected in GOST 27.003, GOST 27.301 and GOST 27.005 [12-13]. For such devices in operating mode, the following reliability indicators are usually standardized:

$P(t_{\delta,p})$ – probability of failure-free operation with operating time $t_{\delta,p}$;

$t_{\delta,p}$ – operating time, within which the probability of failure-free operation is not lower than the specified one;

T_{cp} – average time to failure;

λ – failure rate;

$T_{c,cp}$ – average resource.

In this case, the value $t_{\delta,p}$ is set based on the adopted operating model of the product and is taken equal to the specified value of the continuous operating time of the product (the duration of one typical operation, the duration of solving one typical problem, the volume of a typical task, etc.). For non-repairable simple highly reliable elements (parts, assemblies), it is allowed to set the failure rate λ instead of the average time to failure $T_{c,cp}$.

When calculating the reliability of a prefabricated complex product, it is usually assumed that the reliability model in the form of a lambda characteristic has a classical form (see Figure 1).

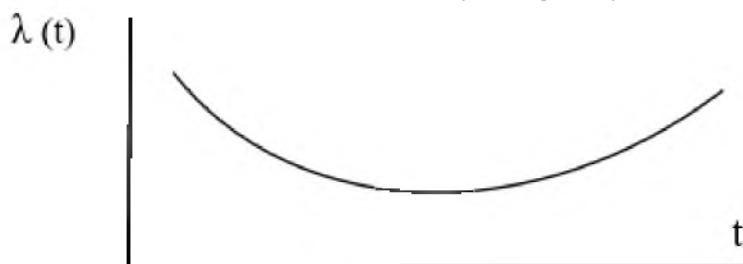


Fig. 1 – Dependence of failure rate on operating time for electromechanical systems

This characteristic has a pronounced period of operating time, within which the value of the failure rate $\lambda(t)$ is minimal and constant. This section is usually called the period of normal operation. Usually, it is within the period of normal operation that the technical life of objects is assigned, and a “spike” of values of $\lambda(t)$ at the beginning and end of operating time t , which is explained by an increased number of failures due to unused parts at new facilities and high wear of parts at old facilities, they try to exclude from the limits of the designated and between-repairs resource of the object.

To assess the reliability indicators of electrical devices, in most cases, two methods are used: the coefficient method and the π -factor assessment method. Both methods basically repeat each other. The difference is that the first approach is focused on the domestic element base, the second - on foreign ones.

Calculation of the operational failure rate of an element (node, block) using the coefficient method comes down to the following relationship:

$$\lambda_3 = \lambda_6 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 k_7, \quad (1)$$

where λ_6 is the basic failure rate of the element under nominal operating conditions; $k_1 \dots k_7$ – correction factors taking into account mechanical and electrical overloads, changes in temperature, humidity, pressure, etc.

The values of the basic failure rate and correction factors can be found in domestic reliability reference books [15-16].

The π -factor method is based on the American standard MIL-HDBK-217F This is a reliability guide developed by the US Department of Defense. The standard was developed to predict the reliability of military components, then was extended to non-military areas and is currently the most used method for predicting reliability.

The π -factor method uses the following failure rate model

$$\lambda_3 = \lambda_6 \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E, \quad (2)$$

where π_T – temperature coefficient;

π_A – load factor;

π_R – power factor;

π_S – supply voltage ratio;

π_C – design factor;

π_Q – quality factor;

π_E – environmental coefficient.

Calculation of reliability indicators of a multiphase valve generator for mini-hydroelectric power plants. Let's use the coefficient calculation method. The reference book provides the following failure rate model for power diodes and diode assemblies

$$\lambda_3 = \lambda_{6.c.r} k_p k_{д.н} k_\phi k_s k_3 k_{пп}, \quad (3)$$

where $\lambda_{6.c.r}$ – is the basic group-average failure rate of the element under nominal operating conditions;

k_p – mode coefficient;

$k_{д.н}$ – load factor;

k_ϕ – functional coefficient;

k_s – voltage load factor;

k_3 – exploitation factor;

$k_{пп}$ – acceptance rate.

Model (3) is used to calculate the operational failure rate of those types of semiconductor devices for which, due to insufficient information, failure rate values λ_6 are not given. In addition, this model is used to assess the level of failure rates of groups of devices as a whole.

For rectifier diodes [16] $\lambda_{6.c.r} = 0,091 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, $k_p = 0,5467$ (with $k_{э.л} = I_{раб}/I_{макс} = 0,8$ и $t = 40^\circ C$), $k_{пп} = 1$, $k_{д.н} = 5$ (at the maximum permissible average rectified current according to the specifications is more than 20 A), $k_s = 2$, $k_3 = 1$ (at a voltage load from 90 to 100%), $k_\phi = 1,5$. Distribution of failures: open circuit – 14%, short circuit – 6%, gradual (parametric) failures – 80%.

Then the operational failure rate of the rectifier diode will be:

$$\lambda_3 = 0,091 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5467 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 = 0,75 \cdot 10^{-6} 1/h. \quad (4)$$

Let us calculate the probability of failure-free operation (reliability) p and the probability of failure q of the diode under the assumption of a constant operational failure rate for an operating time of $T = 10,000$ hours from the period of normal operation of the diode. Under the accepted assumptions.

$$p(T) = e^{-\lambda_3 T}, \quad q(T) = 1 - p(T) = 1 - e^{-\lambda_3 T}. \quad (5)$$

Using the series expansion of the exponential

$$e^x = 1 + x + x^2/2! + x^3/3! + \dots, \quad (6)$$

for small values of x , a simpler approximate expression for calculating p and q can be obtained:

$$p(T) \cong 1 - \lambda_3 T, \quad q(T) \cong \lambda_3 T. \quad (7)$$

Expression (6) at small values of $\lambda_3 T$ provides the necessary accuracy of calculations. At the accepted values of λ_3 and T

$$p \cong 0,9925, \quad q \cong 0,0075. \quad (8)$$

Further, these values will be used when calculating the reliability of an uncontrolled rectifier.

For electric machines, the following model of operational failure rate is given in

$$\lambda_3 = (\lambda_{\text{б.с.г.эл}} k_t + \lambda_{\text{б.с.г.м}} k_{T.n.t}) k_3, \quad (9)$$

where $\lambda_{\text{б.с.г.эл}}$ – is the base average group intensity of electrical failures for temperature $t = 25^\circ C$ for the time of minimum operating time $T_{н.м}$ on an electric machine;

$\lambda_{\text{б.с.г.м}}$ – basic group average intensity of mechanical failures for operating time $T=3000$ hours for brushless machines at rotation speed $n=2000$ rpm and ambient temperature $t = 25^\circ C$;

$\lambda_{\text{с.г.м}}$ – mechanical failure rate;

$k_{T.n.t}$ – ratio $\lambda_{\text{с.г.м}}/\lambda_{\text{б.с.г.м}}$ for different values of T, n, t (this ratio is equal to unity at $T=3000$ h for brushless machines at frequency rotation $n=2000$ rpm and ambient temperature $t = 25^\circ C$);

k_t – temperature coefficient of insulation;

k_3 – severity coefficient of operating conditions for electrical machines.

In for contactless electric machines $\lambda_{\text{б.с.г.эл}} = 0,12 \cdot 10^{-6}$ 1/h; $\lambda_{\text{б.с.г.м}} = 0,00003 \cdot 10^{-6}$ 1/h at $T_{н.м}=10000$ ч, $n=4000$ rpm, $t = 50^\circ C$ and insulation heat resistance class G ; $k_t = 4,04$ at insulation heating temperature

$$t_{\text{и}} = 50 + 40 + 10 = 100^\circ C$$

here the first term is equal to t , the second term takes into account the overheating of the machine body relative to t , the third term takes into account the overheating of the winding (relative to the body);

$$k_{T.n.t} = 66,28 \text{ at } T_{н.м}=10000 \text{ h, } n=4000 \text{ rpm and } t = 50^\circ C; k_3 = 7.$$

Then the operational failure rate of the machine will be:

$$\lambda_3 = (0,12 \cdot 10^{-6} \cdot 4,04 + 0,3 \cdot 10^{-10} \cdot 66,28) \cdot 7 = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.} \quad (10)$$

Let us calculate the probability of failure-free operation (reliability) p and the probability of failure q of the generator for operating time $T=10000$ hours. We will carry out the calculation using expressions (5) and (6).

The reliability and probability of failure values of a synchronous machine will be

$$p \cong 0,967, \quad q \cong 0,033. \quad (11)$$

Further, these values will be used when calculating the reliability of a multiphase synchronous generator.

Reliability model of a multiphase synchronous generator

Let's consider a synchronous generator with a ring multiphase winding excited by permanent magnets. The common points of each phase pair are connected to the racks of an uncontrolled diode rectifier.

The following failures that affect the generator's performance are considered:

- 1) break of one diode in one of the rectifier racks;
- 2) break of two diodes in one of the rectifier racks;
- 3) break of two diodes in two adjacent rectifier racks;
- 4) break of two diodes in two non-adjacent ones across one rectifier rack;
- 5) break of two diodes in two non-adjacent ones across two rectifier posts;
- 6) winding break in one of the generator phases;

- 7) rupture of windings in two adjacent phases of the generator;
- 8) rupture of windings in two non-adjacent generator phases;
- 9) rupture of windings in two non-adjacent through two phases of the generator.

Here is a list of “non-critical” failures that do not lead to complete failure of the generator. With the above failures, the quality of the generator's operation deteriorates, voltage ripples and electrical losses increase, but the generator's performance is not impaired if the voltage ripples do not exceed a specified limit value.

Under the assumption of independence of failures, cases 2, 3, 4 and 5 (failure of two diodes) for a particular generator design will be equally likely. Similarly, the same conclusion can be drawn for cases 7, 8 and 9 (failure of two windings). But, from the point of view of energy or the magnitude of voltage ripple, these failure options when two diodes break or two windings break, depending on the location of these failures, differ significantly.

Thus, it is necessary to calculate the probabilities of failure of no more than two diodes from 2N and failure of no more than two generator windings from N, where N is the number of phases of a multiphase generator. In this case, as a criterion for generator failure, we will take the excess of the maximum permissible level of voltage ripple.

With this approach, the optimal generator design from the point of view of reliability will be one that provides the maximum probability of failure-free operation at an acceptable level of voltage ripple.

Obviously, the greater the number of phases, the less the impact of a failure in each of them separately on the characteristics of the generator. On the other hand, an increase in the number of phases leads to an increase in the probability of failure in each of them. The same applies to diode failures in the racks of an uncontrolled rectifier. Thus, it is necessary to solve a compromise problem based on the requirements for the output characteristics and reliability of the generator.

One of the determining parameters of the generator output characteristics is output voltage ripple. In tables 1 and 2 Voltage ripples are given when diodes break in the racks of an uncontrolled rectifier and generator phase windings break, calculated earlier.

Table 1 – Voltage ripple when diodes break, %

| N/k | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 4 | 3 |
| 1 | 100 | 70 | 50 | 30 | 21 | 18 | 14 |
| 2 | 90 | 73 | 61 | 39 | 37 | 28 | 27 |

Table 2 – Voltage ripple during phase failure, %

| N/k | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 12 | 11 | 10 | 8 | 5 | 4 | 3 |
| 1 | 71 | 50 | 40 | 30 | 25 | 23 | 20 |
| 2 | 90 | 71 | 60 | 41 | 37 | 29 | 24 |

In the tables, parameter k is the permissible number of failures (k = 0, 1, 2) and N is the number of generator phases (N = 3...9).

Based on these data, we will determine the maximum probability of failure-free operation (hereinafter, simply reliability) of the generator at an acceptable level of voltage ripple.

To do this, it is necessary to determine the probabilities of the occurrence of the following events: the absence of diode failures in the racks of an uncontrolled rectifier (there are 2N of them for an N-phase generator), the failure of one diode, the failure of two diodes, the absence of breaks in the windings of an N-phase generator, a break in one winding and a break two windings. In this case, we consider failures to be independent and equally probable with a constant probability of failure of an individual element q. The q values for diodes and generator windings were calculated previously (see 4.7 and 4.11).

In the calculations we will use the following expression

$$P(N, k, q) = \sum_{i=0}^k C_N^i \cdot (1 - q)^{N-i} \cdot q^i, \tag{12}$$

where $C_N^i = \frac{N!}{i!(N-i)!}$ – the number of combinations from N to i (the number of options for failure-free operation at different values of k). When calculating the probability of diode failures, N in the formula must be replaced by 2N.

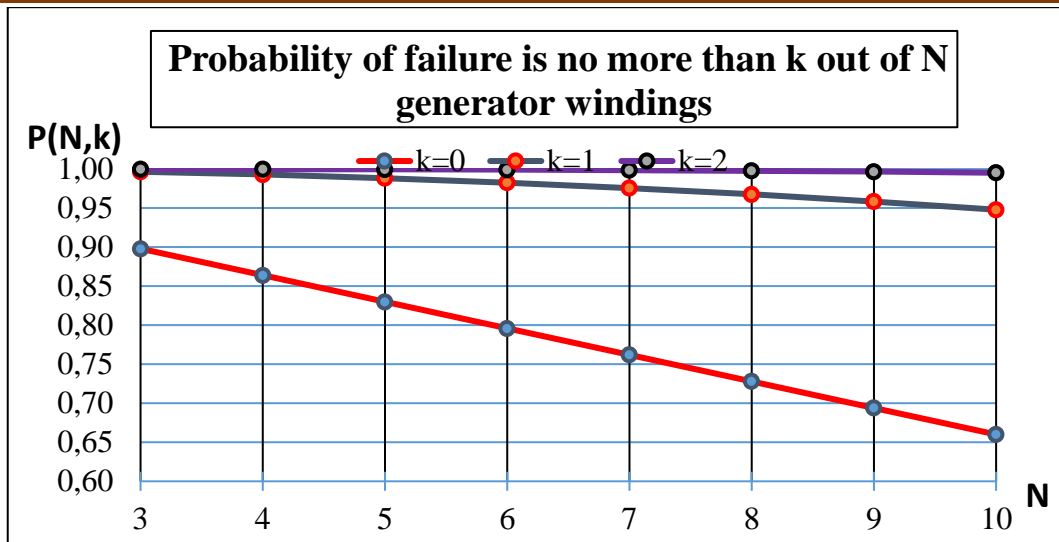


Fig.2 – Probability of failure is no more than k out of N generator windings

The next three figures show detailed graphs of diode failure probabilities for the cases k=0, k=1 and k=2.

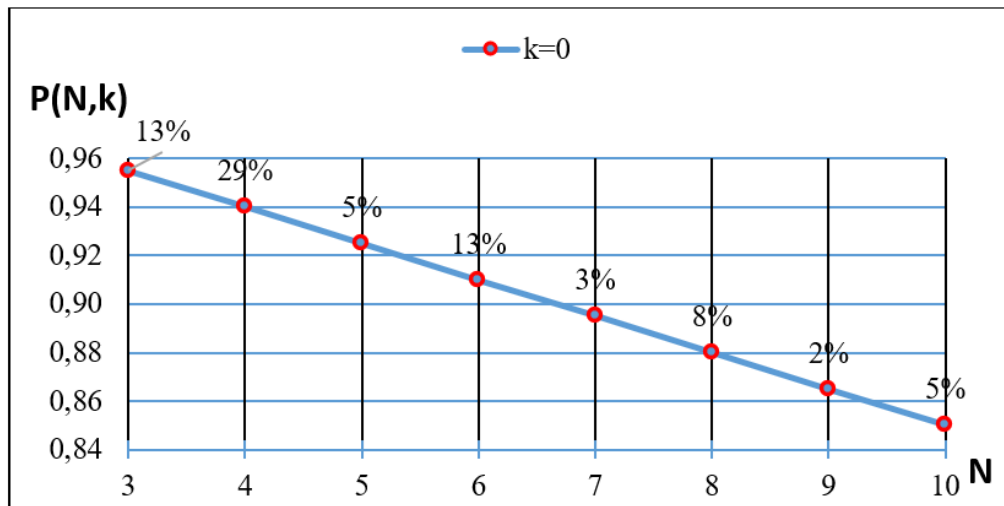


Fig. 3 – Probability of no diode failures

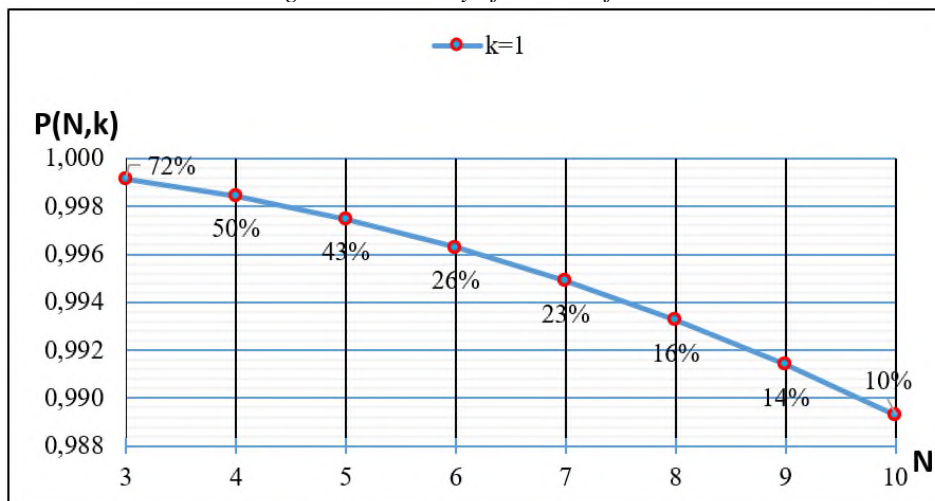


Fig. 4 – Probability of no more than one diode failure

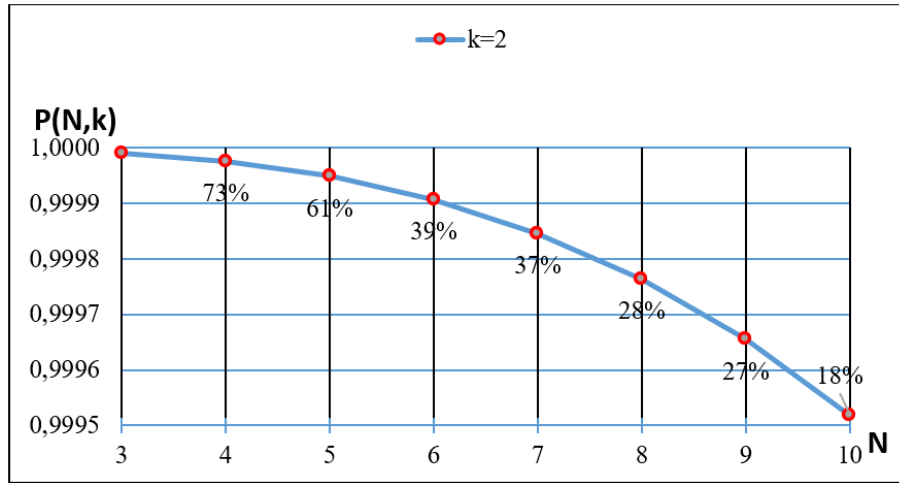


Fig. 5 – Probability of no more than two diode failures

Next to the probability curves are the voltage ripple values. Summarizing these data, Tables 1 and 2 show the probabilities of failure-free operation (reliability) of a synchronous generator for various combinations of the number of phases N and the permissible number of diode failures k , providing, accordingly, a voltage ripple value of no more than 10 %, 20% and 30%.

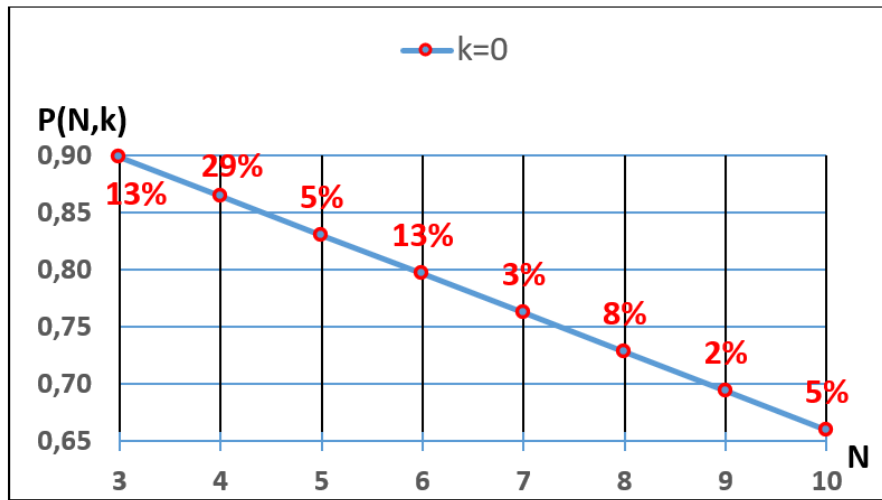


Fig. 6 – Probability of no winding failures

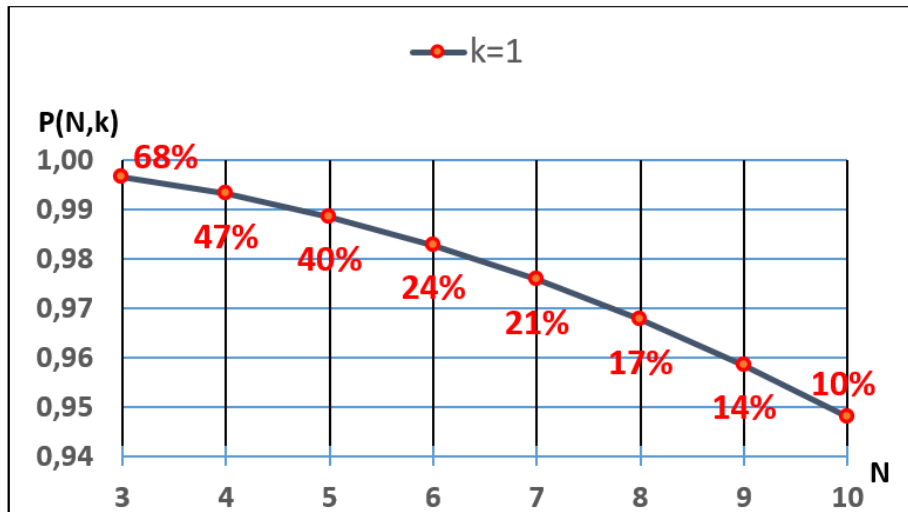


Fig. 7 – Probability of no more than one winding break

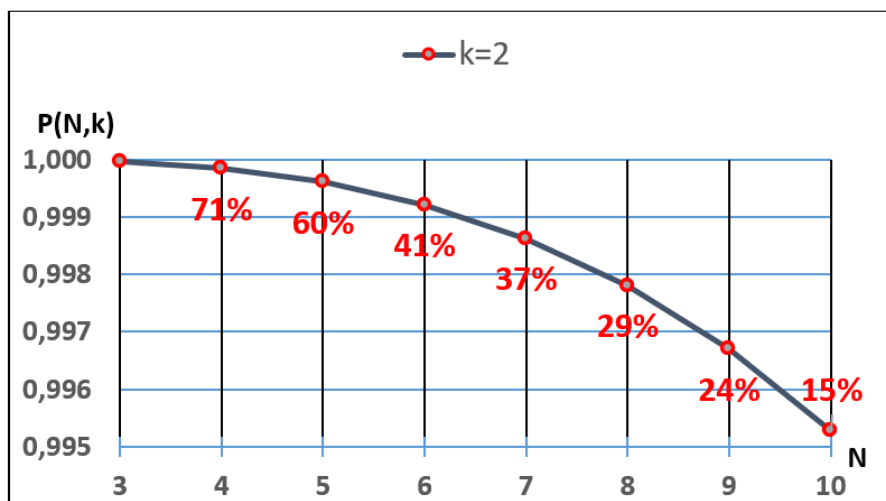


Fig. 8 – Probability of no more than two winding breaks

Analysis of reliability curves confirmed the presence of multidirectional trends: an increase in the number of phases leads to a decrease in ripple, but at the same time the reliability indicators of the generator decrease. Therefore, it is necessary to strive for the minimum possible number of generator phases, provided that the requirements for the output characteristics and reliability of the generator are met.

Based on the digital testing of various circuits and the analysis of failure probabilities at the required level of voltage quality in terms of ripple levels, we can recommend a 5- or 6-phase winding connected by a ring with a full-wave rectification circuit. At the same time, preference should be given to the 6-phase winding, since it is easiest to fit into the slots of a traditional three-phase winding, which greatly simplifies the generator manufacturing technology.

Conclusion

Developing a reliability model for a multiphase synchronous generator with an uncontrolled rectifier requires a comprehensive understanding of generator design, fault tolerance, and harmonic disturbance suppression. Analysis of the probability of failures when diodes and windings of synchronous generators with permanent magnets with different numbers of phases are broken using the coefficient calculation method, of which the level of rectified voltage ripple was chosen as a quality indicator, showed that from the point of view of the required reliability and ripple level there is an optimal number phases that meet these criteria. To harness the energy of small rivers, it is recommended to use a 6-phase winding connected in a ring, powered by a full-wave rectifier.

Reviewer: Mirzozoda B.M. — Ph.D., Associate Professor of the Department of “Relay Protection and Automation of Energy Systems”

Literature

1. Non-synchronous fast frequency reserves in renewable energy integrated power systems / Karbouj, H., Rather, Z.H., Flynn, D. // A critical review International Journal of Electrical Power and Energy Systems, – 2019. –no 106, P. 488-501.
2. Review of frequency support control methods for asynchronous interconnection system based on VSC-HVDC 2019/ Zhu, L., Yuan, Z., Sheng, C., Liu, Z., Guo, J. //Electric Power Automation Equipment 39(2), P . 84-92.
3. Decentralized model predictive control of voltage source converters for AC frequency containment apangelis / L., Debry, M.S., Prevost, T., Panciatici, P., Van Cutsem, T. International Journal of Electrical Power and Energy Systems -2018. – no 98, P. 342-349.
4. Воронин, С.Г. Автоматизированная мини-ГЭС как основа системы электроснабжения горных районов Таджикистана / С.Г. Воронин, А.М. Давлатов, О.О. Султонов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 100–107. DOI: 10.14529/power190311
5. Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms / Gandzha, S. Aminov, D. Kosimov, B. // В сборнике: Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, – UralCon 2018, – 2018. – P.282-287.
6. Application of Digital Twins Technology for Analysis of Brushless Electric Machines with Axial Magnetic Flux / Gandzha, S. Aminov, D. Kiessh, I. Kosimov, B. // В сборнике: Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC – 2018, – 2018. – P. 8570132.

7. Comparative assessment of circuits for connecting windings of synchronous generators as part of direct current sources / S. G. Voronin, N. V. Klinachev, A. M. Davlatov, D. V. Paukov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. – 2020. – Т. 20, No. 3. – P. 110-118. – DOI 10.14529/power200311. – EDN XYIDHD.
8. Sohn, J. Alternator torque model based on equivalent circuit of synchronous generator for electric power management / Sohn, J., Hong, S., Sunwoo, M. // IEEE Transactions on Vehicular Technology - 2013. –no 62(8), P. 3593-3602.
9. Kabir, S.M. Brushless exciter model / Kabir, S.M., Shuttlesworth, R.L. // IEE Proceedings C: Generation Transmission and Distribution - 1994–no 141(1), P. 61-67.
10. Brushless self-excited three-phase synchronous generator without exciter / Inoue, K., Yamashita, H., Nakamae, E., Fujikawa, T. // Electrical Engineering in Japan- 1993 –no 113(8), P. 101-115.
11. Voronin, S. Comparative evaluation of connection schemes of synchronous generator windings as part of Dc sources / S. Voronin, A. Davlatov, B. Kosimov // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, Sochi, 18–22 мая 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9112072. – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112072. – EDN PZKKUV.
12. Voronin, S. Features of Balancing a Three-Phase Step Voltage at the Output of Semiconductor Converters / S. Voronin, O. Sulonov, A. Davlatov // Proceedings - 2020 Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research and Practice, PEAMI 2020, Magnitogorsk, 25–26 сентября 2020 года. – Magnitogorsk, 2020. – P. 119-123. – DOI 10.1109/PEAMI49900.2020.9234355. – EDN CPGTNP.
13. GOST 27.301-95. Interstate standard. Reliability in technology. Reliability calculation. Basic provisions. – М.: ИПК Standards Publishing House, 1996. – III, 15 p.
14. Suchkova A.B. RF patent 2.766875. Digital polyphase generator. Suchkova A.B. Stankov V.S.
15. Ismagilov F.R. RF patent 2017141689. Multiphase synchronous generator with half-wave rectifier. Ismagilov F.R. (RU), Vavilov V.E., Farrakhov D.R., Miniyarov A.Kh., Veselov A.M.
16. Andrianova R.A. Estimation of the probability of failure-free operation of multi-section brushless motors. Andrianova R.A., Voronin S.G.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- INFORMATION ABOUT AUTORS

| TJ | RU | EN |
|--|--|-----------------------------------|
| Давлатов Азамҷон Маҳмадиевич | Давлатов Азамҷон Маҳмадиевич | Davlatov Azamjon Mahmadiyevich |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidat of engineering sciences |
| Донишқадаи энергетикӣи Тоҷикистон | Институт Энергетикӣи Тоҷикистони | Energy Institute of Tajikistan |
| E-mail: onk.tj@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Раҳматуллоев Ашуралӣ Зокирович | Раҳматуллоев Ашуралӣ Зокирович | Rakhmatulloev Ashurali Zokirovich |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidat of engineering sciences |
| “Шабақаҳои тақсимои барқ” дар ш. Бохтар | “Распределительные электрические сети” в г. Бохтар | Electric Networks in Bokhtar |
| TJ | RU | EN |
| Одинаев Неккадам Хушқадамович | Одинаев Неккадам Хушқадамович | Odinaev Nekkadam Khushkadamovich |
| Донишқадаи Энергетикӣи Тоҷикистон | Институт Энергетикӣи Тоҷикистони | Institute of Energy Tajikistan |
| н.и.т. | кандидат техникеских наук | Candidate of Technical Sciences |
| E-mail: onk.tj@mail.ru | | |

УДК 621.311.001.57

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ НАРУШЕНИЯМИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ МАТЛАБ

З.С. Эшов

Горно-металлургический институт Таджикистана

В статье приведено моделирование системы электроснабжения с помощью программы MATLAB на примере одной из районных электрических сетей Республики Таджикистан.

На основе математического моделирования процессов при анализах в нормальном и аварийном режиме, определены расчетные параметры элементов системы электроснабжения. Анализированы причины нарушений изменения параметров тока и напряжения, которые невозможно исследовать аналоговыми приборами. В данной имитационной модели было рассмотрено короткое замыкание на шинах низкого напряжения, которые питают одного из двух синхронных двигателей насосной станции мощностью по 8 МВ*А. Проанализированы и сравнены основные параметры линий электропередачи в аварийном и нормальном режимах с помощью математического пакета MATLAB.

Ключевые слова: моделирование, режим, параметры тока и напряжения, электроснабжение, устойчивость системы.

ТАҲЛИЛИ РАВАНДҶО ДАР ХАТҶОИ ИНТИҚОЛИ БАРҚ БО УСУЛИ МОДЕЛСОЗИИ МАТЕМАТИКӢ ДАР МАТЛАБ, КИ БА ВАЙРОНШАВИИ УСТУВОРИИ СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКӢ МЕОРАД

З.С. Эшов

Дар мақола моделсозии системаи таъминоти барқ бо истифода аз барномаи MATLAB дар мисоли яке аз шабакаҳои минтақавии барқи Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст.

Тибқи амсиласозии риёзӣ ва компютерӣ равандҳои гузариш барои релъаҳои мусоид ва садамавӣ дар тамоми элементҳои системаи таъмини барқи шабакаи таҳлил шаванда муайян карда шуд. Сабабҳои вайроншавии тағйирёбии параметрҳои ҷараён ва шиддат таҳлил карда шудаанд, ки онҳоро бо асбобҳои аналогӣ санҷидан имконнопазир нест.

Дар ин модел расиши кӯтоҳ дар тарафи тахтасими шиддати паст ба назар гирифта шудаанд, ки он як муҳаррики синхронӣ бо иқтидори 8 МВ*А таъмин мекунад. Параметрҳои асосии хатҳои интиқоли барқ дар речаҳои муътадил ва садамавӣ бо истифода аз бастаи математикӣ MATLAB таҳлил ва муқоиса карда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: моделсозӣ, реча, параметрҳои ҷараён ва шиддат, барқтаъминкунӣ, устувории система.

ANALYSIS OF PROCESSES IN POWER LINES ACCOMPANYING VIOLATED STABILITY OF THE ENERGY SYSTEM USING THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Z.S. Eshov

The article presents the modeling of the power supply system using the MATLAB program on the example of one of the district electric networks of the Republic of Tajikistan.

Based on the mathematical modeling of processes during analysis in normal and emergency mode, the calculated parameters of the power supply system elements are determined. The causes of disturbances in the change of current and voltage parameters that cannot be investigated by analog devices are analyzed. In this simulation model, a short circuit on low-voltage buses, which feeds one synchronous motor of a pumping station with a capacity of 8 MVA, were considered. The main parameters of power transmission lines in emergency and normal modes are analyzed and compared using the MATLAB mathematical package.

Keywords: modeling, mode, current and voltage parameters, power supply, system stability.

Введение

В последнее время нередко наблюдаются технологические нарушения электроснабжения при возникновении короткого замыкания в линиях электропередач, что приводит к нарушениям устойчивости электроэнергетической системы, которые зависят от параметров тока и напряжения в нормальном и послеаварийном режиме. Однако существующие измерительные приборы системы электроснабжения морально и физически устарели, в связи с чем возникает необходимость имитационного моделирования и получения достоверных данных. Данная проблема актуальна при разработке режимов запуска двигателей больших мощностей и защит при возникновении коротких замыканий на линиях электропередачи, снабжающих крупных электропотребителей.

Методы. Осциллограммы переходных процессов в момент появления КЗ анализированы на примере отдельных сегментов системы электропередачи Аштского района. Указанные части системы включают в себя следующие элементы: источников питания синхронного генератора без устройства автоматического ввода резерва (АВР); воздушная ЛЭП с переменным напряжением 220 кВ и протяженностью 74,4 км; трансформатор марки АТДЦТН мощностью 125 МВА напряжением 220/110/6 кВ; две воздушные линии с напряжением 110 кВ общей протяженностью 9,83 км; понижающий трансформатор марки ТРДН мощностью 25 МВ*А напряжением 110/10 кВ; одного синхронного двигателя серии ВДС2-325/69-16. Разработка математического моделирования

выполнялась в среде пакета прикладных программ MATLAB/Simulink. В процессе моделирования учитывалась неизменность напряжения по всей протяженности линии в нормальном режиме. Такое условия имеет место для насосных станций мелиоративного назначения, к которым относятся все насосные станции, а также скважины вертикального дренажа в количестве около 600 штук со средней мощностью 22 кВт.

Передача электрической энергии на Аштского района производится от ГЭС «Дружба народов», расположенной в г. Гулистон (бывший г. Кайраккум). Данная операция выполняется воздушной линией в трех этапах. Сначала по линии (220/110/6 кВ) напряжения 220 кВ, подается от ГЭС-24 до подстанции «Ашт», общей протяженностью 74,4 км. Далее энергия преобразуется на 110/35/10 кВ и передается до подстанции «Бахори», по ВЛ-110 кВ длиной 2,9 км. Затем производится очередное преобразование энергии на 110/10 кВ и подается до подстанции «АНС-1» протяженностью 6,93 км. Последняя подстанция предназначена для обеспечения насосных станций напряжением 10 кВ и поскольку они отнесены к первой категории, то задача обеспечения устойчивой энергией становится первостепенной. На рис. 1 иллюстрирован блок-схема всех этих трех этапов передачи электрической энергии.

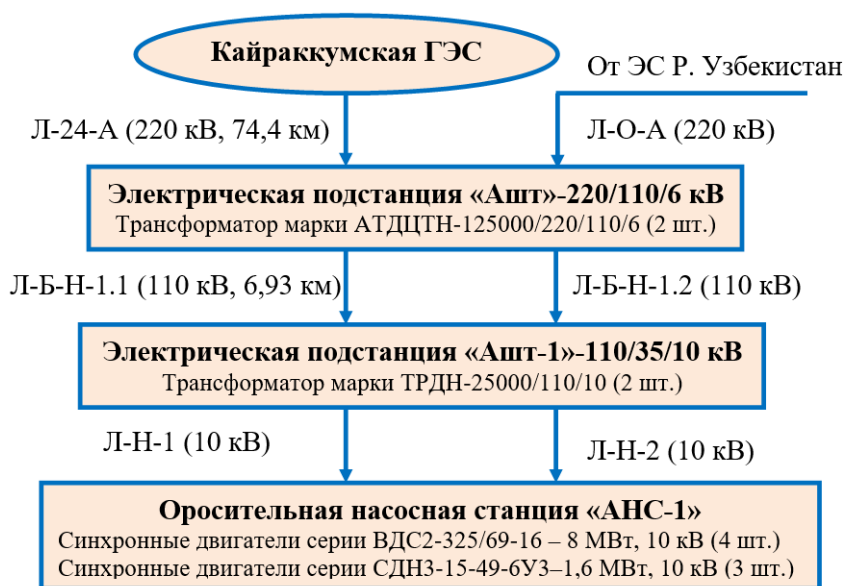


Рисунок 1 –Трехкаскадная блок-схема передачи электроэнергий «ГЭС–АНС-1»

Переходные процессы насосной станции при прямых пусках одного электродвигателя

Для решения поставленной задачи и достижения цели работы были моделированы система обеспечения стабильной энергией всех насосных станций, указанных на рис. 1. В техническом паспорте указанных компонентов системы электроснабжения отсутствуют параметры, без которых невозможно проводить моделирование. Все параметры этих элементов системы электроснабжения, необходимые для компьютерного моделирования нужно будет рассчитать. С этой целью для расчета параметров трансформатора используются каталожные данные и необходимые формулы.

Расчет номинального фазного тока в первичной обмотке трансформатора производили формулой, А

$$I_{1H} = \frac{S_{2H}}{\sqrt{3}U_{1H}} \quad (1)$$

здесь S_{2H} – номинальная мощность на стороне низкого напряжения трансформатора; U_{1H} – значения номинального напряжения на входе трансформатора.

Аналогично, полное сопротивление КЗ рассчитывали по формуле:

$$Z_k = \frac{U_{1H}U_k\%}{\sqrt{3}I_{1H}100\%} \quad (2)$$

здесь $U_k\%$ - напряжение КЗ трансформатора в процентах.

Расчет активного сопротивления КЗ короткого замыкания трансформатора произвели по формуле, Ом

$$r_k = \frac{P_k}{3I_{1H}^2} \quad (3)$$

здесь P_k – мощность КЗ трансформатора, [Вт].

Величина активного сопротивления первичной и приведенное активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора рассчитывали по формуле, Ом

$$R_1 = R_2' = \frac{r_k}{2} \quad (4)$$

здесь R_2' - приведенное в сторону высокого напряжения активное сопротивление стороны НН.

Коэффициент трансформации трансформатора рассчитывали по формуле:

$$k = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} \quad (5)$$

Величина активного сопротивления на выходе трансформатора рассчитывали по формуле, Ом

$$R_2 = \frac{R_2'}{k^2} \quad (6)$$

Реактивное сопротивление КЗ трансформатора определили по формуле, Ом

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} \quad (7)$$

здесь Z_k^2 – полное сопротивление КЗ.

Величину индуктивности рассеяния первичной обмотки и приведенная индуктивность рассеяния вторичной обмотки трансформатора рассчитывали по формуле, Гн

$$L_1 = L_2' = \frac{x_k}{2\omega} \quad (8)$$

здесь L_2' - приведенная индуктивность рассеяния на выходе трансформатора; ω – угловая скорость вращения магнитного поля.

Расчет индуктивности рассеяния второй обмотки трансформатора производили по формуле, Гн

$$L_2 = \frac{L_2'}{k^2} \quad (9)$$

Сопротивление параллельной ветви намагничивающего контура трансформатора, Ом

$$R_m = \frac{U_1^2}{P_x} \quad (10)$$

здесь P_x – мощность потерь ХХ трансформатора.

Активная составляющая тока ХХ трансформатора, А

$$I_{xxa} = \frac{U_1}{\sqrt{3} * R_m} \quad (11)$$

Расчет тока ХХ трансформатора производили по формуле, А

$$I_{xx} = I_{1н} \frac{I_x}{100} \quad (12)$$

Индуктивная составляющая тока ХХ трансформатора рассчитывали по формуле, А

$$I_{xxr} = \sqrt{I_{xx}^2 - I_{xxa}^2} \quad (13)$$

А взаимную индуктивность обмоток трансформатора определили по формуле, Гн

$$L_m = \frac{U_1}{\sqrt{3}\omega I_{xxr}} \quad (14)$$

На таблице 1 и 2 отражены рассчитанные параметры трансформаторов, установленных на первом этапе линии электропередач ГЭС-Ашт, а также эти же величины, указанные в каталоге [2].

Таблица 1 - Расчетные и стандартные значения параметров для трансформаторов, установленные на первом сегменте

ЛЭП

| Каталожные параметры | Расчетные параметры |
|---|---|
| $S_{ном}=125$ МВА, $U_{ВН}=230$ кВ, $U_{СН}=121$ кВ, $U_{НН}=6,3; 10,5; 38,5$ кВ, $\Delta P_{ХХ}=65$ кВт, $\Delta P_{к.з(ВН-СН)}=315$ кВт, $\Delta P_{к.з(ВН-НН)}=160$ кВт, $\Delta P_{к.з(СН-НН)}=140$ кВт, $U_{к(ВН-СН)}=11$ %, $U_{к(ВН-НН)}=45$ % $U_{к(СН-НН)}=28$ % $I_{ХХ}=0,4$ % | $I_{1н} = \frac{S_{2н}}{\sqrt{3}U_{1н}} = 314,4$ А; $Z_k = \frac{U_{1н}U_k\%}{\sqrt{3}I_{1н}100\%} = 46,55$ Ом; $r_k = \frac{P_k}{3 * I_{1н}^2} = 1,06$ Ом; $R_1 = R_2 = \frac{r_k}{2} = 0,53$ Ом; $k = \frac{U_1}{U_2} = 1,9$; $R_2 = \frac{R'_2}{k^2} = 0,147$ Ом; $x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} = 46,52$ Ом; $L_1 = L_2 = \frac{X_k}{2\omega} = 0,074$ мГн; $L_2 = \frac{L'_2}{k^2} = 0,02$ мГн; $R_m = \frac{U_1^2}{P_x} = 813846$ Ом; $I_{ХХа} = \frac{U_1}{\sqrt{3} * R_m} = 0,1633$ А; $I_{ХХ} = I_{1н} * \frac{I_x}{100} = 1,256$ А; $I_{ХХr} = \sqrt{I_{ХХ}^2 - I_{ХХа}^2} = 1,245$ А; $L_m = 340$ Гн. |

Таблица 2 - Расчетные и стандартные значения параметров для трансформаторов, установленные на втором сегменте

ЛЭП

| Каталожные параметры | Расчетные параметры |
|---|--|
| $S_{ном}=25$ МВА, $U_{ВН}=115$ кВ, $U_{НН}=11$ кВ, $\Delta P_{ХХ}=27$ кВт, $\Delta P_{к.з}=120$ кВт, $U_{к}=10,5$ %, $I_{ХХ}=0,7$ % $R_T=42,6$ Ом $X_T=508,2$ Ом $Q_X=37,5$ кВАр | $I_{1н} = \frac{S_{2н}}{\sqrt{3}U_{1н}} = 125,7$ А; $Z_k = \frac{U_{1н}U_k\%}{\sqrt{3}I_{1н}100\%} = 55,53$ Ом; $r_k = \frac{P_k}{3 * I_{1н}^2} = 2,53$ Ом; $R_1 = R_2 = \frac{r_k}{2} = 1,265$ Ом; $k = \frac{U_1}{U_2} = 10,45$; $R_2 = \frac{R'_2}{k^2} = 0,0116$ Ом; $x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} = 55,47$ Ом; $L_1 = L_2 = \frac{X_k}{2\omega} = 0,0883$ мГн; $L_2 = \frac{L'_2}{k^2} = 0,000808$ мГн; $R_m = \frac{U_1^2}{P_x} = 489814$ Ом; $I_{ХХа} = \frac{U_1}{\sqrt{3} * R_m} = 0,1357$ А; $I_{ХХ} = I_{1н} * \frac{I_x}{100} = 0,88$ А; $I_{ХХr} = \sqrt{I_{ХХ}^2 - I_{ХХа}^2} = 0,8694$ А; $L_m = 243,5$ Гн. |

Следующие параметры ЛЭП 220 кВ с проводом AGS-300/39 были использованы в моделировании: $r_0 = 0,054 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,328 \text{ Ом/км}$; $b_0 = 3,47 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}$; $L = 94,4 \text{ км}$.

Также был использован каталожные и расчетные параметры синхронного двигателя.

При использовании нами расчетных данных, была создана компьютерная модель системы электроснабжения оросительной насосной станции на основе математической программы MATLAB. Созданная однолинейная схема электроснабжения приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Однолинейная схема электроснабжения насосной станции

Следует отметить, что в насосной станции в реальности имеются два мощных синхронных генератора, но в данной модели рассмотрены переходные процессы, связанные с пуском и режимом короткого замыкания на шинах 10 кВ одного агрегата которое соответствует обычному режиму поливного сезона. Упрощенная модель электроснабжения приведена на рисунке 3.

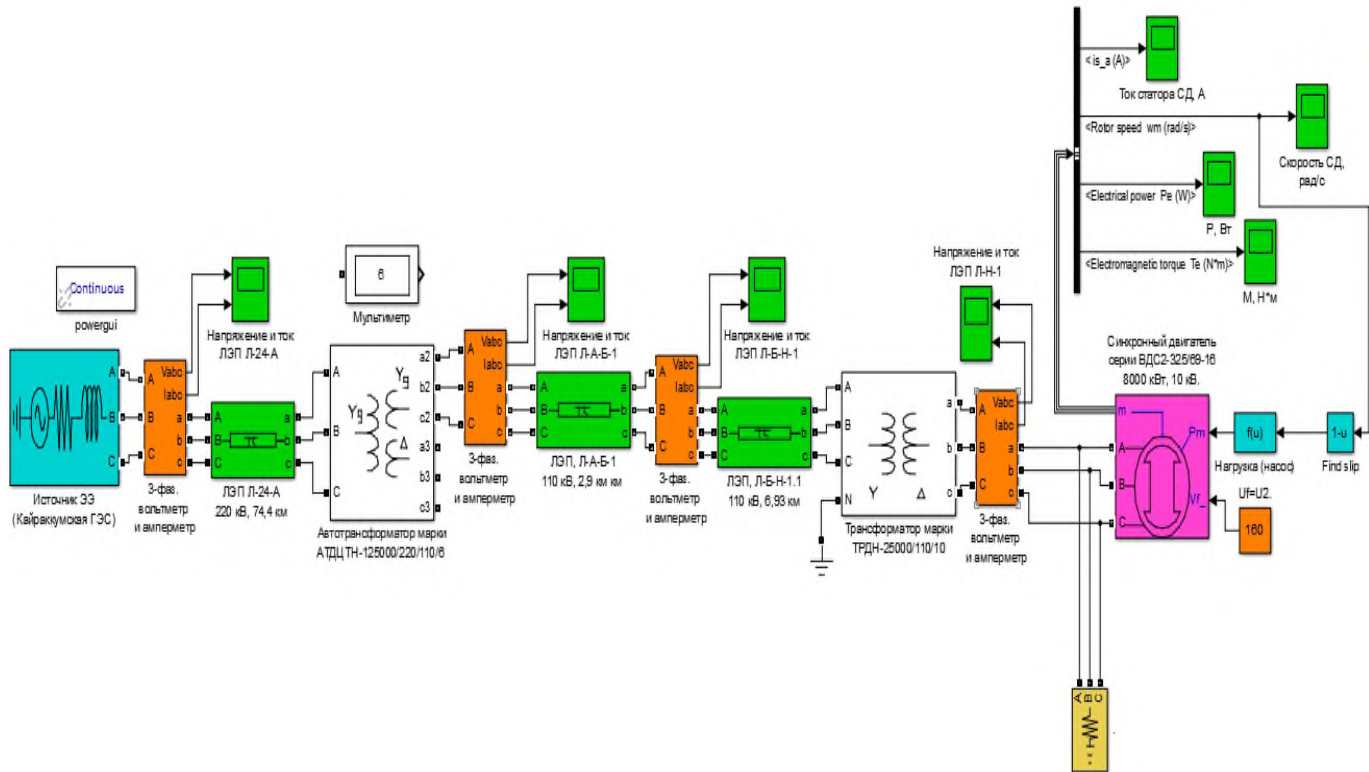


Рисунок 3 - Упрощенная модель системы электроснабжения АНС-1 при прямом запуске одного насосного агрегата

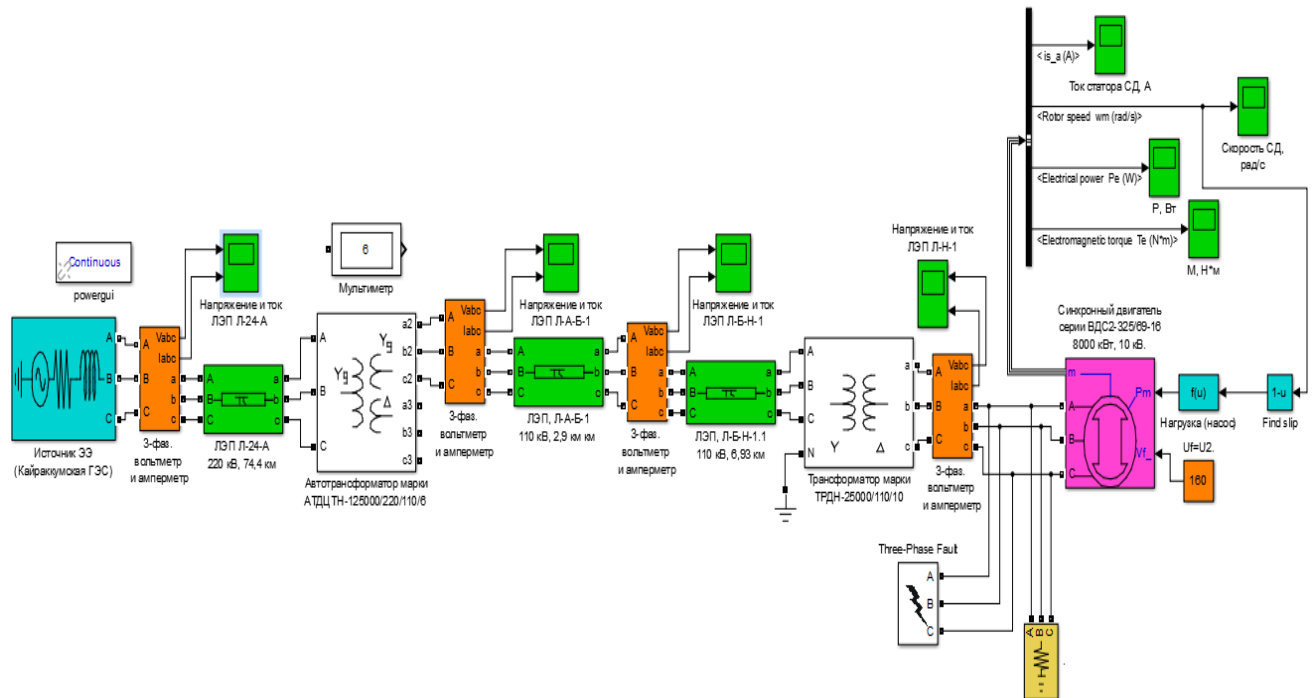


Рисунок 4 - Имитационная модель системы электроснабжения АНС-1 при прямом запуске НА в режиме короткого замыкания на шинах 10 кВ

Результаты моделирования, произведенные в схеме рис. 3 с помощью программы MATLAB, приведены на рисунках 5-14.

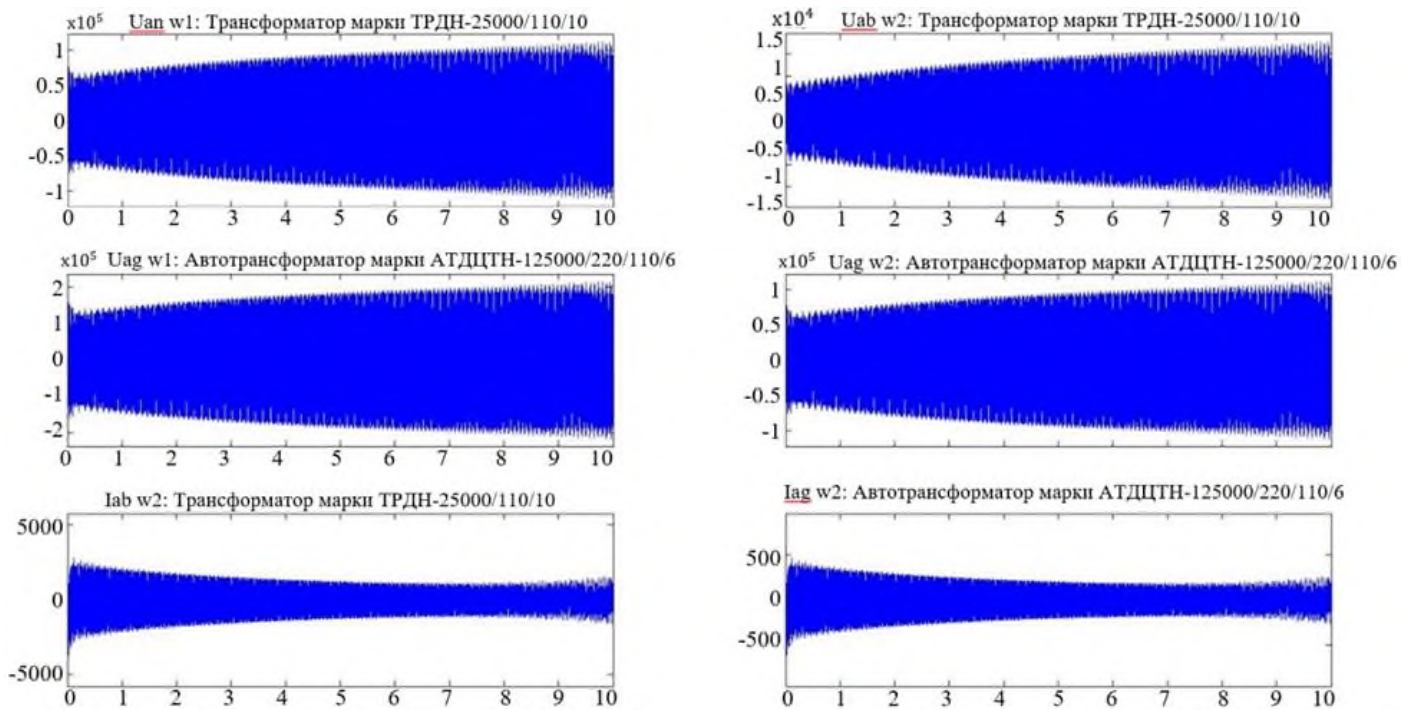


Рисунок 5 - Показания вольтметров на зажимах ВН и НН и показания амперметров на зажимах НН трансформаторов в нормальном режиме

Из этого рисунка видно, что в нормальном режиме при пуске двигателя переходной процесс заканчивается через 4, секунды и устанавливаются номинальные параметры.

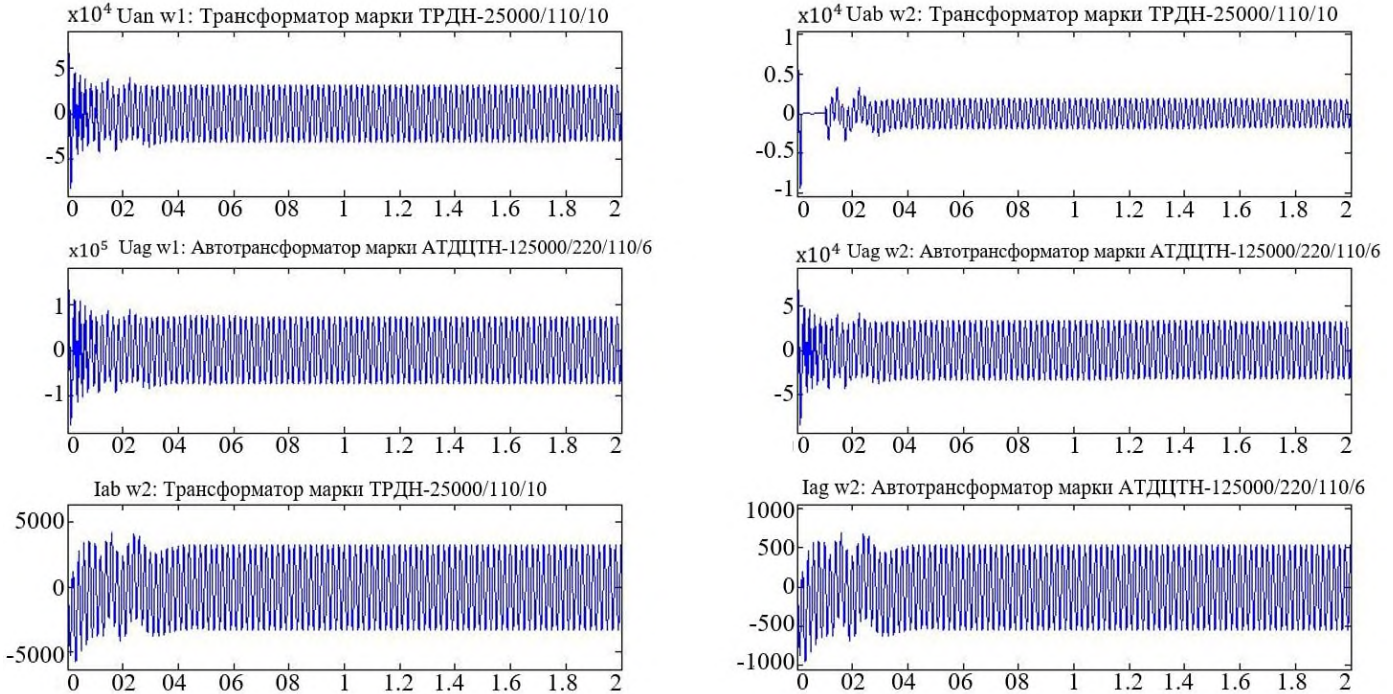


Рисунок 6 - Показания вольтметров на зажимах ВН и НН и показания амперметров на зажимах НН трансформаторов в режиме короткого замыкания

Из осциллограммы видно, что в режиме КЗ при пуске двигателя переходной процесс заканчивается через 0,38 секунды и устанавливаются параметры аварийного режима до момента срабатывания релейной защиты.

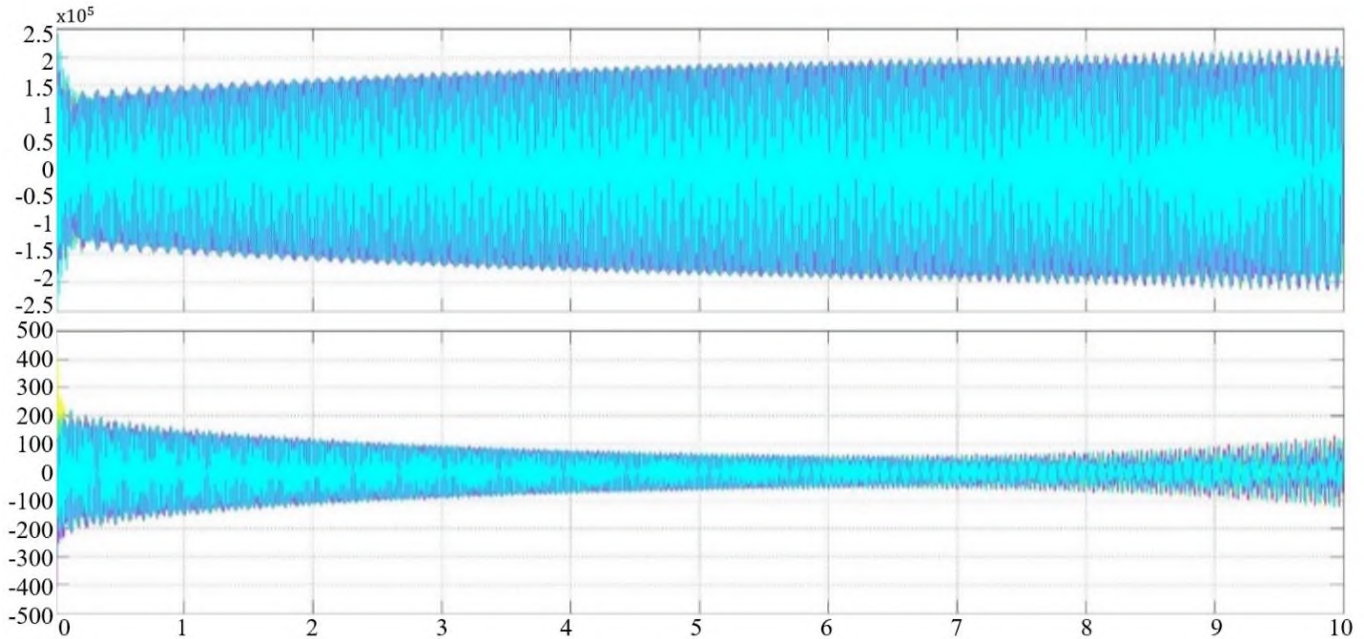


Рисунок 7 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП 220 кВ (Л-24-А) в нормальном режиме

Как видно из рисунка 7 при запуске модели напряжения на зажимах ЛЭП напряжением 220 кВ (диспетчерское наименование Л-24-А) скачкообразно повышается до максимальных значений, постепенно уменьшаясь в течении 0,2 секунды, но после постепенно повышается до номинальных значений в течении 4 секунд, на этом переходной процесс заканчивается. Из показаний амперметра следует, что ток на зажимах

линии в первых секундах пуска повышается до максимальных значений, потом постепенно уменьшается до минимальных значений в течении 7 секунд, после чего постепенно увеличивается до номинальных значений, переходной процесс длится в течении 9 секунд.

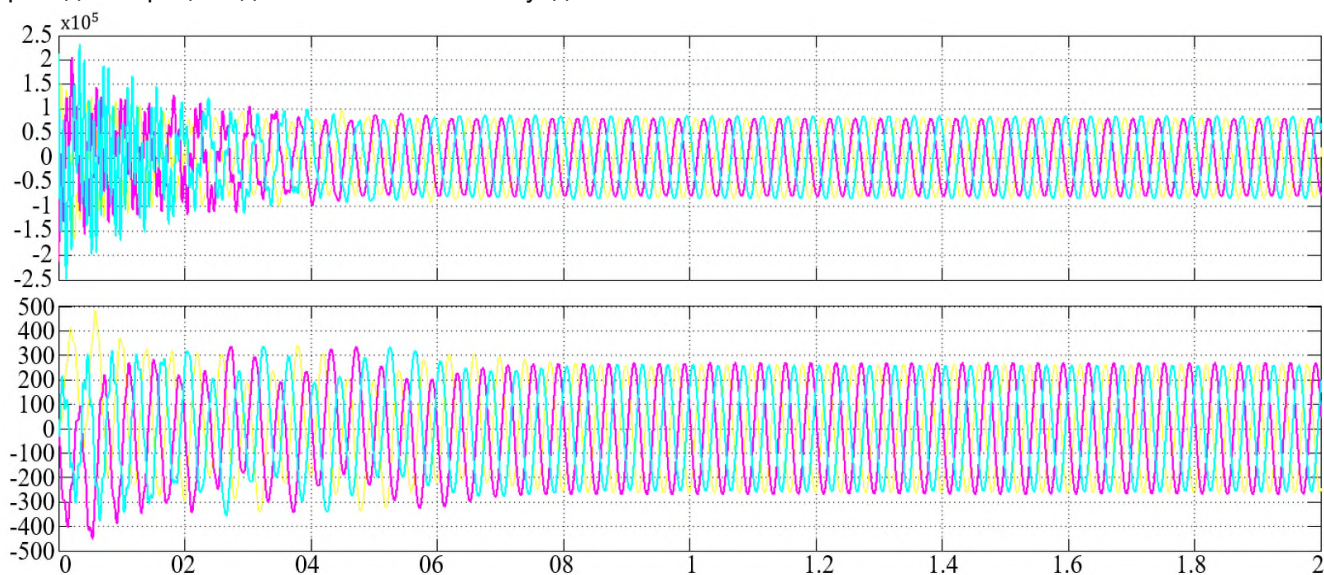


Рисунок 8 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП Л -24-А в режиме КЗ на шинах 10 кВ АНС-1

Из рисунка 8 видно, что в режиме КЗ напряжения на зажимах ЛЭП Л-24-А скачкообразно повышается примерно до 238 кВ и в течение 0,19 секунды снижается до параметра аварийного режима, то есть до 100 кВ. на осциллограмме амперметра видно, что ток КЗ на зажимах ЛЭП Л -24-А повышается до 500 А, за тем переходной процесс заканчивается через 0,3 секунды.

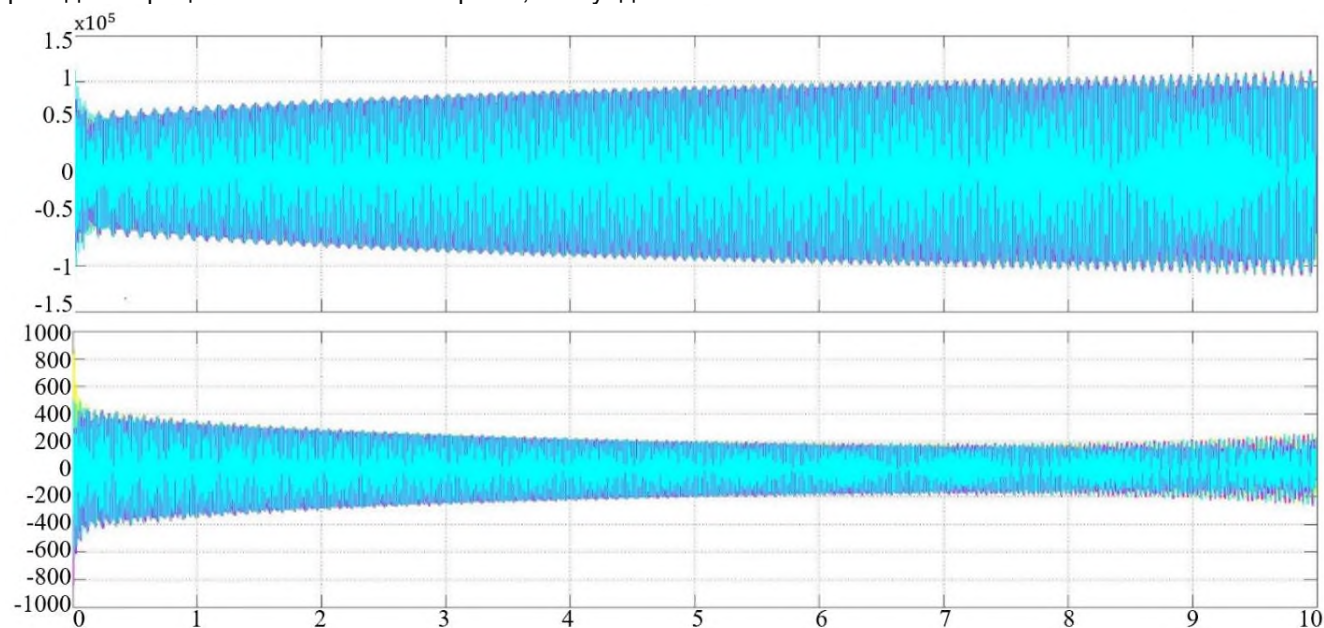


Рисунок 9 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП -110 кВ (дис.наим. Л-А-Б-1) в нормальном режиме

Из осциллограммы вольтметра следует, что во время запуска построенной имитационной модели напряжения на зажимах ЛЭП Л-А-Б-1 в первые секунды снижается, а затем постепенно повышается до номинального значения в течение 6 секунд, затем переходной процесс заканчивается. Из графика, показанного амперметра видно, что на первых секундах ток на зажимах выше указанного ЛЭП резко увеличивается и скачкообразно снижается до номинального значения в течение 5,8 секунд, на этом переходной процесс заканчивается.

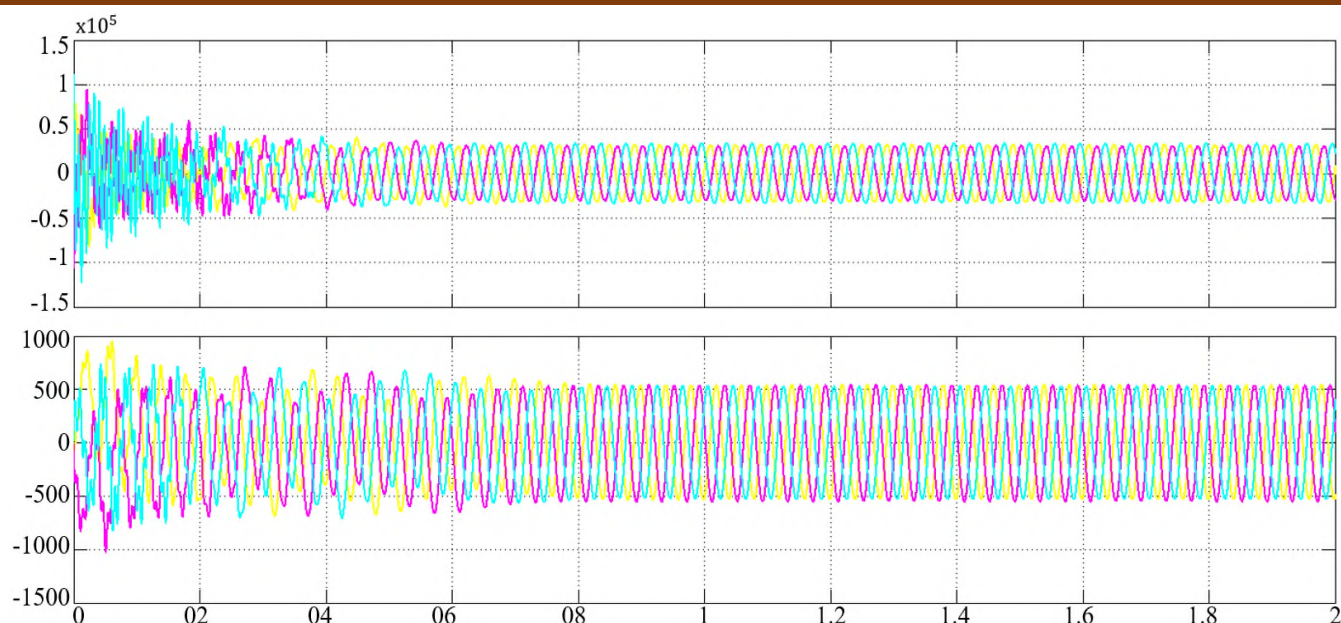


Рисунок 10 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП Л-А-Б-1 в режиме КЗ на шинах 10 кВ АНС-1

Из приведенного графика на рис. 10 видно, что при возникновении КЗ на шинах 10 кВ АНС-1 напряжение на зажимах ЛЭП Л-А-Б-1 сначала резко увеличивается, затем монотонно снижается в течение 0,3 секунды до номинального значения, и лишь в конце заканчивается переходной процесс. Наблюдения за показанием амперметра показали, что при снижении напряжения увеличивается ток КЗ и постепенно снижается в течение 0,4 секунды до номинального значения.

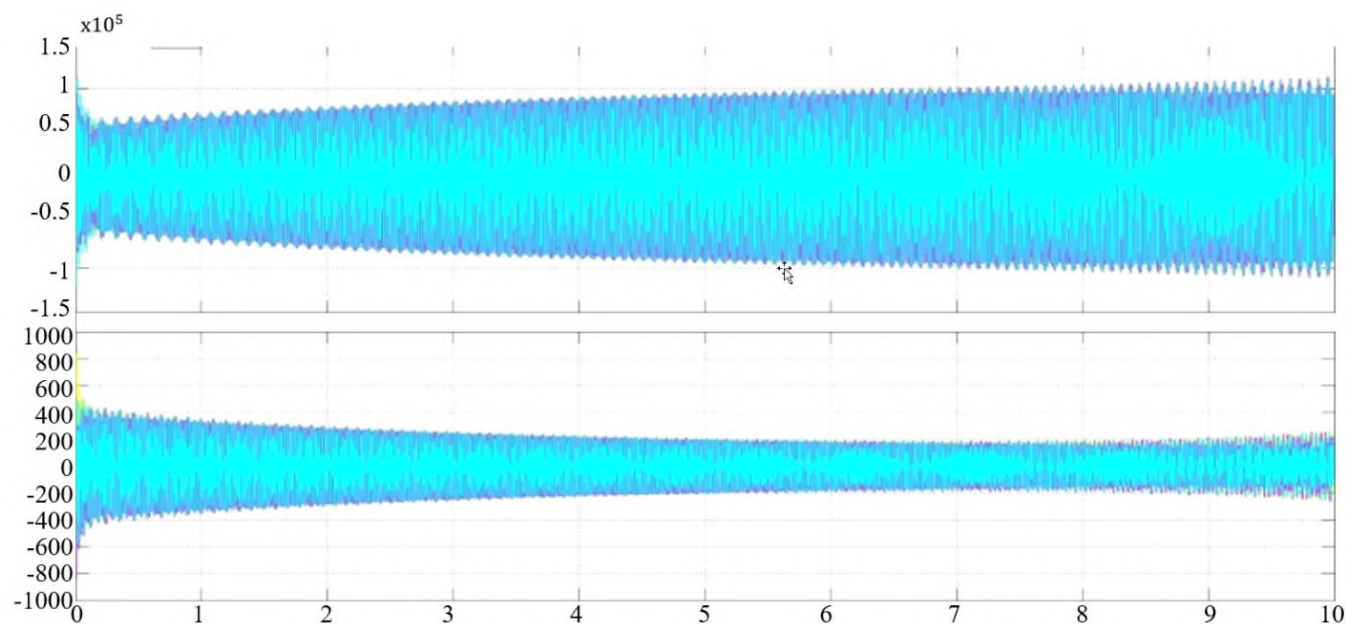


Рисунок 11 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП 110 кВ

На рис. 11 показан график изменения тока и напряжения при запуске насосных агрегатов в нормальном режиме в начале ЛЭП Л-Б-Н-1. Видно, что сначала напряжение уменьшается, затем, начиная с 0,25 секунд постепенно повышается, и в конце за 6 секунд переходит к номинальным заданным значениям. В свою очередь, амперметр показывает, что при снижении напряжения резко увеличивается пусковой ток и за 6 секунд до конца перехода равняется номинальному значению.

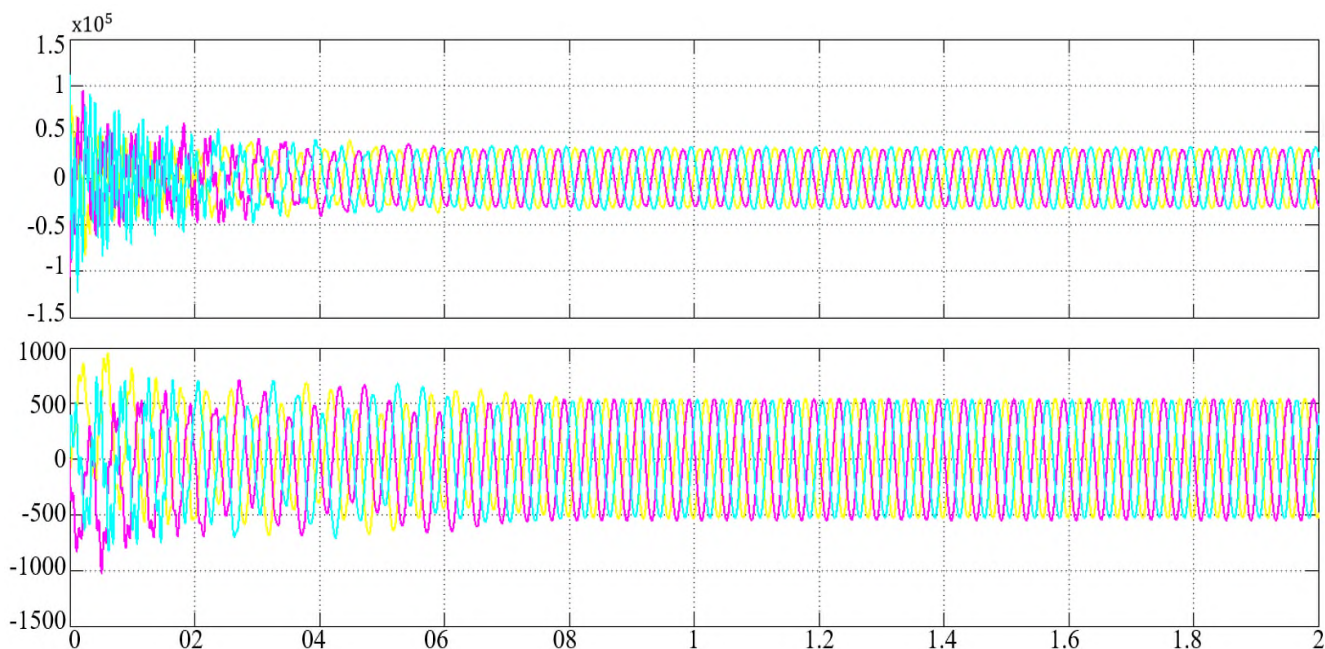


Рисунок 12 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП Л-Б-Н-1 в режиме КЗ на шинах 10 кВ АНС-1

Приведенный график на рис.12 показывает, что при возникновении КЗ на стороне 10 кВ АНС-1 напряжение в начале ЛЭП Л-Б-Н-1 снижается, и в течение 0,3 секунд заканчивается переходной процесс, в итоге устанавливаются параметры аварийного режима. Большой ток КЗ постепенно снижается в течение 0,3 секунд и устанавливаются значения режима после аварии.

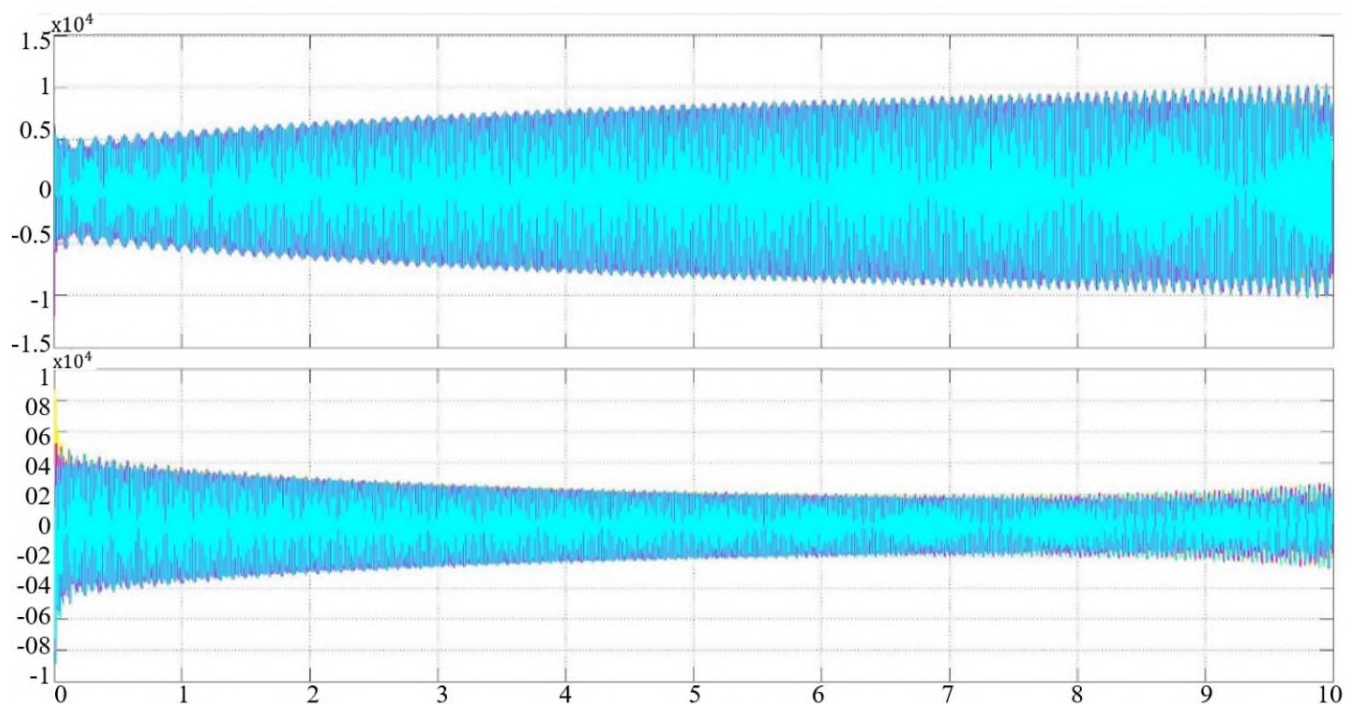


Рисунок 13 - Осциллограмма изменения напряжения и ток ЛЭП Л-Н-1 в нормальном режиме

Из приведенных графиков на рисунке 13 видно, что при запуске насосных агрегатов напряжение на зажимах ЛЭП Л-Н-1 уменьшается, и резко увеличивается пусковой ток. Постепенно при увеличении напряжения уменьшается ток и устанавливаются номинальные параметры.

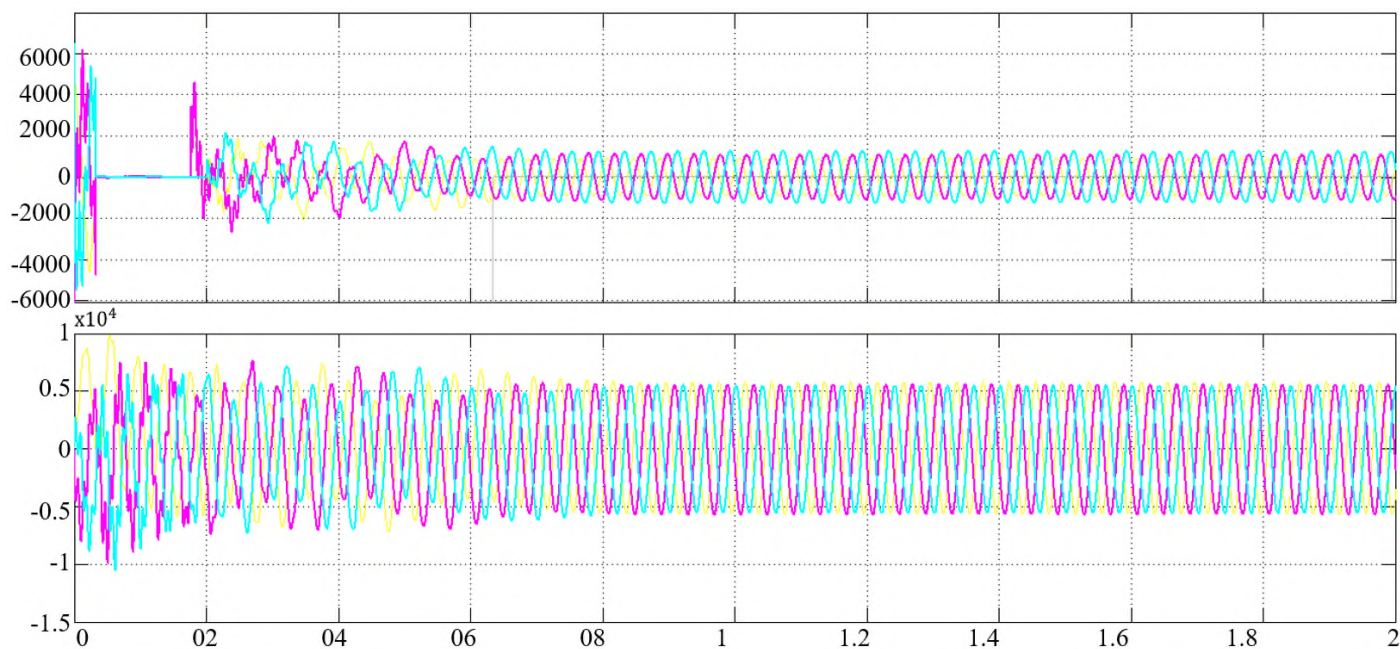


Рисунок 14 - Осциллограмма изменения напряжения и тока ЛЭП Л-Н-1

Приведенные осциллограммы на рис. 14 показывают, что при возникновении КЗ на шинах НН ЛЭП Л-Н-1 напряжение после 0,03 секунды снижается до нуля, и начиная с 0,09 секунд резко увеличивается, затем заканчивается переходной процесс. Ток КЗ на эти время тоже скачкообразно изменяется, и после 0,4 секунды устанавливаются параметры аварийного режима.

Заключение

Таким образом, в данной статье приведена имитационная модель электроснабжения насосной станции и произведен анализ устойчивости в среде MATLAB на примере Аштского района Республики Таджикистана. В статье отражены актуальные проблемы исследования. Разработанная модель отражает изменения параметров тока и напряжения, которые невозможно исследовать аналоговыми приборами. Данная модель проясняет переходные процессы, возникающие при пуске насосной станции. Полученные результаты следует учитывать при проектировании систем электроснабжения и выбора уставок релейной защиты и автоматики.

Рецензент: Кургизов А.К. — к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ИЭГУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Махмаджонов Ф. Д., Касобов Л. С., Гуломзода А. Моделирование и прогнозирование электрических нагрузок энергосистемы Таджикистана на основе метода главных компонент // Вестник Таджикского технического университета. – 2016. – №. 1. – С. 16-20.
2. Дадабаев, Ш.Т. Повышение бесперебойности работы систем электроснабжения оросительных насосных станций при изменении их нагрузок: специальность 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дадабаев Шахбоз Толибджонович. – Душанбе, 2023. - 192 с.
3. Airoboman A. E. et al. On the assessment of power system stability using Matlab/Simulink model // International Journal of Energy and Power Engineering. – 2015. – Т. 4. – №. 2. – С. 51-64.
4. Абдымомунова А. К., Куданалиев Э. Т. Анализ устойчивости электроэнергетической системы с ограниченной мощности путем имитационного моделирования с использованием simulink // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2015. – №. 3. – С. 167-170.
5. Рахимов О. С., Тошходжаева М. И. Анализ устойчивости электроэнергетической системы с распределенной генерацией методом имитационного моделирования в среде matlab // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике». – 2022. – С. 197-201.
6. Горячев В. Я., Елинов Д. А., Кудашев А. В. Анализ устойчивости энергетической системы путем имитационного моделирования в среде MATLAB // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2008. – Т. 1. – С. 337-339.

7. Зарудная А. П., Горшков К. Е. Особенности применения пакета MATLAB/Simulink для анализа статической устойчивости синхронных генераторов в энергосистеме //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2017. – Т. 17. – №. 3. – С. 43-54.

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Эшов Зулфон Субхонович | Эшов Зулфон Субхоннович | Eshov Zulfon Subhonovich |
| Муаллими калон | Старший преподаватель | Competitor |
| Донишкадаи кӯҳи металлургии Тоҷикистон | Горно-металлургический институт Таджикистана | Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan |
| E-mail: zulfon.eshov@mail.ru | | |

УДК 621.311.001.57

ТАВСИФОТИ КУНЧИИ ГЕНАРАТОРИ СИНХРОНИИ ТАВВАСУТИ ХАТИ ИНТИҚОЛИ ДАРОЗ КОРКУНАНДА ДАР ФОСИЛАИ ПАЙВАСТИ ТАКРОРИИ АВТОМАТИИ ЯКФАЗА

С.Г. Гулмуродзода, М.А Балаев, Ф.О. Исмоилов, Х.С. Саидзода, Б.С. Чамолзода, С.Р. Ниёзи

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ

Дар мақолаи мазкур мушкilotи ҳисоб кардани тавсифоти кунҷии генератори синхронӣ, ки бо бартараф кардани расиши кӯтоҳи якфазаи камонӣ дар ҳатҳои ҳавоии шиддати фавқулбаланд (ХХШФБ) алоқаманд аст, дида баромада мешавад. Ҳатҳои шиддати фавқулбаланд дар дарозии калон энергияи электрикиро интиқол медиҳанд, ки ин сабабгори ба вучуд омадани қисмати асосии садамаҳо мегардад. Дар ҳатҳои ҳавоии ШФБ расиши кӯтоҳи якфаза, садамаи камонии ноустувор ташкил медиҳад. Садамаҳои камонии ноустувор дар даври пайвасти такрорӣ автоматӣ якфазаи (ПТАЯ) бобарор, бартараф карда мешаванд. Фосилаи бечараён дар мавриди ПТАЯ аз қимати чараёнҳои камонии вобаста буда, дар ҳудуди 0,5-3,0 с ҷойгир мешавад. Таҳлили ҳосиятҳои гузаришҳои динамикӣ дар мавриди тадқиқи ПТАЯ бо давомоти гуногун ва муайян намудани қобилияти гузарониши ҳатҳои интиқоли энергияи ХХШФБ бо шартҳои устувории динамикӣ, ҳеле муҳим мешавад. Ҳосиятҳои гузариши динамикӣ дар мавриди муайян намудани садама, вобаста аз тавсифоти кунҷи дар речаи муқаррарӣ, речаи расиши кӯтоҳ ва ПТАЯ, муайян карда мешаванд.

Усули саҳеҳ амсиласозии ҳосиятҳои кунҷӣ дар фосилаи ПТАЯ, дар ҳолате, ки фазаи садамавӣ аз ҳар ду тараф дар охири ҳат хомӯш карда мешавад, вучуд надорад. Дар ин кор алгоритми аслии саҳеҳ барои ҳисоб кардани тавсифоти кунҷии генератори синхронӣ, ки тавассути ХХШФБ дар фосилаи ПТАЯ кор мекунад, дида баромада мешавад. Бо мақсади арзёбии ҳатогии амсиласозии соддаи тавсифоти кунҷӣ, дар мавриде, ки хомӯшшавии дутарафаи фазаҳо бо як қандашавӣ ё дар аввал ё ин ки дар охири ҳат иваз карда мешавад, усули саҳеҳ пешниҳод карда мешавад. Натиҷаҳои ҳисобҳои муқоисавӣ, ки барои ҳатҳои ҳавоии 500 кВ гузаронида шудаанд, муайян намудаанд, ки усули соддаи амсиласозии таваккуфи ПТАЯ ҳангоми муайян кардани ҳусусиятҳои кунҷи максималӣ ҳатогӣ ба вучуд орварда метавонад. Аз ин ҷиҳат ҳангоми муайян кардани тавсифоти кунҷии генератори синхронӣ, ки дар ҳати дароз кор мекунад, усули амсиласозии таваккуфи ПТАЯ қатъиян, бояд риоя карда шавад.

Калимаҳои калидӣ: расиши кӯтоҳи якфазаи камонӣ, пайвасти якфазаи автоматӣ такрорӣ, устувории динамикӣ, тавсифоти кунҷӣ, генератори синхронӣ, ҳати шиддати фавқулбаланд, қандашавии фаза, усули ташиқидиҳандаи симметрӣ, ҳатогии ҳисоб.

ANGULAR CHARACTERISTICS OF A SYNCHRONOUS GENERATOR DURING A PAUSE OF SINGLE-PHASE AUTOMATIC RE-ONING IN LONG LONG POWER LINES

S.G. Gulmurodzoda, M.A. Balaev, F.O. Ismoilov, Kh.S. Saidzoda, B.S. Jamolzoda, S. R. Niyozzi

This article presents the analysis and calculation of the angular characteristics of a synchronous generator during the elimination of arc single-phase short circuits in ultra-high voltage (EHV) lines. In EHV lines such accidents account for the overwhelming share of outages. At the same time, a significant part of single phase-to-ground fault (SPGF) represents unstable arc accidents, which can be successfully eliminated in the single-phase automatic reclosing (SPAR) cycle. The success of OAPR depends on the magnitude of the feeding arc currents and is in the range of 0.5-3.0 s. At the same time, it is of interest to analyze the nature of dynamic transitions when using OAPV of various durations and evaluate the dynamic stability of long-distance EHV power transmissions. The features of the dynamic transition in determining the accident can be traced using the angular characteristics of the normal conditions, the mode of SPGF and SPAR. However, in the literature there is no exact way to simulate the angular characteristic in the dead time, when the emergency phase is disconnected on both sides at the ends of the line. The results of the calculations carried out in relation to ultra-high voltage overhead lines of 500 kV show that a simplified method for modeling a pause in the automatic recirculation cycle can produce an error in determining the maximum angular characteristic of a synchronous generator.

Keywords: symmetrical component method, arcing single phase-to-ground fault, single-phase autoreclosing, transient stability, power-angle curve, synchronous generator, EHV line, opening of a phase, the accuracy of calculations.

УГЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПАУЗЕ ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ДАЛЬНИХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

С.Г. Гулмуродзода, М.А Балаев, Ф.О. Исмоилов, Х.С. Саидзода, Б.С. Джаломзода, С.Р. Ниёзи

В данной статье представлены анализ и расчет угловой характеристики синхронного генератора при ликвидации однофазных коротких замыканий в линиях сверхвысокого напряжения (СВН). Однофазные замыкания в электропередачах СВН являются причиной всех отключений ВЛ. При этом однофазные короткие замыкания (ОКЗ) представляют неустойчивые дуговые аварии, могут быть ликвидированы в цикле однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ). Успешность ОАПВ зависит от величины токов дуги подпитки и находится в пределах 0,5 – 3,0 с. При этом представляет интерес проанализировать характер динамических переходов при использовании ОАПВ различной продолжительности и оценить динамическую устойчивость дальних электропередач СВН. Динамический переход при определении аварии можно проследить с помощью угловых характеристик нормального режима, режима однофазных коротких замыканий. Во многих литературах отсутствует точный способ моделирования угловой характеристики синхронного генератора в бестоковой паузе ОАПВ, когда аварийная фаза отключена с двух сторон по концам линии. В статье показана высокая эффективность использования ОАПВ и предложен оригинальный точный алгоритм для расчёта угловой характеристики синхронного генератора при паузе однофазного автоматического повторного включения на дальних линиях электропередачи с целью оценки погрешности упрощенного моделирования угловой характеристики, когда двустороннее отключение фазы заменяется одним разрывом либо в начале, либо в конце линии. Результаты проведенных расчетов применительно к сверхвысокому напряжению ВЛ 500 кВ показывают, что упрощенный способ моделирования паузы ОАПВ может давать погрешность при определении максимума угловой характеристики синхронного генератора.

Ключевые слова: линия сверхвысокого напряжения, дуговое однофазное короткое замыкание, однофазное автоматическое повторное включение, динамическая устойчивость, угловая характеристика, синхронный генератор, разрыв фазы, метод симметричных составляющих, погрешность расчетов.

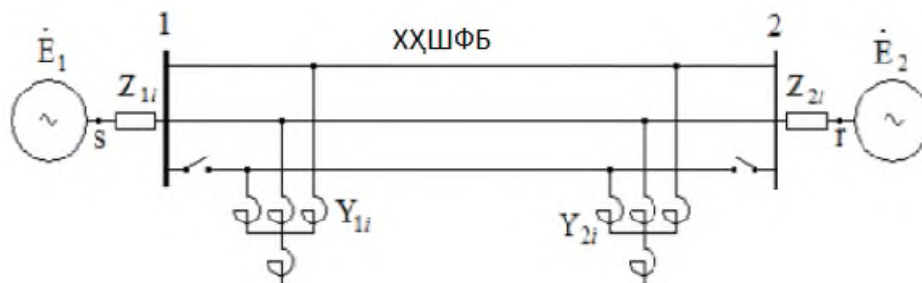
Муқаддима

Ҳангоми таҳлили устувории динамикӣ дар мавриди бартараф кардани расиши кӯтоҳи якфазаи камонӣ бо истифода аз пайвасти такрорӣ автоматӣ якфазаи (ПТАЯ) масъалаи амсиласозии тавсифоти кунҷии

генератори синхронӣ, ки тавассути хати ҳавоии шиддати фавқулбаланд дар таваққуфи ПТАЯ кор мекунад, ба миён меояд [1,2]. Мавҷудияти дутарафаи қандашавӣ дар аввал ва ё охири хат ҳалли ин масъаларо мушкил мегардонад. Аз ин сабаб, одатан равиши соддашуда истифода мешавад, ки дар он қандашвию дукарата бо қандашвию яккарата бо як танаффус дар як қанори хат, яъне дар аввал ё охири хат иваз карда мешавад [3]. Аммо, дар ин ҳолат, зарурати арзёбии ҳатогие ба миён меояд, ки ҳангоми истифодаи равиши соддашуда руҳ медиҳад. Дар ин мақола бори аввал ҳалли саҳеҳи масъала дар мавриди қандашваии дутарафаи фазаи хати садамавӣ оварда мешавад. Ин имкон медиҳад, ки ҳатогӣ ҳангоми истифодаи роҳи соддашуда бо як қандашавӣ дар аввал ё охири хат баҳо дода шавад [4,5].

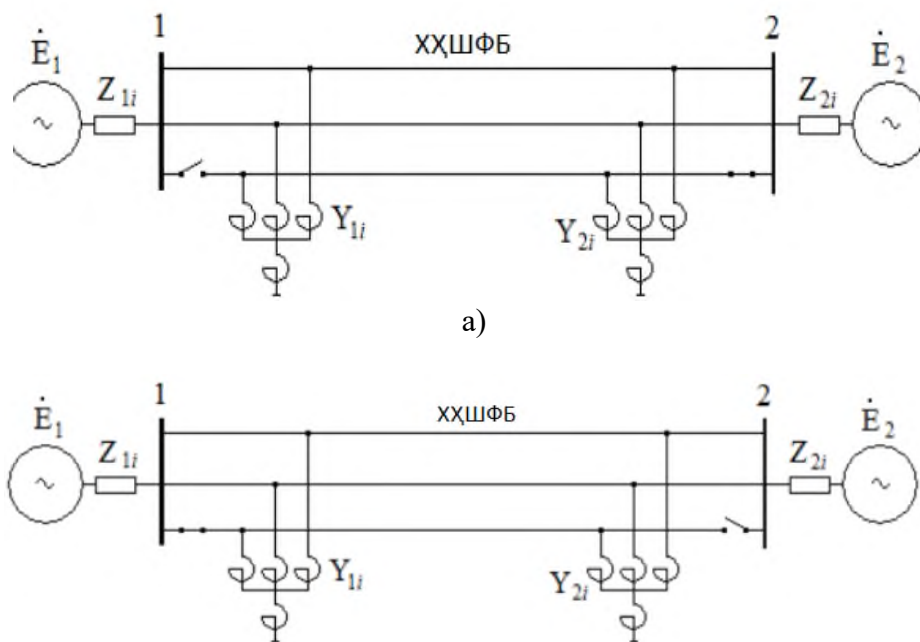
1. МАСЪАЛАГУЗОРӢ

Усули ташкилдихандаи симметри мутобик ба схемаи интиқоли энергия дар речаи исти ПТАЯ ба асос гирифта шудааст (расми 1) Z_{1i} – муқовимати пурра, \dot{E} – қувваи электроҳаракатдиханда. Вобаста ба ин бори аввал алгоритм барои ҳисоб кардани тавсифҳои кунҷии генератори синхронӣ, ки дар хати интиқоли масофаи дароз дошта кор мекунад, ҳангоми таваққуфи ПТАЯ асоснок карда мешавад.



Расми 1 – Схемаи интиқоли энергияи электрикӣ дар речаи фосилаи ПТАЯ

Дар мавриди ба таври содда ҳал кардани масъала, қандашавӣ дар аввал ё ин ки охири хат иваз карда мешавад (расми 2). Барои дуруст будани алгоритмҳо маълумот барои ҳисоб намудани тавсифоти кунҷии генератори синхронии дар хати интиқоли дароз коркунанда оварда мешавад.

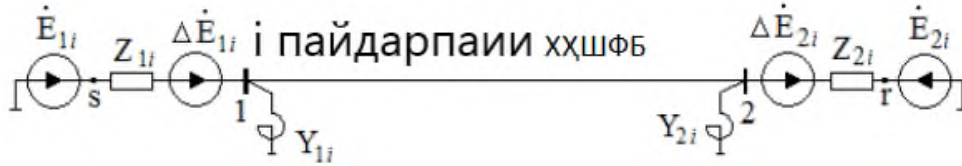


Расми 2 – Амсиласозии содда дар фосилаи ПТАЯ: а – қандашавӣ дар аввали хатҳои ҳавоӣ; б – қандашавӣ дар охири хатҳои ҳавоӣ.

Сипас, ҳатогии муайян кардани тавсифоти кунҷӣ ҳангоми амсиласозии соддаи фосилаи ПТАЯ дар мисоли хати дарозии 500 кВ оварда мешавад.

2. ТАВСИФОТИ КУНЌИ ҲАНГОМИ КАНДАШАВИИ ДУТАРАФАИ ХАТ ДАР РЕҶАИ ФОСИЛАИ ПТАЯ

Натиҷагирии саҳеҳ барои муайян кардани тавсифоти кунҷи ҳангоми кандашавии дутарафаи хат дар реҷаи фосилаи ПТАЯ дар истифодабарии усули ташкилдиҳандаи симметрӣ асос ёфтааст [6-7]. Дар расми 3 схемаи бадалаи i пайдарпайи дар реҷаи фосилаи ПТАЯ нишон дода шудааст.

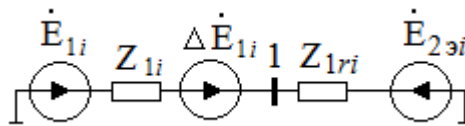


Расми 3 – Схемаи бадалаи i -пайдарпайи

Системаҳои ҳамшафақе, ки танҳо бо ҚЭҲ пайдарпайии роста тавсиф карда мешаванд:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{1i} : \dot{E}_{11} = \dot{E}, \quad \dot{E}_{12} = 0, \quad \dot{E}_{10} = 0 \\ \dot{E}_{2i} : \dot{E}_{21} = \dot{E}, \quad \dot{E}_{22} = 0, \quad \dot{E}_{20} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

дар ин ҷо: $i=1,2,0$ – индекси пайдарпайии роста, баръакс ва сифрӣ, \dot{E} – қувваи электроҳаракатдиҳанда. Схема дар расми 3 барои гиреҳи 1, чӣ хеле, ки дар расми 4 нишон дода шудааст, оварда шудааст.



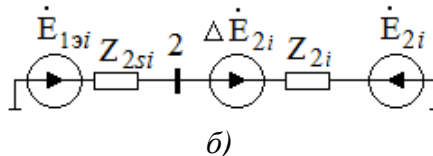
Расми 4 – Схемаи бадала пас аз ба гиреҳи 1 овардан

Аз ин расм ифодаҳои зерин ҳосил карда мешаванд:

$$\dot{E}_{1i} + \Delta \dot{E}_{1i} - \dot{E}_{2ei} = Z_{1\Sigma i} \dot{I}_{1i}, \quad (2)$$

дар ин ҷо: $\dot{E}_{2ei} = \frac{\dot{E}_{2i} - \Delta \dot{U}_{2i}}{D_{1ri}}$, $Z_{1\Sigma i} = Z_{1i} + Z_{1ri}$, $Z_{1ri} = \frac{B_{1ri}}{D_{1ri}}$, B_{1ri}, D_{1ri} – коэффитсиенти чоркӯтбаи 1-г барои i -то пайдарпайи, Z_{1i} – муқовимати пурра, \dot{E} – қувваи электроҳаракатдиҳанда.

Схема дар расми 3 барои гиреҳи 2 оварда шудааст, чӣ хеле ки дар расми 4 нишон дода шудааст:



Расми 5 – Схемаи бадала пас аз ба гиреҳи 2 овардан

Аз ин схема (5) муодилаҳои зерин бармеоянд:

$$\dot{E}_{1ei} + \Delta \dot{U}_{2i} - \dot{E}_{2i} = Z_{2\Sigma i} \dot{I}_{2i}, \quad (3)$$

дар ин ҷо: $\dot{E}_{1ei} = \frac{\dot{E}_{1i} - \Delta \dot{U}_{1i}}{A_{s2i}}$, $Z_{2\Sigma i} = Z_{2i} + Z_{2si}$, $Z_{2si} = \frac{B_{s2i}}{A_{s2i}}$, B_{s2i}, D_{s2i} – коэффитсиенти 4-кӯтбаи s-2 барои i -пайдарпайи, $B_{s2i}, D_{s2i}, A_{s2i}$ – коэффитсиенти 4-кӯтба, ки дар формула ба ҷои фазаҳо ишора шудаанд. Дар натиҷа мо системаи муодилаҳои зеринро ҳосил менамоем, ки нисбат ба гиреҳи 2 оварда шудаанд:

$$\dot{E}_1 + \Delta\dot{U}_1 - \frac{\dot{E}_2 - \Delta\dot{U}_2}{D_{1r}} = Z_{1\Sigma} \dot{I}_1 \quad (4)$$

$$\Delta\dot{U}_{12} + \frac{\Delta\dot{U}_{22}}{D_{1r2}} = Z_{1\Sigma2} \dot{I}_{12} \quad (5)$$

$$\Delta\dot{U}_{10} + \frac{\Delta\dot{U}_{20}}{D_{1r0}} = Z_{1\Sigma0} \dot{I}_{10} \quad (6)$$

ва нисбат ба гиреҳи 2:

$$\frac{\dot{E}_1 - \Delta\dot{U}_1}{A_{s2}} - \dot{E}_2 + \Delta\dot{U}_2 = Z_{2\Sigma} \dot{I}_2 \quad (7)$$

$$\frac{\Delta\dot{U}_{12}}{A_{s22}} + \Delta\dot{U}_{22} = Z_{2\Sigma2} \dot{I}_{22} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta\dot{U}_{10}}{A_{s20}} + \Delta\dot{U}_{20} = Z_{2\Sigma0} \dot{I}_{20} \quad (9)$$

шартҳои ҳамхудуд дар ҷойҳои кандашавӣ:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_{12} + \dot{I}_{10} &= 0 \\ \dot{I}_2 + \dot{I}_{22} + \dot{I}_{20} &= 0 \\ \Delta\dot{U}_1 &= \Delta\dot{U}_{12} = \Delta\dot{U}_{10} \\ \Delta\dot{U}_2 &= \Delta\dot{U}_{22} = \Delta\dot{U}_{20} \end{aligned} \quad (10)$$

Аз муодилаҳои (4) ва (7) ба муодилаҳои зерин ҳосил карда мешаванд:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{1норм} + \frac{\Delta\dot{U}_1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{\Delta\dot{U}_2}{Z_{1\Sigma} D_{1r}}, \quad (11)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{2норм} - \frac{\Delta\dot{U}_1}{Z_{2\Sigma} A_{s2}} + \frac{\Delta\dot{U}_2}{Z_{1\Sigma}}, \quad (12)$$

дар ин ҷо: $\dot{I}_{1норм} = \frac{1}{Z_{1\Sigma}} (\dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_2}{D_{1r}})$, $\dot{I}_{2норм} = \frac{1}{Z_{2\Sigma}} (\frac{\dot{E}_1}{A_{s2}} - \dot{E}_2)$ – ҷараёнҳои речаи муқаррарӣ мутобик ба бандҳои 1 ва 2

Муодилаҳои (5-6 ва 8-9) бо назардошти шартҳои ҳамхудудӣ дар шакли зерин навишта мешаванд:

$$\begin{aligned} Y_{1\vartheta} \Delta\dot{U}_1 + Y_{1r\vartheta} \Delta\dot{U}_2 &= -\dot{I}_1 \\ Y_{s2\vartheta} \Delta\dot{U}_1 + Y_{2\vartheta} \Delta\dot{U}_2 &= -\dot{I}_2, \end{aligned} \quad (13)$$

дар ин ҷо:

$$\begin{aligned} Y_{1\vartheta} &= \frac{1}{Z_{1\Sigma2}} + \frac{1}{Z_{1\Sigma0}}, & Y_{1r\vartheta} &= \frac{1}{Z_{1\Sigma2} D_{1r2}} + \frac{1}{Z_{1\Sigma0} D_{1r0}}, & Y_{s2\vartheta} &= \frac{1}{Z_{2\Sigma2} A_{s22}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma0} D_{s20}}, \\ Y_{2\vartheta} &= \frac{1}{Z_{2\Sigma2}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma0}}. \end{aligned}$$

Муодилаҳои (13)-ро нисбат ба $\Delta\dot{U}_1$ ва $\Delta\dot{U}_2$ ҳал карда ҳосил менамоем:

$$\begin{aligned} \Delta\dot{U}_1 &= -\Delta Z_{11} \dot{I}_1 - \Delta Z_{12} \dot{I}_2 \\ \Delta\dot{U}_2 &= -\Delta Z_{21} \dot{I}_1 - \Delta Z_{22} \dot{I}_2, \end{aligned} \quad (14)$$

дар ин чо: $MY = \begin{bmatrix} Y_{1\varepsilon} & Y_{1r\varepsilon} \\ Y_{s2\varepsilon} & Y_{2\varepsilon} \end{bmatrix}$, $MY^{-1} = \begin{bmatrix} \Delta Z_{11} & \Delta Z_{12} \\ \Delta Z_{21} & \Delta Z_{22} \end{bmatrix}$.

Пас аз гузоштани (14) дар (11) ва (12) ҳосил менамоем:

$$\begin{aligned} K_{11}\dot{I}_1 + K_{12}\dot{I}_2 &= \dot{I}_{1норм} \\ K_{21}\dot{I}_1 + K_{22}\dot{I}_2 &= \dot{I}_{2норм}, \end{aligned} \quad (15)$$

дар ин чо: $K_{11} = 1 + \frac{\Delta Z_{11}}{Z_{1\Sigma}} + \frac{\Delta Z_{21}}{Z_{1\Sigma}D_{1r}}$, $K_{12} = \frac{\Delta Z_{12}}{Z_{1\Sigma}} + \frac{\Delta Z_{22}}{Z_{1\Sigma}D_{1r}}$, $K_{21} = \frac{\Delta Z_{11}}{Z_{2\Sigma}A_{s2}} + \frac{\Delta Z_{21}}{Z_{2\Sigma}}$,
 $K_{22} = 1 + \frac{\Delta Z_{12}}{Z_{2\Sigma}A_{s2}} + \frac{\Delta Z_{22}}{Z_{2\Sigma}}$.

Муодилаи (15)-ро нисбат ба \dot{I}_1 ва \dot{I}_2 ҳал намуда ҳосил менамоем:

$$\dot{I}_1 = \Delta K_{11}\dot{I}_{1норм} + \Delta K_{12}\dot{I}_{2норм} \quad (16)$$

$$\dot{I}_2 = \Delta K_{21}\dot{I}_{1норм} + \Delta K_{22}\dot{I}_{2норм}, \quad (17)$$

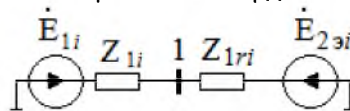
дар ин чо: $MK = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix}$, $MK^{-1} = \begin{bmatrix} \Delta K_{11} & \Delta K_{12} \\ \Delta K_{21} & \Delta K_{22} \end{bmatrix}$.

Мутақобилан муодилаи тавсифоти кунҷи аз тарафи гиреҳи 1 бо назардошти(16) дар реҷаи фосилаи ПТАЯ чунин навишта мешавад:

$$P_{пята} = \operatorname{Re} \sqrt{3} \dot{E}_1 \bar{I}_1 = \operatorname{Re} \sqrt{3} \dot{E}_1 (\Delta \bar{K}_{11} \bar{I}_{1норм} + \Delta \bar{K}_{12} \bar{I}_{2норм}) \quad (18)$$

3. ТАВСИФОТИ КУНҶИ ҲАНГОМИ КАНДАШАВИИ ЯКТАРАФАИ ХАТ, КИ РЕҶАИ ФОСИЛАИ ПТАЯ-РО БА ТАВРИ СОДДА АМСИЛАСОЗИ МЕНАМОЯД

Таносубҳои заруриро барои ҳолати кандашавии яктарафа дар аввали хат ҳосил менамоем (расми 2 а). Қувваи электроҳаракатдиҳандаи (ҚЭХ) системаҳои ҳамроҳшуда бо формулаи (1) муайян карда мешавад. Схема дар расми 3 мутобиқ ба гиреҳи 1 вобаста аз расми 6 оварда мешавад:



Расми 6 – Схема пас аз ин ки ба гиреҳи 1 оварда шудааст

Аз схема муодилаи зерин бармеояд:

$$\dot{E}_{1i} + \Delta \dot{E}_{1i} - \dot{E}_{2эi} = Z_{1\Sigma i} \dot{I}_{1i}, \quad (19)$$

дар ин чо: $\dot{E}_{2эi} = \frac{\dot{E}_{2i}}{D_{1ri}}$, $Z_{1\Sigma i} = Z_{1i} + Z_{1ri}$, $Z_{1ri} = \frac{B_{1ri}}{D_{1ri}}$, B_{1ri} , D_{1ri} – коэффитсиенти 4-кӯтбаи 1-г барои i -то пайдарпай

Дар умум, мо муодилаҳои зеринро ҳосил менамоем, ки нисбат ба гиреҳи 1 оварда шудаанд:

$$\dot{I}_{1норм} + \frac{\Delta \dot{E}_1}{Z_{1\Sigma}} = \dot{I}_1 \quad (20)$$

$$\frac{\Delta \dot{E}_{12}}{Z_{1\Sigma 2}} = \dot{I}_{12} \quad (21)$$

$$\frac{\Delta \dot{E}_{10}}{Z_{1\Sigma 0}} = \dot{I}_{10}, \quad (22)$$

дар ин ҷо: $\dot{I}_{1норм} = \frac{1}{Z_{1\Sigma}} (\dot{E}_1 - \frac{\dot{E}_2}{D_{1r}})$ – ҷараёни реҷаи нормали барои банди 1

Шартҳои ҳудудӣ дар ҷойи қандашавӣ:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_{12} + \dot{I}_{10} = 0, \quad \Delta \dot{U}_1 = \Delta \dot{U}_{12} = \Delta \dot{U}_{10}. \quad (23)$$

Муодилаҳои (20-22) ро ҷам намуда, шартҳои ҳудудии (23) -ро ба ҳисоб гирифта, ҳосил менамоем:

$$\dot{I}_{1норм} + \left(\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{1\Sigma 2}} + \frac{1}{Z_{1\Sigma 0}} \right) \Delta \dot{E}_1 = 0. \quad (24)$$

Ифодаи (20)-ро аз (24) гирифта ҳосил менамоем:

$$\left(\frac{1}{Z_{1\Sigma 2}} + \frac{1}{Z_{1\Sigma 0}} \right) \Delta \dot{E}_1 = -\dot{I}_1. \quad (25)$$

Аз (25) ҳангоми $\Delta \dot{U}_1 = -\Delta \dot{E}_1$ бармеояд:

$$\Delta Z_1 = \frac{\Delta \dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{Z_{1\Sigma 2} + Z_{1\Sigma 0}}{Z_{1\Sigma 2} Z_{1\Sigma 0}}. \quad (26)$$

Ҳамин тавр, қандашавӣ дар схемаи пайдарпайии роста, ки дар асоси он тавсифоти кунҷӣ муайян карда мешавад, бо муқовимати иловагӣ (26) иваз карда мешавад.

Таносубҳо барои ҳолати қандашавӣ дар охири хат чунин муайян карда мешаванд:

$$\Delta Z_2 = \frac{\Delta \dot{U}_2}{\dot{I}_2} = \frac{Z_{2\Sigma 2} + Z_{2\Sigma 0}}{Z_{2\Sigma 2} Z_{2\Sigma 0}}, \quad (27)$$

дар ин ҷо $Z_{2\Sigma i} = Z_{2i} + Z_{2si}$, $Z_{2si} = \frac{B_{s2i}}{A_{s2i}}$, $i = 2, 0$, B_{s2i} , A_{s2i} – коэффитсиенти 4чоркӯтбаи s-2 барои i-то пайдарпайӣ.

3. НАТИҶАҲОИ ҲИСОБҲОИ МУҚОИСАВӢ

Дар ҷадвалҳои 1-4 натиҷаи ҳисобҳои муқоисавӣ оварда шудаанд. Ин ҳисобҳо ҳатогиҳои амсиласозии соддашудаи тавсифоти кунҷиро дар фосилаи ПТАЯ тавассути қандашавии яктарафа ё дар аввал ё дар охири хат нишон медиҳанд. Ҳисобҳо мутобиқ барои хати ҳавоии 500 кВ оварда шудаанд. Чи тавре, ки аз ҷадвалҳо дида мешавад, усули соддакардашудаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ ҳангоми муайян кардани тавсифоти кунҷии ҳаддӣ зиёда аз 5% ҳатогӣ дорад.

Ҷадвали 1 – Санҷидани ҳатогии усули амсиласозии фосилаи ПТАЯ ($\ell = 350$ км, $Z_1 = Z_{12} = 90i$, $Z_{10} = 30i$, $Z_2 = Z_{22} = Z_{20} = 0$, дараҷаи ҷубронкунӣ - 0%)

| Усули қабулшудаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ | Тавсифоти максималии кунҷӣ тавоноӣ, МВт | Ҳатогии амсиласозӣ, % |
|---|---|-----------------------|
| Қандашавӣ дар охири хати ҳавои | 975,3 | - |
| Қандашавӣ дар аввали хати ҳавои | 962 | - 0,6 |
| Қандашавӣ дар охири хати ҳавои | 991 | 2,1 |

Чадвали 2 – Санчидани хатогии усули амсиласозии фосилаи ПТАЯ

($l=350\text{км}$, $Z_1=Z_{12}=90i$, $Z_{10}=30i$, $Z_2=Z_{22}=Z_{20}=0$, дараҷаи ҷубронкунӣ - 97%)

| Усули қабулшудаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ | Тавсифоти максималии кунҷӣ тавоноӣ, МВт | Хатогии амсиласозӣ, % |
|---|---|-----------------------|
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 1030 | - |
| Кандашавӣ дар аввали хати ҳавоӣ | 987 | - 4,5 |
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 991 | - 5,2 |

Чадвали 3 – Санчидани хатогии усули амсиласозии фосилаи ПТАЯ

($l=700\text{км}$, $Z_1=Z_{12}=90i$, $Z_{10}=30i$, $Z_2=Z_{22}=Z_{20}=0$, дараҷаи ҷубронкунӣ - 48%)

| Усули қабулшудаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ | Тавсифоти максималии кунҷӣ тавоноӣ, МВт | Хатогии амсиласозӣ, % |
|---|---|-----------------------|
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 711 | - |
| Кандашавӣ дар аввали хати ҳавоӣ | 761 | 6,1 |
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 742 | 2,8 |

Чадвали 4 – Санчидани хатогии усули амсиласозии фосилаи ПТАЯ

($l=700\text{км}$, $Z_1=Z_{12}=90i$, $Z_{10}=30i$, $Z_2=Z_{22}=Z_{20}=0$, дараҷаи ҷубронкунӣ - 97%)

| Усули қабулшудаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ | Тавсифоти максималии кунҷӣ тавоноӣ, МВт | Хатогии амсиласозӣ, % |
|---|---|-----------------------|
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 731,4 | - |
| Кандашавӣ дар аввали хати ҳавоӣ | 724,3 | - 0,4 |
| Кандашавӣ дар охири хати ҳавоӣ | 721,5 | 0,3 |

Хулоса

Дар мақола амсилаи саҳеҳи аслии барои ҳисоби тавсифоти кунҷии генератори синхронӣ, ки тавассути хати ҳавоии шиддати фавкулбаланд дар фосилаи ПТАЯ кор мекунад, пешниҳод гардидааст. Муқоисаи усулҳои соддаи амсиласозии фосилаи ПТАЯ, дар ҳолате, ки кандашавии дутарафа бо як кандашавӣ ё дар аввал ва ё дар охири хат иваз карда мешавад, нишон дод, ки хатогии ҳисоби тавсифоти кунҷи метавонад аз 5 % зиёд шавад. Бинобар ин дар ҳолати умумӣ бояд усули амсиласозии фосилаи ПТАЯ барои муайян намудани тавсифоти кунҷии генератори синхронии дар хати дароз коркунанда пешниҳод гардида, нигоҳ дошта шавад.

Муқаррир: Юлдашев З.Ш.—д.и.т., профессори кафедраи барқикунони ва автоматикунонии қишварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шоҳтемур

АДАБИЁТ

1. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические вопросы. Том 1: Электропередачи переменного тока/ Под общей редакцией чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Дьякова А.Ф. – Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорация «ЕЭЭК», 2012.

2. С.Г. Джононаев., М.А. Балаев. Определение требуемой длительности паузы ОАПВ в ВЛ по условию гашения токов дуги подпитки// Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования. Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. – 2020.–№1 (49).– С. 45–49

3. Джононаев, С.Г. Ликвидация неустойчивых однофазных КЗ в транспонированных линиях в цикле ОАПВ с использованием АШФ // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета.– 2018.–№3 (72).– С. 157–174.

4. Красильникова Т.Г., Джононаев, С. Г. Влияние длительности паузы ОАПВ на пропускную способность электропередачи по условию динамической устойчивости // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета.-2017. -2.(67) - С. 163-176.

5. Шполянский О.Г. Параметры сближенных линий 750 кв. и характеристики их входного сопротивления в паузе однофазного автоматического повторного включения // Институт электродинамики НАН Украины. – 2015. – №40. – С. 39-43.

6. Альмендеева Е.В. Особенности выбора параметров срабатывания ОАПВ на примере МП терминала производства «ЭКРА» // Электроэнергетика глазами молодежи: тр. 6 междунар. молодеж. науч.-техн. конф., Иваново, 9-13 ноября 2015 г.: в 2 т. – Иваново, 2015. – Т. 1. – С. 39-42.

7. Красильникова Т.Г., Манусов В.З. Анализ токов дуги подпитки в паузу ОАПВ в процессе динамического перехода // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – №1. – С. 313–316.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Гулмуродзода Сайёд Гулмурод | Гулмуродзода Сайёд Гулмурод | Gulmurodzoda Saiyod Gulmurod |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: jononaev.87@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Балаев Муҳаммадшо Аҳтамович | Балаев Мухаммадшо Ахтамович | Balaev Mukhamadsho Akhtamovich |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: muhamad65.balaev@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Исмоилов Фирдавс Олимшоевич | Исмоилов Фирдавс Олимшоевич | Ismoilov Firdavs Olimshoevich |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: ismoilovFO@yandex.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Саидзода Хушдил Саид | Саидзода Хушдил Саид | Saidzoda Khushdil Said |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi |
| khushdil.sangov@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Чамолзода Бехрузи Саъдонхуча | Джамолзода Бехрузи Саъдонхуджа | Jamolzoda Behruzi Sadonkhuja |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi |
| e-mail: Jamolzoda_behruz@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ниёзӣ Сирочиддин Рачаббоқӣ | Ниёзи Сироджиддин Раджаббоки | Niyozii Sirojiddin Rajabboqi |
| н.и.т | к.т.н | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi |
| niyozi@maorif.tj | | |

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

УДК 546.65:669.018

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ЛАНТАНИДОВ, ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ln_5Pb_3 (где Ln – ЛАНТАНИДЫ) И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

¹С. А. Гадов, ¹Б.Ш. Рахмонов, ²Б.Б. Эшов, ¹А. Бадалов

¹Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими,

²ГНУ «Центр исследований инновационных технологий» Национальной академии наук Таджикистана

Полуэмпирическим методом получены наиболее полные сведения по температуре и энтальпии плавления, энтальпии образования и теплоёмкости интерметаллидов состава Ln_5Pb_3 . Проведен системный анализ и установлено закономерности изменения указанных свойств Ln_5Pb_3 в зависимости от природы всего ряда лантанидов. Закономерности имеют сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а. Наблюдается отклонение от общей закономерности для интерметаллидов европия и иттербия, обусловленное их электронным строением.

Ключевые слова: интерметаллид, лантаниды – свинец, температура и энтальпия плавления, энтальпия образования, теплоёмкость, закономерность изменения, природа лантанидов.

MELTING TEMPERATURE OF LANTHANIDES, Ln_5Pb_3 INTERMETALLIC (Ln - LANTHANIDES), AND THE PATTERNS OF THEIR CHANGES

S.A. Gadoev, B.Sh. Rahmonov, B.B. Eshov, A. Badalov

By a semi-empirical method, the most comprehensive data on the temperature and enthalpy of melting, enthalpy of formation, and heat capacity of Ln_5Pb_3 intermetallics have been obtained. A systematic analysis has been conducted, and the patterns of change in these properties of Ln_5Pb_3 depending on the nature of the entire series of lanthanides have been established. The patterns are complex, exhibiting the "tetrad-effect". A deviation from the general pattern is observed for europium and ytterbium intermetallics, caused by their electronic structure.

Keywords: intermetallic, lanthanides - lead, temperature and enthalpy of melting, enthalpy of formation, heat capacity, pattern of change, nature of lanthanides.

ҲАРОРАТИ ГУЗАРИШИ ЛАНТАНИДҶО, ИНТЕРМЕТАЛЛИДИ Ln_5Pb_3 (Ln – ЛАНТАНИДҶО) ВА ҚОНУНИЯТҶОИ ТАҒЙИРОТИ ОНҶО

С. А. Гадов, Б.Ш. Раҳмонов, Б.Б. Эшов, А. Бадалов

Бо усули ним-эмпирикӣ маълумоти пурраи ҳарорат ва энтальпияи гудозиш, энтальпияи ташаккул ва гармии хусусии интерметаллидҳои таркиби Ln_5Pb_3 ба даст оварда шуданд. Таҳлили систематикӣ гузаронида шуда, қонуниятҳои тағйироти ин хусусияти Ln_5Pb_3 вобаста ба табиати тамоми қатори лантанидҳо муайян карда шуд. Қонуниятҳои табиати мураккаб дошта "таъсири тетрад"-ро нишон медиҳанд. Барои интерметаллидҳои европий ва иттрий аз қонуниятҳои умумӣ ихтилофот дида мешавад, ки бо сохти электронии онҳо вобаста аст.

Калидвожаҳо: интерметаллид, лантанидҳо - сурб, ҳарорат ва энтальпияи гудозиш, энтальпияи ташаккул, гармии хусусӣ, қонуниятҳои тағйирот, табиати лантанидҳо.

Введение

Проводятся интенсивные исследования по разработке термоэмиссионных преобразователей, в которых преобразование энергии осуществляется с высоким КПД по сравнению с используемых на практике технологических показателей других процессов [1,2]. К высокотемпературным термоэмиссионным преобразователям относятся бинарные интерметаллические (ИМ) соединения типа La_5Pb_3 , Ce_2Pb , Sm_5Pb_3 и сложные соединения фазы Цинтля типа $\text{A}_{14}\text{MnSb}_{11}$, где $\text{A}=\text{Yb}$, Eu [3-7]. Микропроцессоры, применяемые в солнечных батареях, используют только высокочастотную область излучения, а низкочастотное тепло теряется бесполезно. Термоэмиссионные преобразователи могут преобразовывать низкочастотную тепловую энергию в электрическую. Термоэмиссионные генераторы широко применяются в космических исследованиях, а также для утилизации отработанного тепла в автомобилях и в других технологических процессах [3-8].

Фундаментальное исследование физико-химических свойств соединений, проявляющие термоэмиссионные способности по группам или периодам Таблицы химических элементов позволяет установить закономерности изменения различных прикладных характеристик в зависимости от природы компонентов системы. Появляется возможность подбора компонентов и состава веществ с заранее заданными, «запрограммированными» эксплуатационными характеристиками при технологически оптимальных условиях.

Обобщённые в фундаментальном справочнике [9] сведения по диаграммам состояния двойных металлических систем показывают, что в системах Pb-Ln (где Ln – лантаниды) образуются многочисленные интерметаллиды (ИМ), которые имеют высокую температуру плавления. Наиболее полные сведения по температуре и энтальпии плавления для некоторых ИМ систем Pb-Ln, полученные авторами работ [10,11], позволили установить закономерности изменения их в пределах всего ряда лантанидов. Установлено, что температура плавления сплавов повышается в интервалах 1400 – 2000°С с ростом содержания свинца в сплавах. Среди ИМ систем Ln-Pb наивысшую температуру плавления имеют ИМ состава Ln₅Pb₃ [8]. Сведения по теплоёмкости и энтальпии образования ИМ состава Ln₅Pb₃ приведены в работах [8,12,13], которые носят отрывочный характер и сильно отличаются между собой.

Материалы и методика эксперимента

Нами проведено определение и/или уточнение ряда термических характеристик - температуры и энтальпии плавления, энтальпии образования и теплоёмкости ИМ состава Ln₅Pb₃ для всего ряда лантанидов. Системный анализ свойств ИМ проведён полуэмпирическим методом (расчёт 1), разработанным авторами работы [14]. Расчёт произведён по корреляционному уравнению

$$A_{Pb(x)Ln(y)} = A_{Pb(x)La(y)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (1)$$

где коэффициенты уравнения учитывают влияние: - $\alpha - 4f$ – электронов, β - и γ – спин (S) – и орбитальных (L) – моментов движения атомов и ионов лантанидов на определяемую величину (A) – температура ($T_{пл.}$) и энтальпия плавления ($\Delta H_{пл.}$), энтальпия образования ($\Delta_f H$) и теплоёмкость (C_p) ИМ. Коэффициенты γ относятся к: γ' - цериевой, а γ'' – иттриевой подгрупп лантанидов. Значения этих коэффициентов могут быть вычислены из уравнений:

$$\alpha = \frac{A_{Lu} - A_{La}}{14} ; \quad \beta = \frac{A_{Gd} - A_{La} - \alpha \cdot 7}{3,5} ; \quad \gamma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n A_{Ln_i} - A_{La} - (\alpha N_{ei} + \beta S_i)}{L_i} \right] / n ,$$

где n – число Ln, для которых измерен параметр, за исключением La, Gd и Lu.

Значения коэффициентов корреляционного уравнения (1) приведены в табл. 1. При расчётах в качестве опорных величин взяты величины энтальпии образования и теплоёмкости ИМ, полученные авторами работы [8] методом высокотемпературной калориметрии.

Таблица 1 – Значения коэффициентов корреляционного уравнения

| ИМ | Характеристика | α | β | γ' | γ'' |
|---------------------------------|-----------------|----------|---------|-----------|------------|
| Ln ₅ Pb ₃ | $T_{пл.}, K$ | 3,57 | 0,00 | -24,68 | 2,89 |
| | C_p | -0,21 | -0,96 | 1,29 | 0,80 |
| | $\Delta_f H_T$ | 0,20 | 1,02 | 0,43 | 0,52 |
| | $\Delta H_{пл}$ | 0,09 | 0,14 | -0,59 | 0,02 |

Значения коэффициентов указывают о долевые участия компонентов уравнения (1) на определяемую характеристику ИМ.

Определение энтальпии плавления ИМ состава Ln₅Pb₃ (Расчёт 2) осуществлено по формуле, приведённой в работе [15].

$$\Delta H_{пл., Pb_x Ln_y}^0 = T_{пл. ИМ} (n \Delta H_{пл. Ln} / T_{пл. Ln} + m \Delta H_{пл. Pb} / T_{пл. Pb}) / n + m \quad (2)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные, таким образом, наиболее полные сведения по температуре плавления лантанидов и ИМ состава Ln₅Pb₃ приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают хорошее совпадение рассчитанных и справочных величин температуры плавления лантанидов (за исключением для Sm, Ho и Tm), что свидетельствует о правомерности использованного полуэмпирического метода [14] и достоверности полученных данных.

Полученные величины температуры плавления ИМ состава Ln₅Pb₃ позволили установить закономерность её изменения в зависимости от природы всего ряда лантанидов (N) (рис. 1). Рисунок наглядно показывает, что график закономерности разделяется по подгруппам лантанидов – цериевой и иттриевой, с проявлением так называемого «тетрад-эффект»-а. Для ИМ состава Ln₅Pb₃ цериевой подгруппы с ростом порядкового номера Ln наблюдается снижение температуры плавления в первой половине подгруппы с минимумом у Nd₅Pb₃ и повышением во второй половине. Для иттриевой подгруппы с ростом порядкового номера Ln наблюдается почти линейное повышение температуры плавления ИМ. Отклонение от общей

закономерности для ИМ Eu_5Pb_3 и Yb_5Pb_3 обусловлено частичным (f^7) для Eu и полным (f^{14}) для Yb заполнением f- орбиталей электронами.

Таблица 2 – Обобщённые величины температуры плавления лантанидов (Ln) и ИМ Ln_5Pb_3

| Ln | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | |
|--------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $T_{пл., К}$ | [16,17] | 1193 | 1068 | 1208 | 1297 | 1300 | 1345 | 1095 | |
| | | 1191 | 1077 | 1204 | 1291 | 1441 | 1347 | 1100 | |
| | Расчёт 1 | 1193 | 1098 | 1208 | 1245 | 1301 | 1385 | 1099 | |
| | Ln | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| | [16,17] | 1585 | 1629 | 1679 | 1734 | 1770 | 1818 | 1097 | 1925 |
| | 1586 | 1633 | 1685 | 1747 | 1802 | 1818 | 1092 | 1936 | |
| Расчёт 1 | 1585 | 1629 | 1683 | 1722 | 1770 | 1830 | 1094 | 1928 | |
| Ln_5Pb_3 | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | |
| $T_{пл., К}$ | [9] | 1918 | - | 1768 | - | - | 1853 | - | |
| | Расчёт 1 | 1918 | 1851 | 1805 | 1784 | 1788 | 1816 | 1760 | |
| | Ln_5Pb_3 | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| | [9] | 1943 | - | 1968 | - | - | - | - | 1968 |
| | Расчёт 1 | 1943 | 1959 | 1968 | 1975 | 1978 | 1979 | 1820 | 1968 |

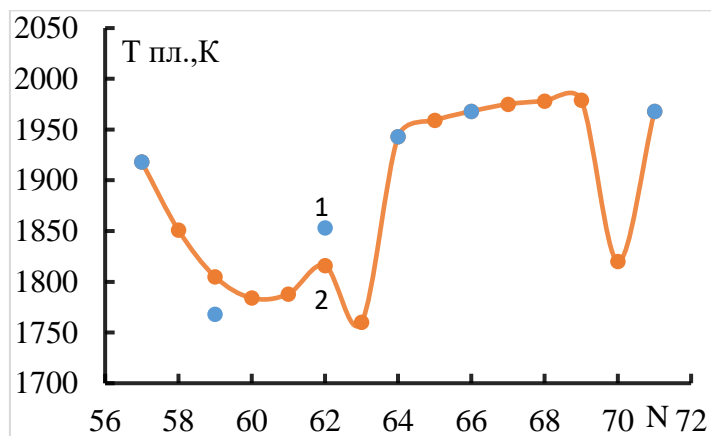


Рисунок 1 – График закономерности изменения температуры плавления ИМ Ln_5Pb_3 в зависимости от природы (N) лантанидов: 1- литература; 2 - расчётные.

Сведения по термодинамическим функциям – теплоёмкости и энтальпии образования ИМ состава Ln_5Pb_3 приведены в табл. 3, которые носят отрывочный характер. Наблюдается хорошее совпадение значений энтальпии образования ИМ состава Ln_5Pb_3 , полученные по результатам калориметрии [8] (при $T=1373 К$) и рассчитанные нами на их основе полуэмпирическим методом по уравнению (1) (Расчёт 1). Рассчитанные значения энтальпии образования, по методу Миедема, превышают экспериментальных [8]. Заниженные значения *ab initio* по сравнению с данными калориметрии [8], возможно, связано с температурной зависимостью энтальпии образования.

Литературные значения теплоемкости (C_p) ИМ Ln_5Pb_3 [8], определённые методом калориметрии и модели Неймана – Коппа заметно отличаются. Это, возможно, связано с температурной зависимости C_p в широком температурном интервале. Для Sm_5Pb_3 отмечено хорошее совпадение экспериментального значения C_p (при $T=1273 К$) и рассчитанное методом Неймана – Коппа.

Закономерности изменения энтальпии образования ИМ состава Ln_5Pb_3 от природы лантанидов (рис. 2), в целом, имеет прямолинейный характер в пределах всей группы с разделением по подгруппам лантанидов.

Таблица 3 – Обобщённые величины высокотемпературной энтальпии образования ($T=1373\text{ K}$) и ИМ состава Ln_5Pb_3

| $-\Delta f_{\text{H}_T}$, кДж/моль-атом | Ln_5Pb_3 | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | | |
|--|--------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|--------|-----------|----------|--------|--------|
| | Источник | [8] | | 72.0±2 | 75.6±4 | 77.2±3 | 75.0±4 | - | 76.5±3 | - | |
| | | [8]* | | 83.8 | 105.9 | 102.9 | 104.0 | - | 102.9 | - | |
| | | [8]** | | 54.0 | 41.0 | 52.0 | 52.0 | - | 52.0 | - | |
| | | [8]** | | 54.0 | 30.0 | 45.0 | 49.0 | - | - | - | |
| Расчёт 1 | | 72.0 | 74.2 | 75.78 | 76.92 | 77.64 | 77.92 | 64,0 | | | |
| Ln_5Pb_3 | Ln_5Pb_3 | | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | |
| | Источник | [8] | | 77.0±4 | 71.2±3 | 76.1±3 | 71.9±4 | 75.2±3 | 76.6±3 | 55.5±2 | 74.8±2 |
| | | [8]* | | 102.8 | 101.3 | 101.4 | 100.5 | 100.1 | 99.7 | 99.6 | 99.2 |
| | | [8]** | | 53.0 | 13.0 | 52.0 | 51.0 | 50.0 | 48.0 | 55.0 | 45.0 |
| | | [8]** | | - | 54.0 | 53.0 | 52.0 | 50.0 | 48.0 | - | 45.0 |
| Расчёт 1 | | 77,0 | 75,29 | 73,92 | 73,08 | 72,76 | 72,98 | 55,5 | 74,8 | | |
| C°P , Дж/моль-атом*К | Ln_5Pb_3 | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | | |
| | [8] | | - | 32.4±3.4 | 32.3±2.8 | 30.4±2 | - | 39.4±2(т) | - | | |
| | [8]≠ | | - | 41.6 | 43.8 | 45.1 | - | 39.9 | - | | |
| | Расчёт 1 | | 30,5 | 34,98 | 36,87 | 37,48 | 36,79 | 34,82 | 24 | | |
| | Расчёт 1≠ | | 36,3 | 42,26 | 43,17 | 43,19 | 42,30 | 40,52 | 29 | | |
| | Ln | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| | [8] | 27.2±1 | 31.0±2.5 | 29.9±2.3 | 30.0±2.6 | 34.6±2.7 | 32.6±2 | - | 29.1±1.0 | | |
| | [8]≠ | 34.8 | 36.3 | 34,6 | 34,5 | 34,5 | 33,7 | - | 33,4 | | |
| | P-1 | 27,2 | 29,67 | 31,55 | 32,63 | 32,9 | 32,37 | 28 | 29,1 | | |
| | P-1≠ | 34,8 | 34,83 | 35,15 | 35,21 | 35,01 | 34,55 | 30 | 33,4 | | |

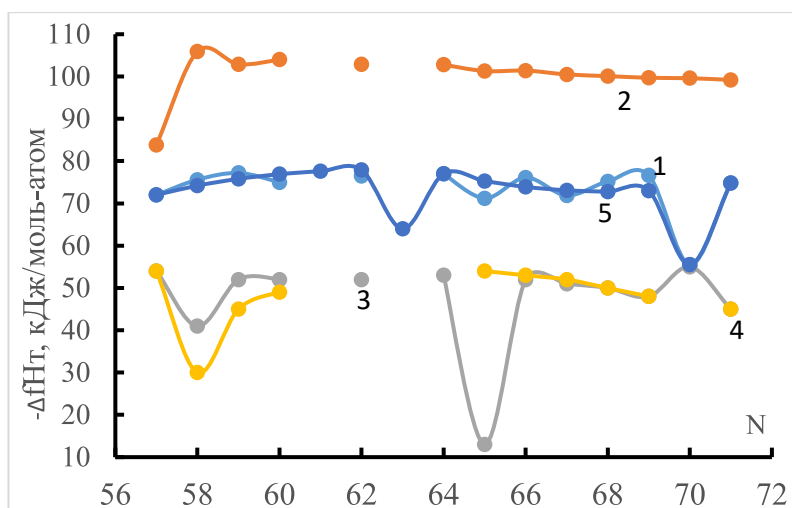


Рисунок 2 – График закономерности изменения энтальпии образования ИМ состава Ln_5Pb_3 от природы лантанидов (N): 1- метод высокотемпературной калориметрии [8] ($T=1373\text{ K}$); 2- по модели Мейдим, 3,4 - по модели *ab initio*; 5 – полуэмпирический метод (Расчёт 1).

На рис. 3 видно, что с ростом порядкового номера лантанидов (N) наблюдается постепенное уменьшение теплоёмкости ИМ Ln_5Pb_3 с проявлением «тетрад-эффект»-а. Повышение температуры приводит к существенному росту теплоёмкости ИМ цериевой подгруппы и к изменению характера температурной зависимости теплоёмкости для ИМ цериевой подгруппы лантанидов.

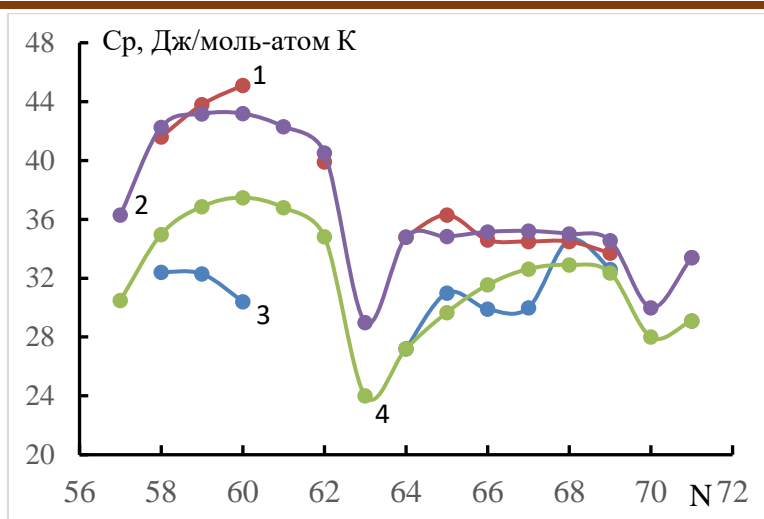


Рисунок 3 – График зависимости изменения теплоёмкости ИМ состава Ln_5Pb_3 от природы лантанидов (N): 1- метод калориметрии [8] ($T=1373\text{ K}$); 2- полуэмпирический метод; 3-по Неймана – Коппа; 4 - полуэмпирический метод.

Для определения энтальпии плавления ИМ состава Ln_5Pb_3 по уравнению (2) (Расчёт 2) нами использованы справочные [16,17] и уточнённые значения температуры и энтальпии плавления лантанидов. Результаты расчётов приведены в табл. 4. На основе полученных данных по энтальпии плавления ИМ (расчёт 2) и с целью сравнения результатов, проведён аналогичный расчёт полуэмпирическим методом по уравнению (1) (расчёт 1).

Таблица 4 – Обобщённые величины энтальпии плавления ИМ состава Ln_5Pb_3

| $\Delta H_{пл.}$, кДж/моль- атом | Ln_5Pb_3 | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu |
|--------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Расчёт 1 | | | 21,45 | 19,87 | 18,79 | 18,30 | 18,39 | 19,08 |
| Расчёт 2 | | | 21,45 | 19,51 | 19,78 | 18,26 | 18,43 | 19,18 | 17,96 |
| | Ln_5Pb_3 | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| P - 1 | 22,12 | 22,12 | 22,35 | 22,48 | 22,58 | 22,66 | 22,72 | 19,19 | 22,69 |
| P - 2 | 22,12 | 22,12 | 22,65 | 22,63 | 22,76 | 22,84 | 21,79 | 19,19 | 22,69 |

Полученные сведения (табл. 3), позволили установить закономерности изменения энтальпии плавления ИМ Ln_5Pb_3 в зависимости от природы лантанидов (рис. 4). Графики закономерности имеют идентичный характер с закономерностью изменения энтальпии образования ИМ (рис. 1).

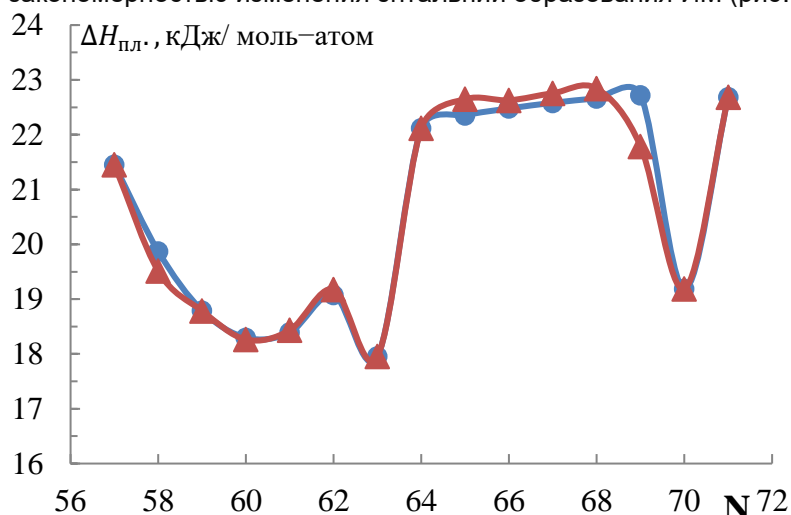


Рисунок 4 – Зависимость изменения энтальпии плавления ИМ состава Ln_5Pb_3 от порядкового номера Ln: ● – Расчёт 1; ▲ – Расчёт 2.

Полученные наиболее полные сведения по термическим характеристикам ИМ состава Ln_5Pb_3 позволили провести математическое моделирование закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов. Моделирование проведено по стандартной программе MICROSOFT EXCEL. Исходя из разного характера закономерностей в изменениях свойств, обработка данных проведена отдельно для цериевой и иттриевой подгруппы лантанидов. При расчётах не учтены значения характеристик для сплавов европия и иттербия, так как они выпадают из общих закономерностей. Отличие обусловлено особенностями электронного строения атомов данных металлов.

Математическим моделированием получены уравнения (табл. 5), которые с высокой достоверностью выражают установленные закономерности по подгруппам лантанидов.

Таблица 5 – Уравнения зависимости изменения термических характеристик ИМ состава Ln_5Pb_3 от природы лантанидов (по подгруппам)

| ИМ | Свойство | | Вид уравнений | ТТ | R^2 * |
|--------------------------|--------------------------|-----|-------------------------------------|----|---------|
| Ln_5Pb_3 | $T_{\text{пл}}$ | (а) | $y = 12,125x^2 - 1397x + 41398$ | П | 0,87 |
| | | (б) | $y = 0,5792x^2 - 29,067x + 1072,9$ | П | 0,99 |
| | C_p° | (а) | $y = -0,4008x^2 + 47,632x - 1371,9$ | П | 0,99 |
| | | (б) | $y = -0,1162x^2 + 15,575x - 486,61$ | П | 0,97 |
| | $\Delta H_{\text{пл}}^0$ | (а) | $y = 0,233x^2 - 28,192x + 871,15$ | П | 0,86 |
| | | (б) | $y = -0,0296x^2 + 4,0497x - 115,85$ | П | 0,82 |
| | $\Delta_f H_T^0$ | (а) | $y = -0,2329x^2 + 28,883x - 817,75$ | П | 0,99 |
| | | (б) | $y = 0,2477x^2 - 33,766x + 1223,3$ | П | 0,99 |

Примечание: (а) - цериевая и (б) иттриевая подгруппа лантанидов; ТТ- тип тренда; П- полиномиальная; R^2 – степень достоверности.

Выводы

1. На основе литературных сведений [8-13], имеющие отрывочный характер, полуэмпирическими и расчётными методами получены наиболее полные сведения по термическим характеристикам – теплоёмкости, энтальпии образования, температуре и энтальпии плавления ИМ состава Ln_5Pb_3 всего ряда лантанидов.
2. Полученные сведения позволили установить закономерности изменения отмеченных термических характеристик ИМ состава Ln_5Pb_3 от природы лантанидов, которые протекают с проявлением так называемого «тетрад-эффект»-а. Установлено, что графики закономерностей разнохарактерные в подгруппах лантанидов.
3. Термические свойства ИМ систем Eu_5Pb_3 и Yb_5Pb_3 отклоняются от общей закономерности, обусловленное их электронным строением.
4. Составленные математические модели позволяют с высокой достоверности прогнозировать состав ИМ и его термические характеристики, исходя требований прикладных задач.
5. Полученные сведения являются фундаментальными и пополняют банк термодинамических характеристик металлических систем новыми данными.

Рецензент: Махмадизода М.М. — Доктор технических наук, начальник учебно-методического отдела филиала ННПТУ «МЭСИС» в г. Душанбе

Литература

1. Brown SR, Kauzlarich SM, Gascoin F, Snyder GJ. $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$: New high efficiency thermoelectric material for power generation. Chem Mater. 2006; 18:1873–7.
2. Chan JY, Olmstead MM, Kauzlarich SM, Webb DJ. Structure and ferromagnetism of the rare-earth Zintl compounds: $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$ and $\text{Yb}_{14}\text{MnBi}_{11}$. Chem Mater. 1998; 10:3583–9.
3. Susan M Kauzlarich. Special Issue: Advances in Zintl Phases, Materials, 2019,12,.2554.
4. Магомедов А.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Глава 8 Термоэлектрогенераторы. ИПО «Юпитер», Махачкала- 1996- 194 с.
5. Абдусалымова М.Н., Махмудов Ф.А., Эшов Б.Б. Изучение кинетики окисления $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$ и его твердых растворов. Докл. АН РТ.- 2011. - Т. 54. - №6. - С.481-484.
6. Uvarov C.A., Abdusalyamova M.H., Makhmudov F.A. The effect of Tm substitution on the thermoelectric performance of $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$. Science of Advance Materials. -2011. - V.3. - P.652-658.
7. Абдусалымова М.Н., Кабгов Х.Б., Махмудов Ф.А. Некоторые физико-химические свойства $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$ и его твердых растворов с теллуридом. Докл. АН РТ.- 2011. - Т.54. - №11. - С.922-925.

8. Meschel S.V., Nash P., Du Yong, Wang J.C. The thermochemistry of some 5:3 binary lanthanide–lead compounds by high temperature direct synthesis calorimetry. *J of Alloy and Compd.*, 2016, V. 656, p. 88-93.

9. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Лякишева Н.П. М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т.1-3, 992, 1024, 1320 с.

10. Ходжаев Ф.К., Эшов Б.Б., Бадалов А. Моделирование закономерности изменения термодинамические характеристики интерметаллидов систем свинец – лантаноиды, богатых свинцом. Известия СПб гос. технолог. института (технический универ.). Химия и хим. технология. 2017, №41(67), с.27-33. DOI; 10.1527/issn 1998984-9.2017.41.

11. Хайдаров А.М., Эшов Б.Б., Рахмонов Б.Ш., Пирова Ш.Х., Бадалов А. Закономерности изменения термодинамических характеристик интерметаллидов систем свинец – лантаниды цериевой подгруппы и их моделирование. Известия АН РТ, отд. физ. - матем., хим., гелог. и тех. наук, №3(172), 2018, с. 66-73.

12. Ferro R., Borsese A., Capelli R., Delfino S., Z. Anorg. Chem, 314(1975)279-282

13. Borsese A., Ferro R., Capelli R., Delfino S., J. Less-Common Met. 42(1975) 179-185.

14. Мешков З.Б., Полуэктов Н.С., Топилова З.М., Данилкович М.М. Гадолиниевый излом в ряду трехвалентных лантаноидов. Коорд. химия, 1986, т. 12, вып. 4, с. 481 – 484.

15. Баянов А.П. Расчет энтальпии образования соединений редкоземельных элементов на основе кристаллохимических характеристик. *Изв. АН СССР, Неорган. матер.*, 1973, т. 9, № 6, с. 959-963.

16. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. Минск: Современная школа, 2005. - 608 с.

17. Cox J.D., Wagman D.D., Medvedov V.A. CODATA Key Values for Thermodynamics, Hemisphere Publishing corp., N.Y., 1989.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|---|---|
| Гадоев Сафарали Айнидинович номзади илмҳои техникӣ, дотсент | Гадоев Сафарали Айнидинович кандидат технических наук, доцент | Gadoev Safarali Candidate of Technical Sciences, Associate Professor |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ | ТТУ имени академика М.С.Осими | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| e-mail: sgadoev@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Рахмонов Бахтовар Шохусинович Муаллими калон | Рахмонов Бахтовар Шохусинович Старший преподаватель | Rakhmonov Bakhtovar Senior Lecturer |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ | ТТУ имени академика М.С.Осими | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| e-mail: bakha_09_91@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Эшов Бахтиёр Бадалович номзади илмҳои техникӣ, дотсент | Эшов Бахтиёр Бадалович доктор технических наук, доцент | Eshov Bakhtiyor Doctor of Technical Sciences, Associate Professor |
| Директори Муассисаи давлатии илмии «Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нав»-и АМИТ | директор Центра по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана | Director of the Center for Innovative Technology Research of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| e-mail: ishov1967@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Бадалов Абдулхайр Доктори илмҳои химия, профессор, узви вобастаи АМИТ | Бадалов Абдулхайр доктор химических наук, профессор, член корр. НАНТ | Badalov Abdulkhair Doctor of Chemical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ | ТТУ имени академика М.С.Осими | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| e-mail: badalovab@mail.ru | | |

УДК 669.017:620.197

ПОТЕНЦИОСТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА АIV0.1 С КАЛЬЦИЕМ В СРЕДЕ ВОДНОГО РАСТВОРА NaCl

¹И.Н. Ганиев, ²К.Х. Ашуров, ¹Ш.Ш. Окилов, ¹Х.М. Ходжаназаров

¹ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана»

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого проводникового сплава АIV0.1 с кальцием в среде водного раствора NaCl с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 мас. %, при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Добавка кальция к алюминиевому сплаву АIV0.1 составляла 0,01-1,0 мас. %. Показано, что легирование кальцием указанного сплава снижает скорость его коррозии на 6-14 %, что сопровождается сдвигом электрохимических потенциалов в область положительных значений. Рост концентрации NaCl в водном растворе способствует увеличению скорости коррозии сплавов не зависимо от их состава и смещению электрохимических потенциалов в отрицательном направлении оси ординат.

Ключевые слова: *алюминиевый проводниковый сплав АIV0.1, потенциостатический метод, кальций, электрохимическое поведение, водный раствор NaCl, скорость коррозии, потенциал свободной коррозии.*

ТАДҚИҚОТИ ПОТЕНСИОСТАТИКИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИИ АIV0.1 БО КАЛСИЙ ДАР МУҲИТИ МАҲЛУЛИ ОБИИ NaCl

И.Н. Ганиев, Қ.Х. Ашуров, Ш.Ш. Оқилов, Х.М. Ходжаназаров

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти потенциостатикӣ хӯлаи ноқилии алюминийи АIV0.1 бо калсий оварда шуда дар муҳити маҳлули оби NaCl бо консентратсияи 0,03; 0,3 ва 3,0 мас. %, бо суръати потенциал 2 мВ/с омӯхта шудааст. Иловаи калсий ба хӯлаи алюминий АIV0.1 аз 0,01 то 1,0 вазн.% мебошад. Нишон дода шудааст, ки хангоми илова кардани калсий аз хӯлаи зикршуда суръати зангзании онро 6-14% коҳиш медиҳад, ки бо гузариши потенциалҳои электрохимиявӣ арзишҳои мусбат нишон медиҳад. Афзоиши консентратсияи NaCl дар маҳлули обӣ ба афзоиши суръати зангзании хӯлаҳои навобаста аз таркиби онҳо ва потенциалҳои электрохимиявӣ ба самти манфии меҳвари ординатҳо мусоидат мекунад.

Калимаҳои асосӣ: *хӯлаи ноқилии алюминийи АIV0.1, усули потенциостатикӣ, калсий, рафтори электрохимиявӣ, маҳлули оби NaCl, суръати зангзании, потенциалҳои зангзании озод.*

POTENTIOSTATIC INVESTIGATION OF ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY AIV0.1 WITH CALCIUM IN AN AQUEOUS NaCl SOLUTION

I.N. Ganiev, K. Kh. Ashurov, Sh.Sh. Okilov, Kh.M. Khodzhanazarov

The article presents the results of a potentiostatic study of an aluminum conductor alloy AIV0.1 with calcium in an aqueous NaCl solution with a concentration of 0.03, 0.3, and 3.0% by weight, at a potential expansion rate of 2 mV/s. The addition of calcium to the aluminum alloy Al V 0.1 was 0.01-1.0% by weight. It is shown that calcium alloying of the specified alloy reduces the rate of its corrosion by 6-14%, which is accompanied by a shift in electrochemical potentials to positive values. An increase in NaCl concentration in an aqueous solution increases the corrosion rate of alloys, regardless of their composition, and shifts electrochemical potentials in the negative direction of the ordinate axis.

Keywords: *aluminum conductor alloy AIV0.1, potentiostatic method, calcium, electrochemical behavior, aqueous NaCl solution, corrosion rate, free corrosion potential.*

Введение

Для борьбы с коррозией затрачиваются колоссальные средства – на ремонт поврежденного оборудования, защитные покрытия на металле, увеличение припусков при проектировании металлических конструкций, на более дорогие высоколегированные сплавы. С коррозией связаны также большие косвенные расходы, вызванные остановками и авариями оборудования и др. Вред коррозии многообразен: помимо выхода из строя машин, аппаратов, станков, приборов и других изделий, ухудшаются технические свойства еще не «отживших» изделий – пластичность, твердость, прочность и т.д. Условия, в которых работают металлические изделия в ряде современных отраслей техники, а именно: высокие температуры и давления, переменные нагрузки, агрессивные среды и т.п., особенно благоприятствуют коррозионным процессам и вынуждают применять различные методы борьбы с ними [1].

Таким образом, защита металлов от коррозионного разрушения и создание новых коррозионностойких сплавов имеют огромное народнохозяйственное значение. Успешное развитие техники неразрывно связано с необходимостью изыскания новых конструкционных материалов повышенной коррозионной стойкости и усовершенствования методов защиты от коррозии [2].

В последние годы находит широкое применение большая группа коррозионностойких, самозакаляющихся свариваемых алюминиевых сплавов. Использование этих сплавов для производства литых и лито-сварных конструкций, работающих во всех климатических условиях, требует систематического ознакомления с последними достижениями в области разработки и производства новых сплавов, методами

испытания их на коррозионную стойкость и коррозию под напряжением в различных средах. Такие данные в литературе практически отсутствуют, а опубликованные в специальных изданиях сведения носят разрозненный характер [3-5].

Ванадий вводят в сплавы алюминия с помощью лигатур, которые получают двумя основными способами: сплавлением чистых компонентов и восстановлением легирующего металла из его соединений [6].

Небольшие добавки ванадия к алюминию (0.1 мас. %) сдвигают стационарный потенциал алюминия в положительную область на 250 мВ. Потенциалы репассивации ($E_{пер.}$) и питтингообразования ($E_{п.о.}$) не меняются при легировании алюминиевая ванадием. При добавке до 3%V несколько снижается значение тока коррозии и лишь при максимальной добавке 5% V ток коррозии увеличивается до значения 0.007 А/м² [5].

В литературе имеются сведения о влиянии добавки ванадия на различные свойства алюминия. В справочнике [6] сообщается, об увеличении удельного электросопротивления в пределах области растворимости ванадия в алюминий причем прирост составляет $0,4 \div 0,5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м от каждого вводимого 0,1%V. Магнитная восприимчивость при добавке в алюминий 1,0% V уменьшается на 15%. Добавка ванадия существенно не повышают механические свойства, наблюдается небольшой прирост прочности от малых присадок ванадия, вероятно, вследствие измельчения зерна. Повышение жаропрочности объясняется, по-видимому, присутствием тонкодисперсной окиси. Каждый вводимый 1% V увеличивает модуль упругости на 2250 МН/м². Ванадий способствует повышению температуры рекристаллизации алюминия. Упрочняющие старение пересыщенных сплавов Al-V (полученных методом закалки из жидкого состояния) происходит только при повышенных температурах [6,7].

При исследовании коррозии условия эксплуатации можно моделировать на образцах металлов с учётом значимых факторов (лабораторные испытания), деталях и узлах на коррозионно-климатических станциях или микологических площадках на опытных образцах техники (испытания в природных условиях). Испытания могут быть длительными и ускоренными. К ускоренным методам коррозионных исследований относится потенциостатический метод [8-9].

Целью настоящей работы является потенциостатическое исследование анодного поведения алюминиевого проводникового сплава AIV0.1 с кальцием в среде водного раствора NaCl, как имитатора морской среды. Согласно существующему ГОСТу 9.017-74 «Единая система защиты от коррозии и старения» электрохимические исследования сплавов в лабораторных условиях проводятся в среде 3.0% -ного водного раствора NaCl. Это нейтральная среда, условия, приближенная к морской воде.

Материалы и методики исследования

Для получения тройных сплавов нами алюминиевый сплав AIV0.1 полученный из алюминия марки А6 (ГОСТ 21631-2019) и металлического ванадия марки ВМ-1 99.9% (ГОСТ ТУ 48-4-272-73) легировалось металлическим кальцием марки К чистотой 98.0% (ГОСТ 10588-75) в шахтной лабораторном печи типа СШОЛ при температуре 800–850 °С. Содержание кальция в исходном сплаве варьировалось в пределах 0.01 – 1.0 мас. %. Химический анализа компонентов сплавов выполнялось в Центральной заводской лаборатории ОАО «ТалКо» (г. Турсунзоде, Республика Таджикистан). Из полученных сплавов для исследования электрохимических свойств отливались в графитовую изложницу цилиндрические образцы диаметром 8 мм, длиной 140 мм (рис.1)



Рисунок 1 – Образцы из алюминиевого проводникового сплава AIV0.1, легированного кальцием

Электрохимические исследования проводились методом поляризационных кривых в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50.1.1 (производство Российской Федерации), при скорости развёртки потенциала равнялась 2 мВ/с. Сигнал от прибора передавался на программатор ПР-8 и сохранялся на ЛКД-4. Исследования проводили в среде водного раствора NaCl различной концентрации. Образцы сплавов перед началом электрохимических измерений выдерживались до достижения стационарного потенциала или потенциала свободной коррозии $E_{св.кор.}$, значения которого устанавливается по зависимости потенциал (E, В) – время (t, мин.) в течение 1-го часа выдержки в растворе хлорида натрия. Установившиеся значения $E_{св.кор.}$ сплавов подтверждается более длительной выдержкой в течение (1–3 сут.).

При электрохимических исследованиях образцы поляризовали в положительном направлении, исходя от потенциала, установившегося (потенциал свободной коррозии или стационарного $E_{св.кор.}$), до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока до $lgi = 1 \text{ A/m}^2$ (рис. 2, кривая I). Образцы далее поляризовали в обратном направлении (до значения потенциала $-1,2 \text{ В}$) (рис. 2, кривые II и III), что позволило подщелачивать при электродную поверхность образца и снять оксидную плёнку с поверхности электрода. Под конец, образцы снова поляризовали в положительном направлении (рис. 2, кривая IV). При таком переходе фиксируется потенциал питтингообразования ($E_{п.о.}$).

Основные электрохимические характеристики сплавов определяли из вышеописанных потенциодинамических кривых, т.е. потенциалы коррозии ($E_{кор.}$), питтингообразования ($E_{п.о.}$) и репассивации ($E_{рп.}$).

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

- $E_{ст.}$ или $E_{св.кор.}$ – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;
- $E_{рп.}$ – потенциал репассивации;
- $E_{кор.}$ – потенциал коррозии;
- $E_{п.о.}$ – потенциал питтингообразования;
- $i_{кор.}$ – ток коррозии.

Плотность тока рассчитывался из тафелевских участков катодной кривой, имеющей угол наклона $b_k=0.12$. Скорость коррозии, являющаяся функцией тока коррозии, определялась по формуле:

$$K = i_{кор.} \cdot k,$$

где k – электрохимический эквивалент алюминия, среднее значение которого составляет $0.335 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$. В работах [10-17] описана подробная методика исследования анодного поведения сплавов.

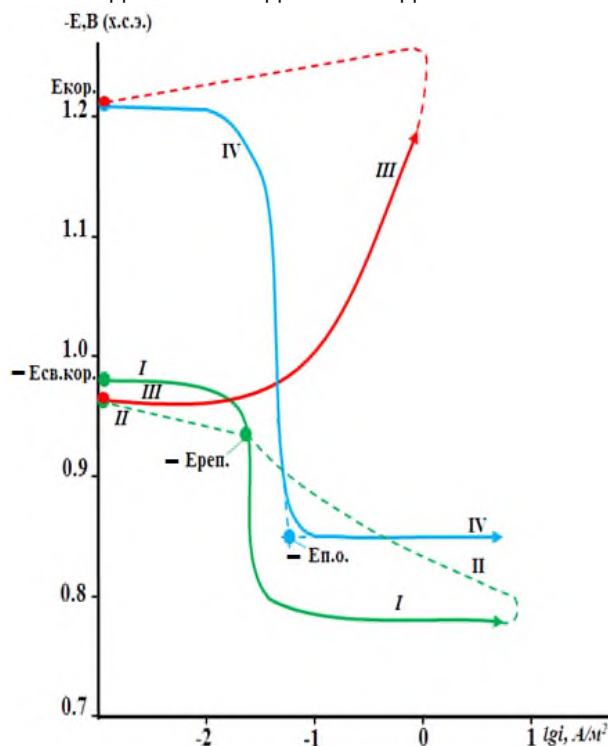


Рисунок 2 – Полная поляризационная (2мВ/с) кривая алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, в среде водного раствора 3.0%-ного NaCl

Результаты электрохимических исследований легированного кальцием алюминиевого проводникового сплава AIV0.1, представлены на рис. 2-5 и в табл. Видно, что по мере разбавления водного раствора NaCl, $E_{\text{св.кор.}}$ смещается в область положительных значений, особенно в первые 5-10 минут от начала погружения электрода в раствор. Стабилизация $E_{\text{св.кор.}}$ происходит после 20-40 минут от начала погружения электрода в раствор. Данная зависимость свидетельствует о пассивации поверхности образца, в результате формирования защитной оксидной плёнки. Например, после одного часа выдержки в водном растворе 0,03 % NaCl $E_{\text{св.кор.}}$ нелегированного сплава составляет -0.629В, а у сплава, содержащего 1,0 мас. % кальция $E_{\text{св.кор.}}$ равняется -0.527 В.

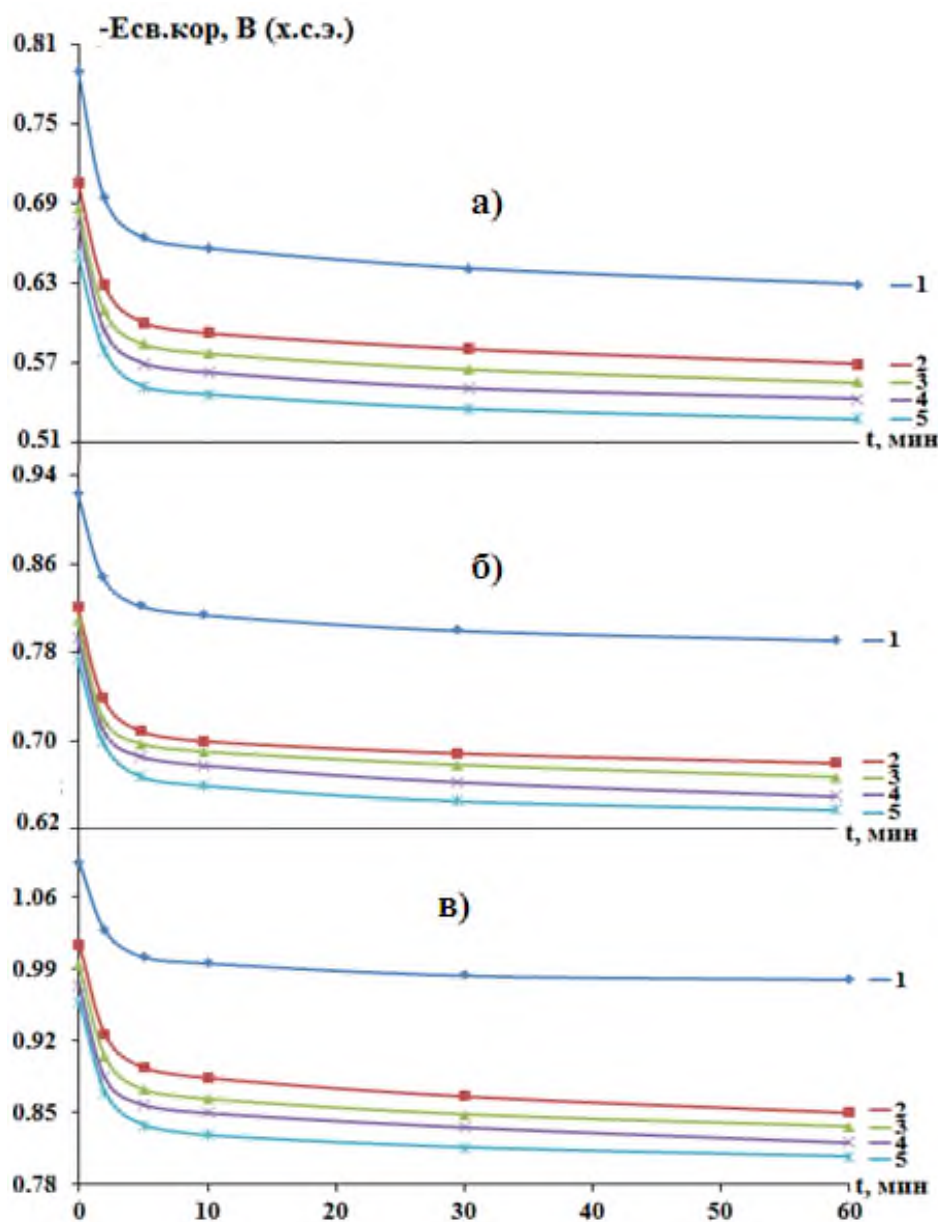


Рисунок 3 – Временная зависимость потенциала свободной коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) алюминиевого проводникового сплава AIV0.1 с кальцием, мас. %: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5), в среде водного раствора 0.03%(а), 0.3 %(б) и 3.0% - ного (в) NaCl

Результаты коррозионно-электрохимических исследований алюминиевого проводникового сплава AIV0.1 с кальцием в среде водного раствора NaCl с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 мас. %, обобщены в табл. Как видно, с увеличением содержания кальция в сплаве AIV0.1, потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений.

Таблица 1 – Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 с кальцием, в среде водного раствора NaCl

| Среда NaCl | Содержание кальция в сплаве | Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.) | | | | Скорость коррозии | |
|------------|-----------------------------|--|--------------------|--------------------|-------------------|---|---|
| | | -E _{св.кор.} | -E _{кор.} | -E _{п.о.} | -E _{рп.} | i _{кор.} ·10 ² , А/м ² | K·10 ³ , г/(м ² ·ч) |
| мас. % | | | | | | | |
| 0.03 | A6 | 0.701 | 1.132 | 0.623 | 0.671 | 6.0 | 20.10 |
| | AlV0.1 | 0.629 | 1.150 | 0.650 | 0.760 | 6.1 | 20.43 |
| | 0.01 | 0.569 | 1.047 | 0.548 | 0.668 | 5.8 | 19.43 |
| | 0.1 | 0.555 | 1.038 | 0.539 | 0.659 | 5.6 | 18.76 |
| | 0.5 | 0.542 | 1.029 | 0.530 | 0.650 | 5.4 | 18.09 |
| | 1.0 | 0.527 | 1.020 | 0.521 | 0.642 | 5.2 | 17.42 |
| 0.3 | A6 | 0.756 | 1.163 | 0.661 | 0.701 | 8.0 | 26.80 |
| | AlV0.1 | 0.791 | 1.186 | 0.740 | 0.810 | 8.1 | 27.13 |
| | 0.01 | 0.680 | 1.083 | 0.726 | 0.825 | 7.8 | 26.13 |
| | 0.1 | 0.667 | 1.074 | 0.717 | 0.816 | 7.6 | 25.46 |
| | 0.5 | 0.650 | 1.065 | 0.708 | 0.807 | 7.4 | 24.79 |
| | 1.0 | 0.638 | 1.056 | 0.699 | 0.798 | 7.2 | 24.12 |
| 3.0 | A6 | 0.909 | 1.200 | 0.713 | 0.765 | 9.7 | 32.80 |
| | AlV0.1 | 0.980 | 1.210 | 0.850 | 0.940 | 9.8 | 31.83 |
| | 0.01 | 0.850 | 1.121 | 0.769 | 0.857 | 9.5 | 31.82 |
| | 0.1 | 0.836 | 1.110 | 0.759 | 0.848 | 9.3 | 31.15 |
| | 0.5 | 0.821 | 1.101 | 0.750 | 0.839 | 9.1 | 30.48 |
| | 1.0 | 0.807 | 1.090 | 0.740 | 0.830 | 8.9 | 29.81 |

На рис. 4 представлен графическая зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 от содержания кальция в нём, в среде водного раствора NaCl различной концентрации. Добавка кальция во всех изученных средах способствует снижению скорости коррозии исходного алюминиевого сплава AlV0.1 на 6-14%.

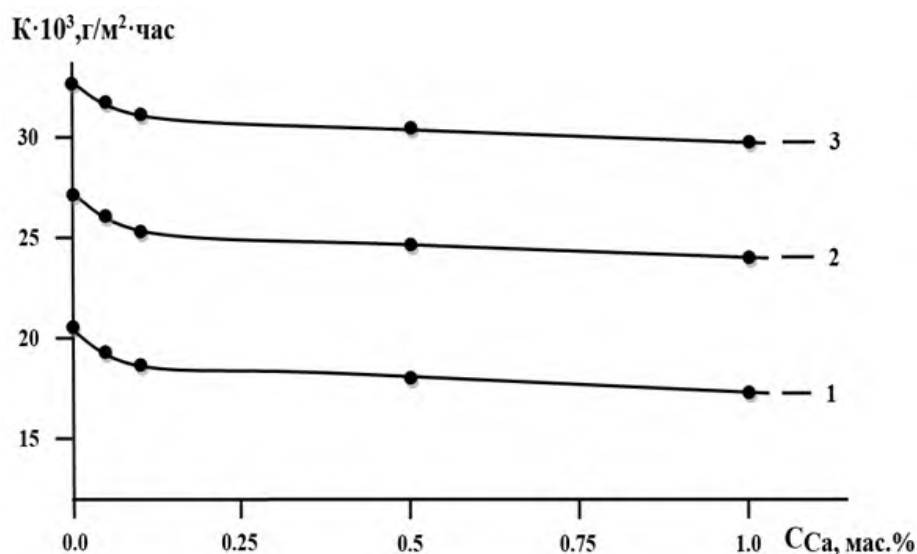


Рисунок 4 – Зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 с кальцием, в среде водного раствора 0.03% (1); 0.3% (2); и 3.0%-ного (3) NaCl

Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 содержащего кальция от концентрации NaCl показан на рис. 5. Легирование кальцием снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава AlV0.1. С ростом концентрации хлорид – иона в водном растворе NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов не зависимо от содержания кальция в них.

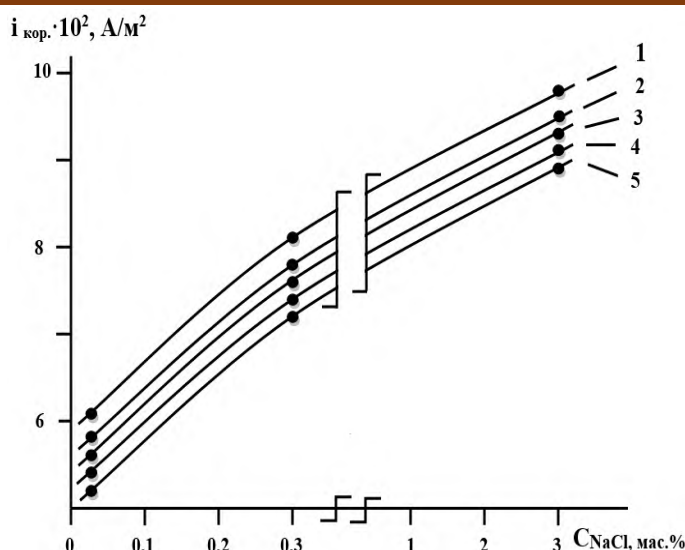


Рисунок 5 – Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 (1), содержащего кальций, мас. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) от концентрации NaCl

Заключение

Результаты исследования анодного поведения алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 с кальцием представлены в таблице. Видно, что с ростом концентрации кальция в сплаве AlV0.1 потенциал коррозии смещается в положительном направлении оси ординат. Рост концентрации легирующего компонента способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации водного раствора NaCl. С ростом концентрации водного раствора NaCl увеличивается плотность тока коррозии и соответственно, скорость коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 с кальцием.

Установлено, что коррозионная устойчивость повышается на 6-14%, при легировании кальцием до 1.0 мас. % алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, в среде водного раствора NaCl. С ростом концентрации Cl⁻ иона уменьшаются величины потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов, и увеличивается скорость их коррозии.

Изменения всех вышеуказанных электрохимических показателей процесса коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 объясняет рост степень гетерогенности структуры и исходного сплава при его легировании кальцием.

Рецензент: Рахмонов Р.О. — к.х.н., главный научный сотрудник Института химии имени В.И. Никитина ИАН Таджикистан

Литература

1. Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. Москва: Металлургия 1976. -300с
2. Лужникова Л.П. Материалы в машиностроении, Т.1. Цветные металлы и сплавы. М.: 1967. -287с.
3. Тарасенко Л.В., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Фазовый состав и механические свойства сплавов системы Al - Mg - Li - Me // Металловедение и термическая обработка металлов. 2008. №2. С.40-43.
4. Фридляндер И.Н. Современные алюминиевые, магниевые сплавы и композиционные материалы на их основе // Металловедение и терм. обр. металлов. 2002. № 7. С. 24–29.
5. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. Душанбе.: Дониш. 2007.-258с.
6. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Пер. с англ. – М: Металлургия. 1979. -640 с.
7. Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. М: Металлургия. 1986. С.155-165.
8. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия. 1977. -272с.
9. Лаптев А.Б., Кравцов В, В. Коррозия алюминия и сплавов на его основе в химических средах // в книге: Коррозия алюминиевых сплавов. М: Металлургия, 2021. С. 250-258.
10. Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., Ходжаназаров Х.М., Холов Е.Дж., Амонзода И.Т. Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (“АЛДРЕЙ”) с кадмием в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2023. Т. 28. № 4. С. 22-29.
11. Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Джайлоев Ж.Х. Анодное поведение свинцово-сурьмяного сплава SSu3 с калием в среде электролита NaCl // Материаловедение. 2022. № 12. С. 33-38.

12. Ганиев И.Н., Саидова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Савдуллоева С.С., Джайлоев Д.Х., Абулхаев В.Д. Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 легированного кальцием в среде электролита NaCl // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2023. № 65(91). С. 37-41.

13. Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш, Муллоева Н.М. Анодное поведение свинцово-сурьмяного сплава ССУЗ с литием в среде электролита NaCl // Неорганические материалы. 2023. Т. 59. № 3. стр. 266-272.

14. Ганиев И.Н., Саидов М.М., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. Анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин, легированного празеодимом, в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 1. С. 37-45.

15. Ганиев И.Н., Амиров А.Дж., Джайлоев Дж.Х., Зокиров Ф.Ш., Амонзода П.Т. Влияние лантана, церия, празеодима на коррозионно-электрохимическое поведение алюминниевго проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl // Вопросы материаловедения. 2024. № 3 (119). С. 187-195.

16. Ганиев И.Н., Саидов М.М., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. Анодное поведение алюминниевго сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин, легированного празеодимом, в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 1. С. 37-45.

17. Ганиев И.Н., Курбонов Д.Ч., Ходжаназаров Х.М., Джайлоев Дж.Х. Анодное поведение алюминниевго проводникового сплава AlV0.1, легированного литием в среде раствора NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 2. С. 41-49.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|---|---|
| Ганиев Изатулло Наврузович | Ганиев Изатулло Наврузович | Ganiev Izatullo Navruzovich |
| доктори илмҳои химия, профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, мудири озмоишгоҳ | академик НАН Таджикистана, д.х.н., проф., зав. лабораторией | Doctor of Chemical Sciences, Academician of NAST., Professor, Head. laboratory of "Corrosion-resistant materials" |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИ Тоҷикистон | ГНУ «Института химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» | V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of sciences of the Republic of Tajikistan |
| E-mail: ganievizatullo48@gmail.com . | | |
| TJ | RU | EN |
| Ашуров Қобилҷон Ҳақимович | Ашуров Қобилҷон Ҳақимович | Ashurov Qobiljon Hakimovich |
| уновонҷӯи кафедраи маводшиносӣ, дастгоҳҳои металлургӣ ва таҷҳизотҳо | соискатель кафедры «Материаловедения, металлургические машины и оборудования» | candidate of the department of materials Science, Metallurgical Machinery and Equipment |
| 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 |
| TJ | RU | EN |
| Окилов Шаҳром Шуқурбоевич | Окилов Шаҳром Шуқурбоевич | Okilov Shakhrom Shukurboevich |
| ҳодими калони озмоишгоҳи «Маводҳои ба коррозия устувор» | старший научный сотрудник | senior researcher, laboratory of "Corrosion-resistant materials", |
| Институти химияи ба номи В. И. Никитини АМИ Тоҷикистон. | Физико-технический институт им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана | Institute of chemistry named after V.I. Nikitin of the National academy of sciences of Tajikistan |
| E-mail: Okilov70070@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҳочаназаров Хайрулло Маҳмудхонович | Ходжаназаров Хайрулло Маҳмудхонович | Khodhanazarov Khayrullo Mahmudkhonovich |
| н.и.т. ҳодими калони озмоишгоҳи «Маводҳои ба коррозия устувор» | к.т.н., старший научный сотрудник | senior researcher, laboratory of "Corrosion-resistant materials" |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана | Institute of chemistry named after V.I. Nikitin of the National academy of sciences of Tajikistan |
| E-mail: khayrullo.khodhanazarov@bk.ru | | |

УДК 669.017.11.892

РАСЧЁТ СПИНОДАЛЬНОЙ КРИВОЙ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm)

С.И. Муродов

Таджикский национальный университет

Получено уравнение спинодали для расслаивающихся тройных систем. Произведен его анализ, в результате которого установлено, что границы расслаивания в трехкомпонентных системах Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) во многом зависят от значений энергии взаимодействия компонентов в двойных расслаивающихся системах. Сопоставление расчетных результатов с другими ранее полученными экспериментальными данными указало на их удовлетворительное согласие. Полученные данные имеют практическое значение при разработке технологических процессов получения металлов и сплавов в химическом и металлургическом производствах.

Ключевые слова: кальций, алюминий, редкоземельные металлы, уравнение спинодали, расслаивающиеся системы, энергия взаимодействия.

ҲИСОБ КАРДАНИ КАҶИИ СИНОДАЛ ДАР СИСТЕМАҶОИ СЕҶУЗЪАИ Al-Ca-MHЗ (MHЗ - La, Ce, Pr, Nd, Sm)

С.И. Муродов

Муодилаи спинодалиро оиди системаҳои сеҷузъа ба даст оварда шуд. Дар натиҷаи таҳлили он муайян карда шуд, ки паҳншавии ҳудуди ноомехташавӣ дар системаҳои сеҷузъаи Al-Ca-MHЗ (MHЗ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) аз бузургии энергияи мубодилаи ҳӯлаҳои дучузъаи ба қабатҳо ҷудошаванда вобастагии калон дорад. Муқоисаи натиҷаи ҳисобшуда бо дигар маълумоти таҷрибавии қаблан гирифташуда мувофиқати қаноатбахши онҳоро нишон медиҳад.

Калидвожаҳо: калсий, алюминий, металлҳои нодирзамин, муодилаи спинодали, системаҳои ба қабатҳо ҷудо шуда, энергияи мубодила.

CALCULATION OF THE SPINODAL CURVE IN THE THREE-COMPONENT SYSTEMS Al-Ca-REM (REM - La, Ce, Pr, Nd, Sm)

S.I. Murodov

The spinodal equation for separated ternary systems is obtained. Its analysis was carried out, as a result of which it was established that the boundaries of delamination in three-component Al-Ca-REM systems (REM - La, Ce, Pr, Nd, Sm) largely depend on the values of the energy of interchange of components in double delaminating systems. A comparison of the calculated results with other previously obtained experimental data indicated their satisfactory agreement. The data obtained are of practical importance in the development of technological processes for the production of metals and alloys in the chemical and metallurgical industries.

Keywords: calcium, aluminum, rare earth metals, spinodal equation, layering systems, interchange energy.

Введение

Образование спинодальной кривой относится к критическим явлениям и характерно для систем, в которых происходит распад (гетерогенной) неустойчивой фазы на (гомогенные) устойчивые. Спинодаль представляет собой линию на диаграмме состояния, отделяющую расслаивающиеся фазы. Спинодальный распад происходит равномерно по всему объему системы, чем отличим от распада метастабильных фаз, который сопровождается образованием зародышей будущего центра кристаллизации.

Изучение процессов фазообразования в трехкомпонентной системе Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) немаловажно для трактовки и прогноза взаимодействия кальция с алюминием и редкоземельными металлами (PЗМ), например, при выборе метода глубокой очистки или получении вторичных металлов [1, 2]. Тройные диаграммы алюминия с кальцием и PЗМ относятся к тем сравнительно малоизученным системам, которые характеризуются широкой областью несмешиваемости в жидком состоянии. Наличие большого числа моно- и невариантных равновесий с участием жидких гетерогенных растворов предопределяет сложность и специфичность взаимодействия компонентов в ней. Иначе говоря, системы Al-Ca-PЗМ являются сложными. Они состоят из трех бинарных Al-Ca, Al-PЗМ и Ca-PЗМ систем, две из которых Al-Ca и Al-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) характеризуются образованием жидких и твердых растворов, невариантных (эвтектических, перитектических) превращений и промежуточных фаз. В системах Ca-PЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm) при взаимодействии происходит расслаивание компонентов в жидком состоянии и образование ограниченных растворов в твердом состоянии, т.е. в них проявляется невариантное монотектическое равновесие.

Несмотря на некоторые различия, взаимодействие компонентов во всех тройных системах Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) происходит по единой схеме, что обуславливает общность строения их диаграмм состояния. Эта общность проявляется в глубине распространения существующих областей расслаивания соответствующих двойных систем Ca-PЗМ в тройных системах, в количестве и расположении квазибинарных разрезов, а также в характере фазовых равновесий и кристаллизации тройных сплавов.

Для определения глубины расслоения двойных систем Ca-PЗМ в тройных системах Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm) мы использовали термодинамические суждения согласно теории регулярных растворов. Экспериментально определить пределы распространения расслаивания в изучаемых системах представляется весьма сложным, т.к. результаты должны быть получены на сплавах, находящихся в равновесном состоянии. Для этого потребуются месяцы, а может быть и годы их выдержки в заданном состоянии при термической обработке (отжиге), что весьма не практично в современных условиях.

Методика и обработка результатов

Температура, давление и концентрация являются важными характеристиками, описывающими критические явления фазовых переходов, к которым относится также и расслоение в системе [4-8]. К примеру, рассмотрим изменение, осуществляющееся при неменяющихся давлении и температуре, а также постоянной концентрации одного из элементов в трехкомпонентной системе (x_3). Однако, в этой системе химические потенциалы, используемые для определения состояния системы, будут зависеть от концентрации двух других компонентов (x_1 и x_2) и примут следующее равенство:

$$\mu'_1 = \mu''_1 \text{ и } \mu'_2 = \mu''_2, \quad (1)$$

где номер фазы обозначается через штрихи сверху, а номер компонента через нижний индекс.

Рассчитать значения химических потенциалов элементов в двухкомпонентной системе допустимо, если использовать следующие уравнения регулярных растворов:

$$\mu_1 = \mu^0_1 = RT \ln x_1(Q'_{12} - Q''_{12}) x_2^2 + 2 Q''_{12} x_2^3 \quad \text{и} \quad (2)$$

$$\mu_2 = \mu^0_2 = RT \ln x_2(Q'_{12} - Q''_{12}) x_1^2 + 2 Q''_{12} x_1^3, \quad (3)$$

когда Q_{12} – общая энергия взаимного обмена первого и второго компонентов в системе, R – универсальная газовая постоянная, и T – абсолютная температура, °C и μ^0_i – химический потенциал чистого i -го компонента при данных температуре и давлении.

Пользуясь условием (1), вносим изменения в уравнения (2) и (3), затем получаем равенства:

$$RT \ln x_1'/x_2'' + [(x_2')^2 - (x_2'')^2] (Q'_{12} - 2Q''_{12}) + 2Q_{12} [(x_2')^3 - (x_2'')^3] = 0 \quad (4)$$

$$RT \ln x_2''/x_1' + [(x_1'')^2 - (x_1')^2] (Q'_{12} - 2Q''_{12}) + 2Q_{12} [(x_1'')^3 - (x_1')^3] = 0, \quad (5)$$

из которых определяем значения Q'_{12} и Q''_{12} для расслаивающихся фаз.

Концентрационную зависимость коэффициентов регулярного тройного раствора можно рассчитать из выражений:

$$RT \ln f_1 = x_2^2 Q_{12} + x_3^2 Q_{13} + x_2 x_3 (Q_{12} - Q_{23} - Q_{13}), \quad (6)$$

$$RT \ln f_2 = x_1^2 Q_{12} + x_3^2 Q_{23} + x_1 x_3 (Q_{23} - Q_{13} - Q_{12}), \quad (7)$$

$$RT \ln f_3 = x_1^2 Q_{13} + x_2^2 Q_{13} + x_2 x_1 (Q_{13} - Q_{12} - Q_{23}). \quad (8)$$

Применяя следующее формулу, используемую для расчета энергии Гиббса в одном моле раствора:

$$G = \sum \mu_i x_i, \quad (9)$$

и соотношение для определения химического потенциала неидеального раствора:

$$\mu_i = \mu_i^0(T, P) + RT \ln x_i + RT \ln f_i, \quad (10)$$

возможно определить значение свободной энергии в тройном регулярном растворе с учетом выражений (6)-(8) через равенство:

$$G = \sum_{i=1}^3 x_i \mu_i(T, P) = RT \ln x_i Q_{12} x_1 x_2 + Q_{13} x_1 x_3 + Q_{23} x_2 x_3. \quad (11)$$

Появление критической точки в регулярном трехкомпонентном растворе, находящемся в равновесном состоянии, возможно при константных температуре и давлении. При таких же условиях происходит образование критической кривой, представляющей совокупность этих самых точек и обуславливающей границу несмешивающихся фаз.

Определение состояния системы, совпадающего по координатам критической точке, осуществляется через нахождение частных производных второго порядка от свободной энергии, равной нулю. То есть, в случае, когда x_1 можно принять за функции x_2 и x_3 , а затем ввести поправки в (11), тогда решаются равенства с частными производными второго порядка:

$$\partial^2 G / \partial x_2^2 = -2Q_{12} + [RT(x_1 + x_2) / x_1 x_2], \quad (12)$$

$$\partial^2 G / \partial x_3^2 = -2Q_{13} + [RT(x_1 + x_3) / x_1 x_3], \quad (13)$$

$$\partial^2 G / \partial x_2 \partial x_3 = Q_{23} - Q_{12} - Q_{13} + RT / x_1. \quad (14)$$

Так как

$$(\partial^2 G / \partial x_2^2)(\partial^2 G / \partial x_3^2) = (\partial^2 G / \partial x_2 \partial x_3)^2, \quad (15)$$

то равенства (12)-(14) подставляя в формулу (15), включив в них определенные изменения вводом безразмерных параметров:

$$L = Q_{12}^2 + Q_{13}^2 + Q_{23}^2 - 2Q_{12}Q_{13} - 2Q_{13}Q_{23}$$

$$\alpha = Q_{12}/RT; \quad \beta = Q_{13}/RT; \quad \gamma = Q_{23}/RT; \quad \lambda = L/(RT)^2, \text{ придадут уравнению}$$

следующую форму:

$$\lambda x_1 x_2 x_3 + 2\alpha x_1 x_2 + 2\beta x_1 x_3 + 2\gamma x_2 x_3 = 1 \quad (16)$$

где L, α, β, γ, λ – безразмерные величины; x1, x2 и x3 – мольные доли компонентов.

Равенство (16) является симметричным уравнением спинодали. При регулярных растворах кривые расслаивания приобретают аналогичный вид и размещаются симметрично по отношению к критической точке в фазах соприкосновения.

Принимая то, что в сумме атомные доли компонентов приравняются к единице, и, включая в равенство (16) значения энергии взаимообмена [9-12] (табл. 1) при температуре 1000 °С выводим координаты границы расслаивающихся фаз в трехкомпонентных системах Al-Ca-PЗМ (PЗМ - La, Ce, Pr, Nd, Sm).

Таблица 1 – Величины энергии взаимообмена в системах Al-Ca-PЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm)

| Система Al-Ca-PЗМ | Q ₁₂ | Q ₂₃ | Q ₁₃ |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | кДж/г-ат. | | |
| Al-Ca-La | -56.0 | 65.83 | -51.10 |
| Al-Ca-Ce | -56.0 | 55.93 | -54.60 |
| Al-Ca-Pr | -56.0 | 50.59 | -45.40 |
| Al-Ca-Nd | -56.0 | 22.86 | -27.60 |
| Al-Ca-Sm | -56.0 | 10.42 | -39.70 |

Полученные по заранее составленной программе на ЭВМ координаты точек кривой спинодали для тройных систем алюминия с кальцием и редкоземельными металлами (лантаном, церием, празеодимом, неодимом, самарием) включены в таблицу 2 и показаны на рисунке. При рассмотрении величин энергии взаимообмена изучаемых систем, приведенных в таблице 1, установлено, что с увеличением показателей Q₂₃ и Q₁₃ растворимость взаимодействующих компонентов друг в друге снижается, т.е. с повышением содержания компонента x₃ увеличивается глубина расслаивания.

Таблица 2 – Координаты расслаивания при 1000 °С для сплавов тройных систем Al-Ca-PЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm)

| Тройная система | Максимум расслаивания, % ат. | |
|-----------------|------------------------------|-------------|
| | Расчет | Эксперимент |
| Al-Ca-La | 55.5 | - |
| Al-Ca-Ce | 62.0 | - |
| Al-Ca-Pr | 62.0 | - |
| Al-Ca-Nd | 57.6 | 59.0 |
| Al-Ca-Sm | 56.5 | 56.0 |

Сравнение расчетных значений и экспериментальных по определению границ несмешивающихся фаз для некоторых систем Al-Ca-PЗМ (неодим, самарий и иттрий) указало на их качественное согласие, однако количественно они нас не удовлетворили. В связи с этим, с целью увеличения доли достоверности расчетов по другим тройным системам Al-Ca-PЗМ, равенство (16) подвергли незначительному изменению, добавив в

него корреляционные переменные, выведенные из соотношений расчетных результатов и уже ранее полученных экспериментальных данных (табл. 2).

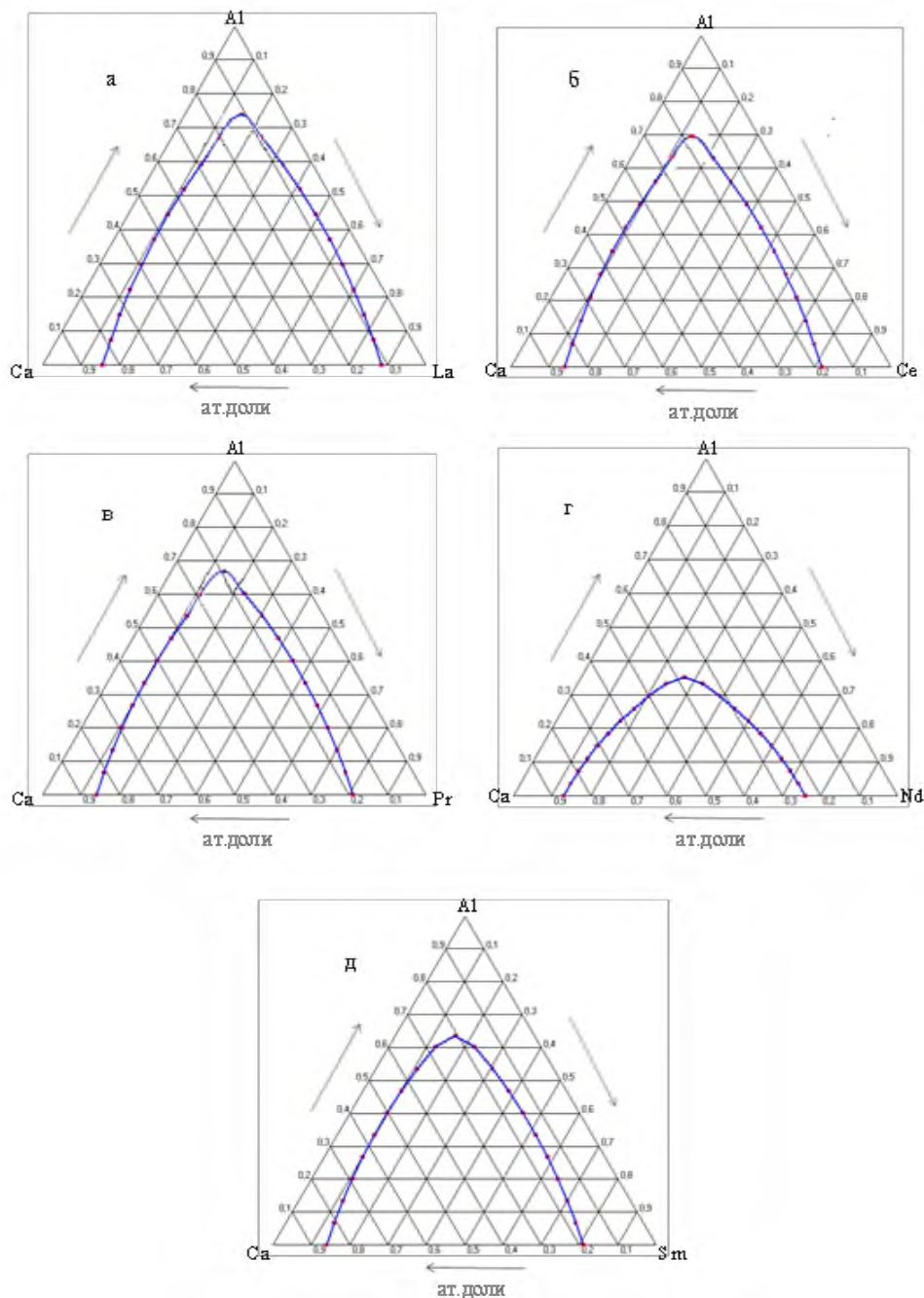


Рисунок – Границы несмешиваемости компонентов при 1000°C для тройных систем: а – Al-Ca-La; б – Al-Ca-Ce; в – Al-Ca-Pr; г – Al-Ca-Nd; д – Al-Ca-Sm

Выводы

1. Получены уравнения для расчета кривой спинодали из равновесия двух несмешивающихся фаз и из свойств чистых компонентов тройных систем Al-Ca-P3M (P3M - La, Ce, Pr, Nd, Sm).

2. Установлено, что в исследуемых трехкомпонентных системах Al-Ca-P3M (P3M - La, Ce, Pr, Nd, Sm), для которых характерно наличие области расслаивания в одной из составляющих её бинарных систем, на существование малой растворимости компонентов значительное влияние оказывает большая положительная величина энергии взаимнообмена этой (двойной) системы.

3. Полученные результаты могут быть применены для разработки технологии ликвационного рафинирования алюминия и кальция от РЗМ.

Рецензент: Самихов Ш.Ф.-д.т.н., профессор кафедры "Технология химических производств" Таджикского национального университета.

Литература

1. Способ извлечения алюминия, кальция и редкоземельных металлов из красных шламов. [Электронный ресурс]. Google Patents. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2048556C1/ru>.
2. Джураев, Т.Д. Термодинамические параметры поведения примесей при ликвационном рафинировании кальция / Т.Д. Джураев, С.И. Муродов, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова // Политехнический вестник, 2023. – №4(64). – С. 50-54.
3. Вол, А.Е. Структура и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М.: Наука, 1979. – Т.1-9.
4. Moelwyn-Hughes, E.A. Physical chemistry / E.A. Moelwyn-Hughes. – L.-N.Y.-P.: Pergamon Press, 1961. – 1151 p.
5. Prigogine, I. Chemical thermodynamics / I. Prigogine, R. Defay. – L.-N.Y.-T.: Longmans Greens and CO, 1954. – 510 p.
6. Свелин, Р.А. Термодинамика твёрдого состояния / Р.А. Свелин. – М.: Металлургия, 1968. – 315 с.
7. Бурьлёв, Б.П. Расчёт диаграмм состояния с областью несмешиваемости и промежуточными соединениями / Б.П. Бурьлёв. – В кн.: Теоретические и экспериментальные методы исследования диаграмм состояния металлических систем. – М.: Наука, 1969. – С. 87-94.
8. Джураев, Т.Д. Расчёт границ несмешиваемости трёхкомпонентных систем / Т.Д. Джураев, А.В. Вахобов // Докл. АН ТаджССР. – 1988. – Т. 31. – № 3. – С. 480-483.
9. Бурьлёв Б.П. Термодинамические свойства сплавов кальция. В кн.: Термодинамические и термохимические константы. – М.: Наука, 1969, с. 32-39.
10. Эшонов, К.К. Расчет границ несмешиваемости в тройных системах алюминий-стронций-РЗМ / К.К. Эшонов, А.В. Вахобов, Т.Д. Джураев // Журн. физ. химии. – 1978. – № 3 (78). – С. 35-38.
11. Зухуритдинов, М.А. Расчет границ несмешиваемости в тройных системах алюминий-барий-РЗМ / М.А. Зухуритдинов, А.В. Вахобов, Т.Д. Джураев // Журн. физ. химии. – 1978. – № 2 (52). – С. 501-504.
12. Вахобов, А.В. Исследование взаимодействия стронция и бария с алюминием и РЗМ / А.В. Вахобов, Т.Д. Джураев, Б.П. Бурьлёв, О.А. Меньшикова, К.К. Эшонов // В кн.: Фазовые равновесия в металлических сплавах. – М.: Наука. 1981. – С.97-102.

Благодарность: Автор выражает глубокую признательность доктору химических наук, профессору Джураеву Шухтасуну Джураевичу за ценные советы во время выполнения работы и получения результатов.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Муродов Сухайли Искандаршоевич | Муродов Сухайли Искандаршоевич | Murodov Suhilyli Iskandarshoyvich |
| Докторант (PhD) | Докторант (PhD) | Doctoral student (PhD) |
| Донишгоҳи миллии Тоҷикистон | Таджикский национальный университет | Tajik University National |
| E-mail: suhaylmurodi@gmail.com | | |

УДК 004.942.001.57

ВЫБОР ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2,18 С БАРИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ В РЕЖИМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

Ф.¹ Холмуродов, И.Н.² Ганиев, А. Г.¹ Сафаров, Дж.Х.² Джайлоев

¹Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ, Душанбе, Таджикистан

²Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ, Душанбе, Таджикистан

В теплофизических исследованиях алюминиевых сплавов важную роль играет правильный выбор процесса получения сплавов, так как равномерное распределение компонентов сплавов по всему объему образца при измерениях теплофизических свойств приводит к правильному распространению теплового поля. Исходя из вышеуказанного, в своих исследованиях использовали общеизвестный метод гомогенизации.

Ключевые слова: гомогенизация, время выдержки, температурный режим, алюминиевый сплав, теплоемкость, режим охлаждения.

SELECTION OF THE PROCESS FOR PRODUCING ALUMINUM ALLOY AI2.18 WITH BARIUM AND STUDYING ITS SPECIFIC HEAT CAPACITY IN COOLING MODE

F.¹ Kholmurodov, I.N.² Ganiev, A. G.¹ Safarov, J.Kh.² Jailoev

In thermophysical studies of aluminum alloys, the correct choice of the alloy production process plays an important role, since the uniform distribution of alloy components throughout the entire volume of the sample when measuring thermophysical properties leads to the correct distribution of the thermal field. Based on the above, the wellknown homogenization method was used in our studies.

Keywords: homogenization, holding time, temperature regime, aluminum alloy, heat capacity, cooling mode.

ИНТИХОБИ РАВАНДИ ҲОСИЛ НАМУДАНИ ХУЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ2.18 БО БАРИЙ ВА ТАҲҚИҚИ ГАРМИГУНҶОИШИ ОН ДАР РЕҶАИ ХУНУККУНӢ

Холмуродов Ф.¹, Ганиев И.Н.², Сафаров А. Г.¹, Чайлоев Ч.Х.²

Дар таҳқиқоти гармофизикии хӯлаҳои алюминий интихоби дурусти раванди ҳосилкунии хӯла нақши муҳимро мебозад, зеро баробартақсимшавии чузъҳои хӯла дар тамоми ҳаҷми намуна, ҳангоми ченкунии ҳосиятҳои гармофизикӣ, боиси дуруст паҳншавии майдони гармӣ мегардад. Дар асоси гуфтаҳои боло дар таҳқиқоти усули маъмули гомогенизатсия истифода шудааст.

Калидвожаҳо: гомогенизатсия, вақти нигоҳдорӣ, реҷаи ҳарорат, хӯлаи алюминий, гармигунҷоиши, реҷаи хунуккунӣ.

Введение

Сплавы получают разными методами и одним из методов считается гомогенизация. Гомогенизация, являясь одним из видов отжига, в производстве и технологии по получению алюминия широко используется на практике. Гомогенизация обычно используется в термодинамических неустойчивых структурах, деформированных материалах, в которых в процессе термической обработки их структура становится более гомогенной [1]. В процессе гомогенизации также улучшаются физико-химические свойства материалов, подвергшихся деформированию. В результате гомогенизации уменьшаются технологические отходы.

При гомогенизации отжигом основную роль играют температура и время выдержки. Так как процесс гомогенизации сопровождается повышением температуры, и так как увеличивается скорость процесса, в этом случае существенную роль играет коэффициент диффузии легирующих компонентов. В работе [2] авторами утверждается, что увеличение температуры на 55-60 °С может на порядок повысить коэффициенты диффузии. В процессе гомогенизации температурный режим выбирается таким образом, чтобы он был меньше температуры плавления исследуемых объектов. В процессе гомогенизации очень важно принимать во внимание присутствие неравновесной эвтектики и ее температуры плавления ($T_{эв}$), так как при сильном нагреве выше температуры плавления эвтектики она плавится. При процессе гомогенизации, до появления жидкой фазы нельзя допускать перегревов. В работе [3] указывается, что нагрев выше температуры плавления может привести к появлению пористости, окислению и впоследствии к снижению прочности и пластичности сплавов.

С учетом того, что при гомогенизации используют объемные слитки и поскольку процесс окисления происходит на граничных тонких слоях, в последнее время гомогенизацию стали проводить ближе к температуре плавления неравновесной эвтектики. Такой процесс называется высокотемпературной гомогенизацией и она предназначена для повышения механических свойств изделий.

Авторами [2] указана важность процесса выдержки при гомогенизации и говорится, что при выдержке неравновесные эвтектические включения системы Al-Cu должны полностью растворяться. Величина этих включений зависит от процесса кристаллизации. Соответственно, следует принимать во внимание, что при гомогенизации процесс выдержки крупных образцов должен быть дольше, нежели мелких образцов [1]. При этом следует отметить, что выдержка во многом зависит от коэффициента диффузии легирующих элементов в алюминии. Время выдержки для алюминиевых сплавов 3 – 50 ч., в то время как температура гомогенизации меняется от 400 до 600 °С [4]. Что касается скорости охлаждения, здесь время не устанавливается, образец

охлаждается в соответствии с температурой окружающей среды. Независимо от вторичных интерметаллидных кристаллов, выделяющихся из твердого раствора и имеющего равномерное распределение, сохраняется высокая пластичность сплава [1].

Материалы и методы исследования

Исходя из вышеуказанного метода нами был выбран следующий режим гомогенизации. Сплавы алюминия с легирующей добавкой (железа) в виде лигатуры Al+2,18мас. %Fe, непосредственно извлекались из электролизера. Поскольку для проведения эксперимента планируется легирование алюминиевых сплавов различными металлическими модификациями, возникает проблема получения этих сплавов. Эта проблема решается путем использования шахтной лабораторной печи типа СШОЛ (сопротивление шахтное опытное лабораторное) в температурном интервале 800–850°C. Количество легирующих элементов в сплавах варьировалось в интервале 0,05–2,5 мас. %. Легирующие добавки вводились в чистом виде, поскольку они являются легкоплавкими [2].

Процесс получения сплавов и литьё образцов из них непосредственно, выполненный в нашей лаборатории, представлен на рис.1 а. б. в. г. Полученные сплавы при температурах до 1200 °С извлекались из муфельной печи и их сливали в графитовую изложницу. Затем, из изложницы извлекали готовые цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм (Рис.1) [2].



Рисунок 1 – Процесс получения сплавов: а – плавление шихты в муфельной печи; б – литьё образца в графитовой изложнице; в – извлечение образца из изложницы; г – готовые образцы для исследования

Равномерность распределения модифицирующих элементов в образцах из алюминиевых сплавов обеспечивалась путем их выдержки при температуре гомогенизации до 240 часов при температуре 573К. Именно такая выдержка оптимальна для равномерного распределения компонентов сплава [2,4].

Результаты и обсуждения

Выше названным методом нами был получен алюминиевый сплав АЖ2,18 (Al+2,18 мас.%Fe) и исследованы его теплофизические свойства [5-7]. С этой целью, для подтверждения достоверности данной методики измерили удельную теплоемкость алюминиевого сплава АЖ2,18 с барием. При этом, в качестве эталонного образца с известной удельной теплоёмкостью использовалась медь марки М00.

Первым этапом данного исследования явилось получение экспериментальных данных, характеризующих изменение времени охлаждения от температуры образцов сплавов АЖ2.18, при введении в них различных содержаний бария (Ba). Расчёты изменения времени охлаждения от t проводились согласно выражению:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[(T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (1)$$

Полученные данные приводятся на рисунке 2. Содержание бария варьировалось в пределах от 0.05 до 0.5 мас. %.

Экспериментально полученные кривые охлаждения образцов сплава АЖ2.18, модифицированного барием от времени представлены на рисунке 2.

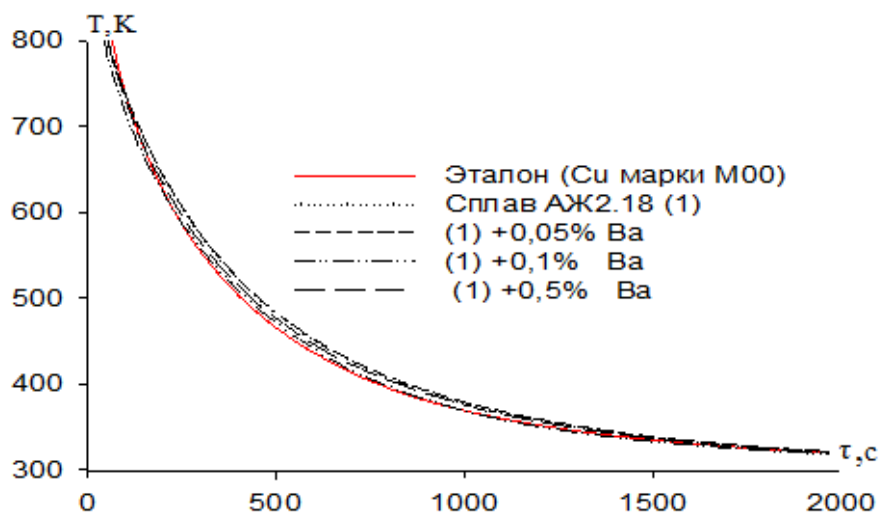


Рисунок 2 – График зависимости температуры от времени охлаждения, модифицированного барием алюминиевого сплава АЖ2.18

Дифференцируя уравнение (1) по t , для скорости охлаждения образцов из сплава АЖ2.18 имеем (рис.3):

$$\frac{dT}{d\tau} = -\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right) e^{-\tau/\tau_1} + \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right) e^{-\tau/\tau_2} . \quad (2)$$

В таблице 1 представлены значения коэффициентов ΔT_1 , τ_1 , ΔT_2 , τ_2 для исследованных сплавов по уравнению (2).

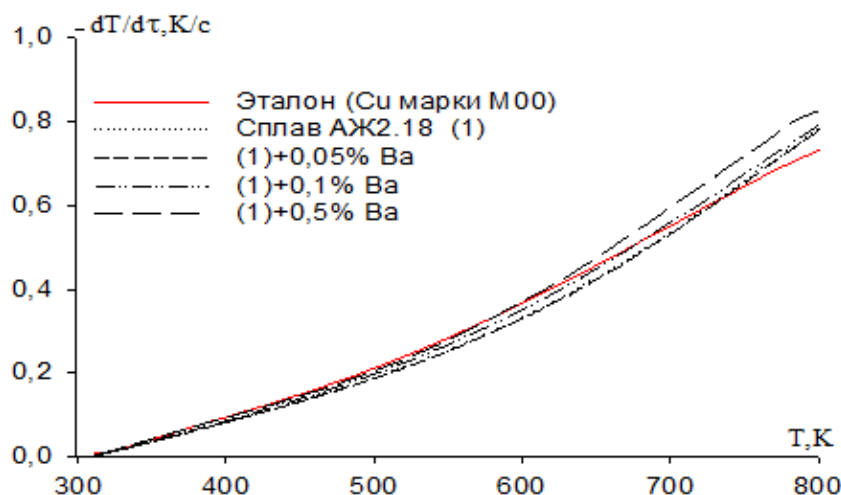


Рисунок 3 – График зависимости скорости охлаждения образцов сплава АЖ2.18 от температуры, модифицированного барием

Таблица 1– Значения коэффициентов ΔT_1 , τ_1 , ΔT_2 , τ_2 уравнении (2) для модифицированного барием сплава АЖ2.18 и эталона (Cu марки М00)

| Содержание бария в сплаве, мас.% | ΔT_1 , К | τ_1 , с | ΔT_2 , К | τ_2 , с | $\Delta T_1/\tau_1$, К/с | $\Delta T_2/\tau_2$, К/с | ΔT_0 , К |
|----------------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| 0,0 | 185.68 | 139.39 | 411.15 | 569.25 | 1.33 | 0.72 | 307.41 |
| 0.05 | 187.53 | 138.01 | 415.26 | 563.60 | 1.36 | 0.74 | 310.49 |
| 0.1 | 185.66 | 139.40 | 411.11 | 569.31 | 1.33 | 0.72 | 307.38 |
| 0.5 | 186.61 | 138.70 | 413.20 | 566.41 | 1.35 | 0.73 | 308.95 |
| Эталон | 277.41 | 109.73 | 390.83 | 543.51 | 2.53 | 0.72 | 308.35 |

Используя значения скоростей охлаждения образцов и теплоемкость эталонного образца, была определена удельная теплоемкость сплава АЖ2.18, модифицированного барием, в интервале температур 300-800 К по следующей формуле:

$$C^o_p = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (3)$$

Значение коэффициентов уравнении (3) представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (3) для эталона и алюминиевого сплава АЖ2.18 с барием

| Содержание бария в сплаве, мас.% | a | b | c | d | Коэффициент корреляции R^2 , % |
|----------------------------------|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 0,0 | 0.902 | $8.24 \cdot 10^{-4}$ | $-7.40 \cdot 10^{-7}$ | $3.05 \cdot 10^{-10}$ | 0.9999 |
| 0.05 | 0.7868 | $1.07 \cdot 10^{-3}$ | $-1.20 \cdot 10^{-6}$ | $5.40 \cdot 10^{-10}$ | 0.9990 |
| 0.1 | 0.8593 | 9.0310^{-4} | $-8.50 \cdot 10^{-7}$ | $3.54 \cdot 10^{-10}$ | 0.9994 |
| 0.5 | 0.8258 | $1.20 \cdot 10^{-3}$ | $-1.35 \cdot 10^{-6}$ | $6.08 \cdot 10^{-10}$ | 0.9996 |
| Эталон | 0.3245 | $2.75 \cdot 10^{-4}$ | $-2.87 \cdot 10^{-7}$ | $1.42 \cdot 10^{-10}$ | 100 |

Температурная зависимость удельной теплоемкости модифицированного барием сплава АЖ2.18 представлена на рисунке 4 и в таблице 3.

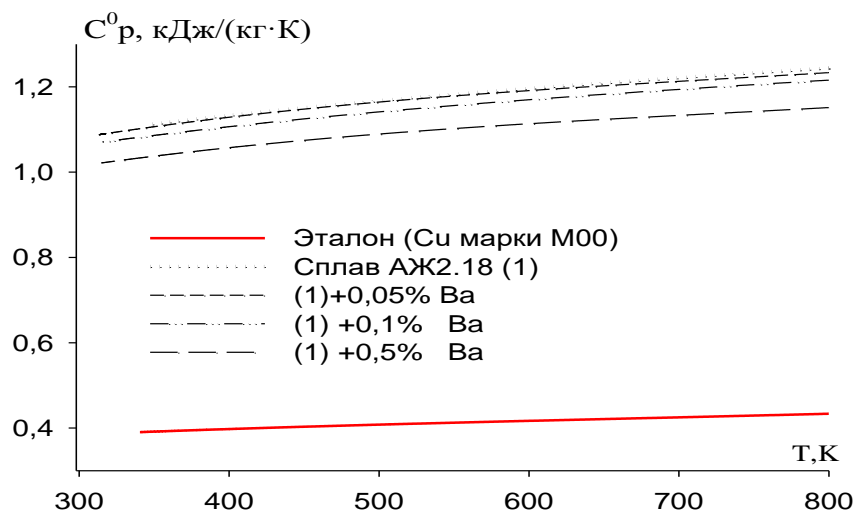


Рисунок 4 – График зависимости удельной теплоёмкости алюминиевого сплава АЖ2.18 от температуры, модифицированного барием

Таблица 3 – Удельная теплоёмкость (кДж/кг К), модифицированного барием алюминиевого сплава АЖ2.18 и эталона (Cu марки М00) в зависимости от температуры

| Содержание бария в сплаве, мас.% | Т, К | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 0,0 | 1.0908 | 1.1327 | 1.1671 | 1.1959 | 1.2208 | 1.2438 |
| 0.05 | 1.0807 | 1.1287 | 1.1643 | 1.1911 | 1.2128 | 1.2331 |
| 0.1 | 1.0633 | 1.1072 | 1.1426 | 1.1716 | 1.1963 | 1.2189 |
| 0.5 | 1.0144 | 1.0574 | 1.0893 | 1.1134 | 1.1330 | 1.1513 |
| Эталон | 0.3850 | 0.3977 | 0.4080 | 0.4169 | 0.4251 | 0.4336 |

Как видно из таблицы 3 и рисунка 4, при введении в исходный сплав АЖ2.18 различных содержаний бария величины удельной теплоёмкости уменьшаются, а при увеличении температуры растут.

Заключение

Таким образом, в данной работе изучено изменение удельной теплоёмкости образцов из алюминиевого сплава АЖ2.18 содержащего барий 0.05-0.5 мас.%. Показана зависимость этих характеристик от температуры. Можно заключить, что при увеличении температуры теплоёмкость исходного сплава увеличивается, а от содержания бария уменьшается.

Рецензент: Раҳмонов Р.О. — к.х.н., главный научный сотрудник Института химии имени В.И. Никутина НАН Таджикистан

Литература

1. М. С. Оглодков, М. В. Григорьев, С. И. Пахомкин, Е. Н. Рябова. Исследование влияния режимов гомогенизации на механические свойства крупногабаритных слитков из алюминий-литиевого сплава марки В-1481. Научно-технический журнал "Труды ВИАМ". 2017. №11. С.3-11.
2. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. М.: МИСИС, 1999. 416 с.
3. Бродова И.Г., Поленц И.В., Есин В.О. Закономерности формирования литой структуры переохлаждённых сплавов Al-Ti. // ФММ. 1992. №1. С.84-89.
4. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1986, 82 с.

5. Ганиев, И. Н. Влияние добавки олова на теплофизические свойства и термодинамические функции алюминиевого сплава AlFe5Si10 / Ганиев И. Н., Холмуродов Ф., Сафаров А. Г., Нуров Н.Р., Якубов У.Ш., Ботуров К. // Журнал «Теплофизика высоких температур». 2023.

6. Холмуродов Ф., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г. Обоснование и выбор режима охлаждения в теплофизических исследованиях. МНЖ “Endless light in science». 2024. с.197-200.

7. Холмуродов Ф., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г. Влияние редкоземельных металлов на теплофизические и термодинамические свойства алюминиево-железowego сплава АЖ2.18. Вестник СГТУ 2024. №3 (102).С. 75-85.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|--|---|
| Холмуродов Фитрат | Холмуродов Фитрат | Kholmurodov Fitrat |
| номзади илмҳои физикаю математика | кандидат физико-математических наук | candidate of physical and mathematical sciences |
| Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана | S.U.Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| fitrat@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ганиев Изатулло Наврузович | Ганиев Изатулло Наврузович | Ganiev Izatullo Navruzovich |
| д.и.х. | д.х.н | doctor of chemical sciences |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана | Institute of chemistry named after V.I. Nikitin of the National academy of sciences of Tajikistan |
| TJ | RU | EN |
| Сафаров Амиршо Гоибович | Сафаров Амиршо Гоибович | Safarov Amirsho Goibovich |
| д.и.т. | д.т.н | doctor of technical sciences |
| Институти физикаю техникаи ба номи С.У.Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Физико-технический институт им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана | S.U.Umarov Physical–Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| amirsho71@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Чайлоев Чамшед Хусейнович | Джайлоев Джамшед Хусейнович | Jailoev Jamshed Khuseinovich |
| н.и.х. | к.х.н. | candidate of chemical sciences |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана | Institute of chemistry named after V.I. Nikitin of the National academy of sciences of Tajikistan |

УДК 669.2:669.715

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМОСТИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1 С КАЛИЕМ**И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, Р.Д. Исмонов, Г.М. Рахматуллоева**

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

Благодаря сочетанию малого веса, хорошей электропроводности и технологической пластичности, а также высокой стойкости к атмосферной коррозии, алюминий и ряд сплавов на его основе достаточно широко используются в электротехнике, вытесняя более дорогие проводниковые материалы на основе меди. Одним из основных недостатков алюминиевых проводников является их низкая прочность в сравнении с медными. В работе определялась теплоемкость алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (Al + 0.1 мас.% Ti) с калием в режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталонного образца из особо чистого алюминия марки А5N (99,999% Al). Получены уравнения, описывающие скорости охлаждения образцов из алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с калием и эталона. По рассчитанным величинам скоростей охлаждения образцов сформированы уравнения температурной зависимости теплоемкостей сплавов и эталона. Интегрированием удельной теплоемкости вычислены температурные зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием. Теплоемкость, энтальпия и энтропия алюминиевого сплава AlTi0.1 с ростом концентрации калия уменьшаются, а от температуры увеличиваются, значение энергии Гиббса при этом имеет обратную зависимость.

Ключевые слова: алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1, калий, теплоёмкость, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИ ГАРМИҒУНҶОИШ ВА ФУНКЦИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИ АЛЮМИНИЙ ALTi0.1 БО КАЛИЙ**И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, Р.Д. Исмонов, Г.М. Рахматуллоева**

Бинобар сабаби вазни кам, электрогузаронии хуб ва ёзандагии технологӣ доштан, инчунин тобоварии баланди ба зангзани атмосфера устувор, алюминий ва як қатор хӯлаҳои дар асоси он буда, дар электротехника васеъ истифода шуда, масолеҳи ноқилҳои гаронбаҳои мисиро иваз мекунад. Яке аз нуқсонҳои асосии ноқилҳои алюминий ин мустаҳкамии пасти онҳо нисбат ба мис мебошад. Дар ин мақола гармиғунҷоиши хӯлаи ноқили алюминий AlTi0,1 (Al + 0,1 мас.% Ti) бо калий дар речан «сардшавӣ» бо истифода аз гармиғунҷоиши маълуми намунаи пешина аз алюминийи аълосифати навъи А5N муайян карда шуд (99,999% Al). Муодилаи тавсифи суръати хунукшавии намуна аз хӯлаи ноқили алюминий AlTi0.1 бо калий ва эталон ҳосил карда шуд. Аз руи бузургии ҳисоби суръати хунуккунии намунаҳо баробарии вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хӯлаҳо ва эталон тартиб дода шуд. Бо интегратсияи гармиғунҷоиши ҳос вобастагии ҳарорат аз тағирёбии энтальпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи алюминийи AlTi0.1 бо калий, ҳисоб карда шуд. Гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи алюминийи AlTi0.1 бо зиёд шудани концентратсияи калий кам шуда, ҳарорат бошад, қимати энергияи Гиббс вобастагии баръаксро дорад.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи ноқили алюминий AlTi0.1, калий, иқтидори гармӣ, энтальпия, энтропия, энергияи Гиббс.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE HEAT CAPACITY AND THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF ALUMINUM CONDUCTING ALLOY AlTi0.1 WITH POTASSIUM**I.N. Ganiev, F.Sh. Zokirov, R.D. Ismonov, G.M. Rakhmatulloeva**

Due to the combination of low weight, good electrical conductivity and technological ductility, as well as high resistance to atmospheric corrosion, aluminum and a number of alloys based on it are widely used in electrical engineering, displacing more expensive copper-based conductor materials. One of the main disadvantages of aluminum conductors is their low strength compared to copper ones. The work determined the heat capacity of the aluminum conductor alloy AlTi0.1 (Al + 0.1 wt.% Ti) with potassium in the “cooling” mode using the known heat capacity of a reference sample made of high-purity aluminum grade A5N (99.999% Al). Equations were obtained to describe the cooling rates of samples made of aluminum conductor alloy AlTi0.1 with potassium and the standard. Based on the calculated cooling rates of the samples, equations for the temperature dependence of the heat capacities of the alloys and the standard were formed. By integrating the specific heat capacity, the temperature dependences of changes in enthalpy, entropy and Gibbs energy for the aluminum alloy AlTi0.1 with potassium were calculated. The heat capacity, enthalpy and entropy of the aluminum alloy AlTi0.1 decrease with increasing potassium concentration, and increase with temperature; the value of the Gibbs energy has an inverse relationship.

Keywords: aluminum conductor alloy AlTi0.1, potassium, heat capacity, enthalpy, entropy, Gibbs energy.

Введение

Алюминий по электропроводности среди металлов занимает четвертое место после золота, серебра и меди. Электропроводность отожженного алюминия составляет приблизительно 62% электропроводности отожженной стандартной меди, но благодаря малому удельному весу алюминий имеет проводимость на единицу массы в 2 раза большую, чем медь [1].

Именно это дает основание об экономической выгоде применения алюминия в качестве материала для проводников. При равной проводимости (на одной и той же длине) алюминиевый проводник имеет площадь поперечного сечения на 60% большую, чем медный, а масса его составляет только 48% массы меди.

Однако вышеперечисленные традиционные подходы не позволяют, сохранив приемлемый уровень электропроводности, одновременно значительно повысить прочность алюминиевых проводников, приблизив ее к уровню медных материалов, а также увеличить температуру эксплуатации.

В этой связи, создание алюминиевых сплавов, демонстрирующих, наряду с хорошей электропроводностью, высокую прочность и термостойкость, является весьма актуальной задачей современного материаловедения проводниковых материалов [2-4]. Проводимые в настоящее время работы направлены на улучшение прочности и термостойкости проводников за счет модифицирования химического состава переходными и редкоземельными металлами в сочетании с использованием 7 методов деформационно-термической обработки (ДТО). В тоже время, в работах научного коллектива НИИ ФПМ УГАТУ [4] было продемонстрировано, что гораздо более значительное повышение комплекса свойств проводниковых алюминиевых сплавов, например системы Al-Mg-Si, можно достичь за счет создания в них ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры, используя интенсивную пластическую деформацию (ИПД). В частности, было показано, что, помимо измельчения зерна, и, соответственно, увеличения протяженности межзеренных границ, ИПД позволяет эффективно управлять концентрацией атомов легирующих элементов в твердом растворе, плотностью дислокаций, вакансий, составом и размерами частиц вторых фаз, нанокластеров и зернограницных сегрегаций. Управление этими наноразмерными параметрами микроструктуры, помимо значительного упрочнения, может, в той или иной степени, одновременно оказывать положительное влияние на электропроводность УМЗ сплавов, а также определять уровень их термостойкости [4].

Влияние различных легирующих элементов на электропроводность и прочность алюминия показали, что наибольший рост твердости отмечается при введении малорастворимых легирующих элементов: Fe, Zr, Mn, Cr, Ti, Ca и Mg. Эти элементы существенно отличаются по атомным диаметрам от алюминия. Так как электропроводность является основным параметром проводникового материала, то легирующие элементы следует выбирать с учетом их влияния на изменения электропроводности [5-9].

В настоящее время существует несколько теорий модифицирования, однако нет единого мнения в решении этой проблемы применительно к алюминиевым сплавам [10,11]. Это обусловлено, во-первых, сложностью процесса модифицирования и его зависимостью от условий плавки и литья и, во-вторых, влиянием неконтролируемых примесей и компонентов, которые могут влиять на измельчение исходного зерна сплава. Вводимая в алюминий в качестве модификатора добавка, в нашем случае титана, должна удовлетворять следующим требованиям: обладать достаточной устойчивостью в расплаве без изменения химического состава; температура плавления добавки должна быть выше температуры плавления алюминия. Кроме того, необходимо структурное и размерное соответствие кристаллических решеток модификатора и алюминия [12,13].

Цель работы заключается в исследовании влияния добавки калия на температурные зависимости удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (Al+0.1 мас. % Ti).

Схема установки и методика измерения теплоёмкости твёрдых тел

Теплоёмкость — это характеристика процесса перехода между двумя состояниями термодинамической системы, которая зависит и от пути процесса (например, от проведения его при постоянном объёме или постоянном давлении), и от способа нагревания или охлаждения (квазистатического или нестатического). Неоднозначность в определении теплоёмкости на практике устраняют тем, что выбирают и фиксируют путь квазистатического процесса (обычно оговаривается, что процесс происходит при постоянном давлении, равным атмосферному). При однозначном выборе процесса теплоёмкость становится параметром состояния и теплофизическим свойством вещества, образующего термодинамическую систему.

Теплоёмкость гетерогенных систем представляет наиболее сложный случай для термодинамического анализа. На диаграмме состояния перемещение вдоль кривой равновесия фаз сопровождается изменением p , и T . Если в процессе нагрева происходит смещение точки фазового равновесия, то это даёт дополнительный вклад в теплоёмкость, поэтому теплоёмкость гетерогенной системы не равна сумме теплоёмкостей составляющих её фаз, но превосходит её. На фазовой диаграмме, при переходе от гомогенного состояния к области существования гетерогенной системы, теплоёмкость испытывает скачок.

Практическое значение исследований теплоёмкости важно для расчётов энергетических балансов процессов в химических реакторах и других аппаратах химического производства, а также для выбора оптимальных теплоносителей. Экспериментальное измерение теплоёмкости для разных интервалов температур - от предельно низких до высоких - является основным методом определения термодинамических свойств веществ.

Обычно измерения теплоёмкости производятся на установке ИТС-400, предназначенной для исследования температурной зависимости удельной теплоёмкости [14]. Нами исследование теплоёмкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на рис. 1. Данный прибор основан на применении динамического С-калориметра с адиабатической оболочкой и тепломером [14]. Установка состоит

из следующих узлов: электропечь (3) смонтирована на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопар (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровым многоканальным термометром (7,8,9), которые подсоединены к компьютеру (10).

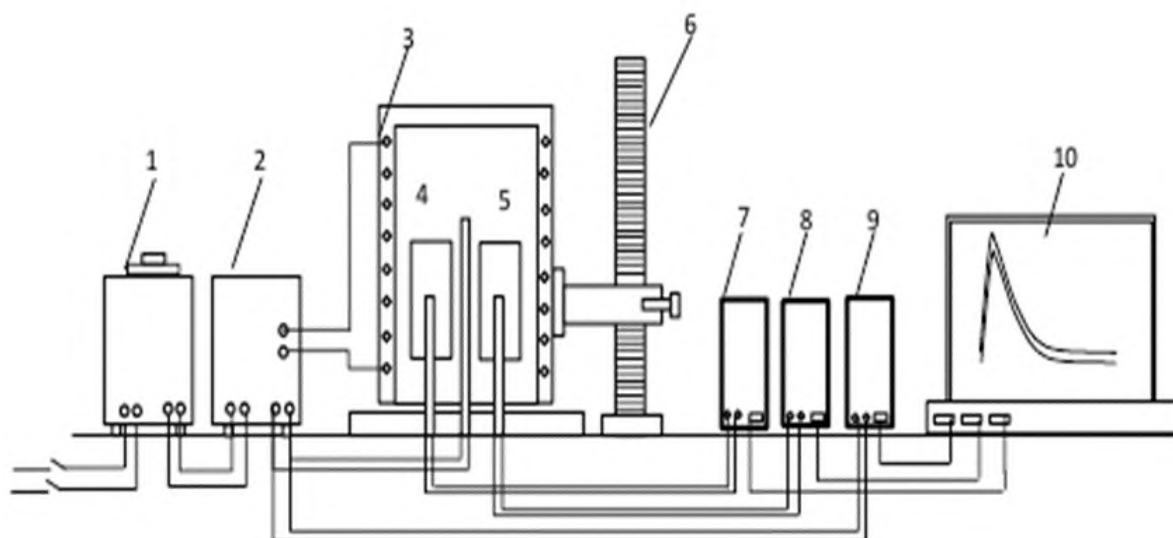


Рисунок 1 – Схема установка для определения теплоёмкости твёрдых тел в режиме охлаждения

Включаем электропечь (3) через автотрансформатор (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифрового многоканального термометра (7) отмечаем значение начальной температуры. Вдвигаем измеряемый образец (4) и эталон (5) в электропечь (3) и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифрового многоканального термометра на компьютере (8). Далее измеряемый образец (4) и эталон (5) одновременно выдвигаем из электропечи (3). С этого момента фиксируем снижение температуры. Записываем показания цифровых термометров (7,8,9) на компьютере (10) через фиксированное время 10 с. Охлаждаем образец и эталон ниже 30°C.

Одним из методов, позволяющий корректно установить температурную зависимость теплоёмкости металлов и сплавов в области высоких температур является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов, исследуемого и эталонного, по закону охлаждения Ньютона – Рихмана.

Как известно [15, 16], теплоемкость твердых тел в режиме «охлаждения» определяется по уравнению

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса эталона, $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца; $(dT/d\tau)_1$, $(dT/d\tau)_2$ – скорости охлаждения образцов из эталона и исследуемых сплавов при данной температуре. Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения образцов.

Теплоёмкость алюминиевого сплава AlTi0,1 с калием измеряли в режиме «охлаждения» по методикам, описанным в работах [17,]. Обработка результатов измерений и построение графиков производилось с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составлял величину $R_{\text{корр.}} > 0.998$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40°C до 400°C составляла $\pm 1\%$, а в интервале более 400°C $\pm 2,5\%$ [18, 19]. Погрешность измерения теплоёмкости по предлагаемой методике в нашем случае составил 1,5%.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сплавы для исследования синтезировались в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ (сопротивление шахтное опытное лабораторное) в интервале температур 800–850°C из алюминия марки А5 (ГОСТ 110669-01), титана марки ТГ-90 (ГОСТ 19807-91) в виде лигатуры с алюминием и калия металлического

марки К (ГОСТ 10588-75). Лигатура алюминия с 2 мас.% титана предварительно изготавливалась в вакуумной печи сопротивления типа СНВ 2.4.2/16. Из полученных далее в шахтной печи сопротивления СШОЛ сплавов в графитовую изложницу отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1 с калием подвергался химическому анализу на содержание основных компонентов и примесей в Центральной заводской лаборатории Алюминиевой компании ОАО "ТалКо". Содержание калия в сплаве колебалось от 0.01 до 0.5 мас. %. Состав полученных сплавов контролировался также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 2% (отн.).

Результаты исследования температуры охлаждения изучаемых сплавов представлены на рис. 2а. В общем случае полученные графики температуры (Т) от времени охлаждения (τ) для образцов из алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием показывают непрерывное уменьшение температуры образцов и эталона по мере их охлаждения. На кривых охлаждения термических эффектов, связанных с фазовым превращением или переходом, не обнаружено.

Полученные кривые охлаждения образцов из сплавов описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (2)$$

где a, b, p, k – постоянные для данного образца, τ – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (2) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (3)$$

По формуле (3) вычислены скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием и эталона. Кривые скорости охлаждения образцов представлены на рис. 2б. Обработкой скоростей охлаждения образцов получены значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в (3), которые приведены в табл. 1.

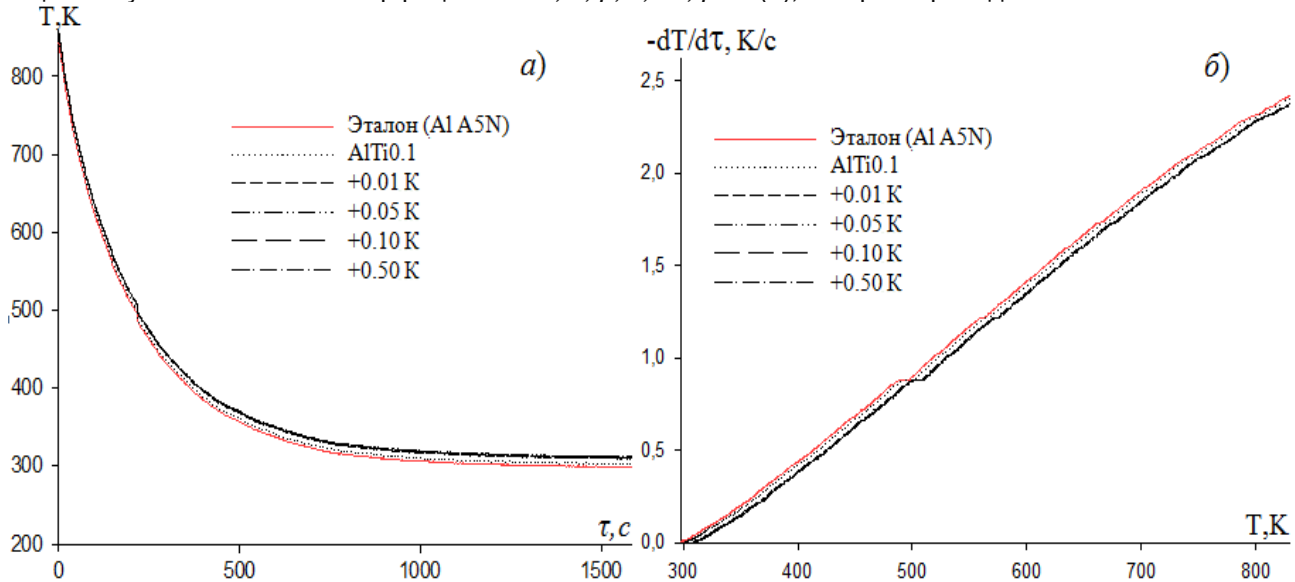


Рисунок 2 – График изменения температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения от температуры (б) для образцов из алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

С использованием установленных скоростей охлаждения образцов по уравнению (1) вычислялось удельная теплоемкость алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием и эталона. Результаты измерения через 100 К представлены в табл. 2 и на рис. 3а. Теплоемкость алюминиевого сплава AlTi0.1 с ростом температуры и концентрации калия увеличивается. Полученные значения теплоёмкости для особо чистого алюминия (эталона) совпадают с данными приведёнными в справочнике [20].

После проведения полиномиальной регрессии получено следующее общее уравнение, описывающее температурную зависимость удельной теплоемкости алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (4) представлены в табл.3.

Таблица 1 – Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (2) для алюминиевого проводникового сплава АITi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

| Содержание калия в сплаве, мас.% | a , К | $b \cdot 10^{-3}$, c^{-1} | p , К | $k \cdot 10^{-4}$, c^{-1} | $a \cdot b$, Kc^{-1} | $pk \cdot 10^{-2}$, $K \cdot c^{-1}$ |
|----------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 0.0 | 512,05 | 4,82 | 316,42 | 2,96 | 2,47 | 9,35 |
| 0.01 | 512,06 | 4,82 | 323,43 | 2,89 | 2,47 | 9,34 |
| 0.05 | 512,06 | 4,82 | 324,43 | 2,88 | 2,47 | 9,34 |
| 0.1 | 512,06 | 4,82 | 325,03 | 2,87 | 2,47 | 9,34 |
| 0.5 | 512,06 | 4,82 | 325,63 | 2,87 | 2,47 | 9,34 |
| Эталон | 512,09 | 4,82 | 312,44 | 2,99 | 2,47 | 9,36 |

Таблица 2 – Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) алюминиевого проводникового сплава АITi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

| Содержание калия в сплаве, мас.% | Т,К | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 0.0 | 903,33 | 949,02 | 991,11 | 1035,03 | 1086,25 | 1150,27 |
| 0.01 | 903,31 | 949,35 | 991,89 | 1036,38 | 1088,30 | 1153,13 |
| 0.05 | 903,25 | 949,29 | 991,83 | 1036,32 | 1088,24 | 1153,07 |
| 0.1 | 903,18 | 949,12 | 991,56 | 1035,95 | 1087,77 | 1152,50 |
| 0.5 | 902,59 | 948,62 | 990,93 | 1035,08 | 1086,64 | 1151,17 |
| Эталон | 903,70 | 949,58 | 991,97 | 1036,35 | 1088,21 | 1153,00 |

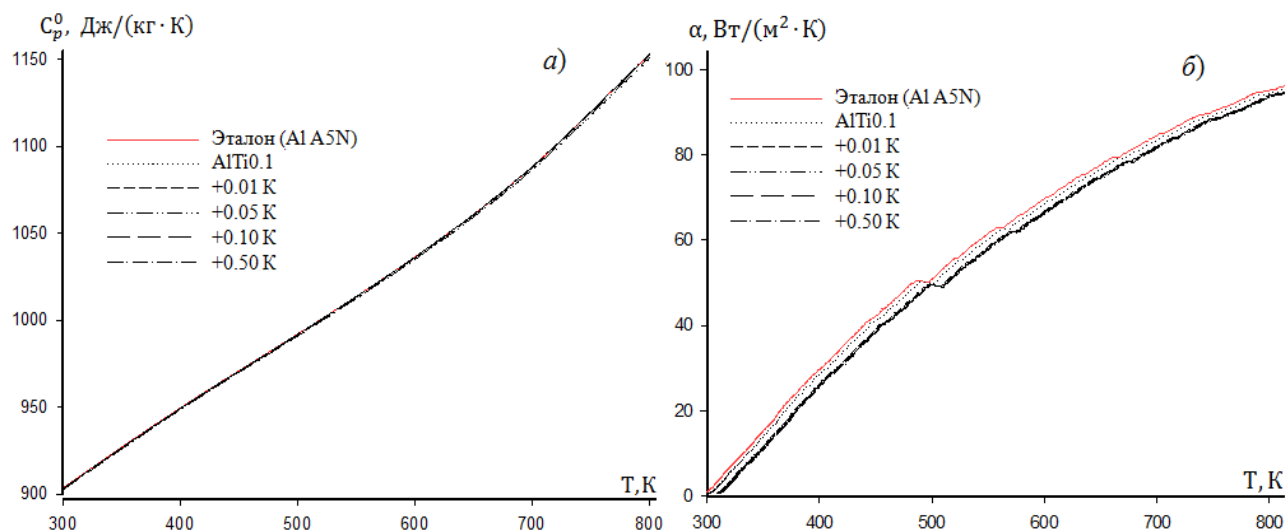


Рисунок 3 – Температурная зависимость удельной теплоемкости (а) и коэффициента теплоотдачи (б) алюминиевого проводникового сплава АITi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

Таблица 3 – Значения коэффициентов a , b , c , d , в уравнении (4) для алюминиевого проводникового сплава АITi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

| Содержание калия в сплаве, мас.% | a , Дж/(кг·К) | b , Дж/(кг·К ²) | $c \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ³) | $d \cdot 10^{-7}$, Дж/(кг·К ⁴) | Коэффициент корреляции R2 |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|---|---|---------------------------|
| 0.0 | 690.11 | 1.01 | -12,7 | 9,08 | 0.9999 |
| 0.01 | 689,39 | 1.01 | -12,7 | 9,12 | 0.9999 |
| 0.05 | 689.33 | 1.01 | -12,7 | 9,12 | 0.9999 |
| 0.1 | 689.56 | 1.01 | -12,7 | 9,12 | 0.9999 |
| 0.5 | 686,43 | 1.03 | -13,0 | 9,28 | 0.9999 |
| Эталон | 690.35 | 1.01 | -12,7 | 9,13 | 1,0000 |

С использованием значений удельной теплоемкости и скоростей охлаждения образцов вычисляли коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием по уравнению

$$\alpha_T = \frac{C_p^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) S}, \quad (5)$$

где T и T_0 – температуры образца и окружающей среды; S , m – площадь поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с калием представлен на рис. 4б. Видно, что добавка калия несколько уменьшает коэффициент теплоотдачи исходного сплава AlTi0.1.

При расчете температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (6)-(8) использовали коэффициенты уравнения (4):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4), \quad (6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3), \quad (7)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (8)$$

где $T_0 = 298.15$ К.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (6)-(8) для алюминиевого сплава AlTi0.1 с калием представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с калием и эталона (Al A5N)

| Т, К | Эталон | Содержание калия в сплаве, мас. % | | | | |
|--|----------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 0.0 | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 |
| $[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов | | | | | | |
| 300 | 1,6709 | 1,6703 | 1,6703 | 1,670167 | 1,670039 | 1,668936 |
| 400 | 94,3869 | 94,3406 | 94,3558 | 94,34969 | 94,33754 | 94,28381 |
| 500 | 191,4710 | 191,3547 | 191,4245 | 191,4124 | 191,3782 | 191,2695 |
| 600 | 292,8481 | 292,6241 | 292,7989 | 292,7807 | 292,7145 | 292,5316 |
| 700 | 398,9913 | 398,6054 | 398,9484 | 398,9243 | 398,816 | 398,5324 |
| 800 | 510,9213 | 510,2997 | 510,8899 | 510,8598 | 510,699 | 510,2913 |
| $[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, (кДж/(кг·К)) для сплавов | | | | | | |
| 300 | 0,00558 | 0,00558 | 0,005585 | 0,005584 | 0,005584 | 0,005580 |
| 400 | 0,27199 | 0,27186 | 0,271908 | 0,27189 | 0,271856 | 0,271700 |
| 500 | 0,48846 | 0,48817 | 0,488334 | 0,488303 | 0,488220 | 0,487942 |
| 600 | 0,67317 | 0,67268 | 0,673039 | 0,672997 | 0,672855 | 0,672443 |
| 700 | 0,83668 | 0,83595 | 0,836566 | 0,836515 | 0,836309 | 0,835742 |
| 800 | 0,98605 | 0,98509 | 0,985947 | 0,985888 | 0,985613 | 0,984880 |
| $[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов | | | | | | |
| 300 | -0,00517 | -0,00517 | -0,00517 | -0,00517 | -0,00517 | -0,00517 |
| 400 | -14,4125 | -14,4059 | -14,4072 | -14,4063 | -14,4047 | -14,3961 |
| 500 | -52,7590 | -52,7317 | -52,7426 | -52,7392 | -52,7318 | -52,7016 |
| 600 | -111,054 | -110,988 | -111,024 | -111,017 | -110,999 | -110,934 |
| 700 | -186,690 | -186,565 | -186,648 | -186,636 | -186,600 | -186,487 |
| 800 | -277,922 | -277,708 | -277,868 | -277,851 | -277,791 | -277,612 |

Заключение

1. В режиме «охлаждения» по известной теплоёмкости эталонного образца из алюминия установлена теплоёмкость алюминиевого сплава AlTi_{0,1} с калием. В результате математической обработки экспериментальных даны получены полиномы, описывающие температурную зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций вышеуказанных сплавов, в интервале температур 300-800 К. С помощью полученных полином показано, что с ростом содержания калия и температуры энтальпия и энтропия сплавов, уменьшается, а значение энергии Гиббса увеличиваются.

2. Изменение теплоёмкости алюминиевого сплава AlTi_{0,1} от содержания калия, объясняется ростом степени гетерогенности структуры сплавов при их модифицировании калием. Рост изменений термодинамических функций сплавов от температуры связано с увеличением энергии колебаний кристаллической решётки сплава AlTi_{0,1} с калием.

Рецензент: Сафаров А.Т. — д.т.н., доцент, главный научный сотрудник ФЛЭИ имени С.У. Умарова НАН Таджикистана.

Литература

1. Воронцова Л.А., Маслов В.В., Пешков И.Б. Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях. М.: Энергия, 1971, 224 с.
2. Moors E.H.M. Technology strategies for sustainable metals production systems: a case study of primary aluminium production in The Netherlands and Norway [Текст], Journal of Cleaner Production, 2006, 14, 1121-1138.
3. Sauvage X., Bobruk E.V., Murashkin M.Y., Nasedkina Y., Enikeev N.A., Valiev R.Z. Optimization of electrical conductivity and strength combination by structure design at the nanoscale in Al-Mg-Si alloys [Текст], Acta Materialia, 2015, 98, 355-366.
4. Murayama M., Hono K. Pre-precipitate clusters and precipitation processes in Al-Mg-Si alloys [Текст]. Acta Materialia, 1999, 47, 1537-1548.
5. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М.: Metallurgia, 1984, 282 с.
6. Zhang L., Palm M., Stein F., Sauthoff G. Formation of lamellar microstructures Al-rich TiAl alloys between 900 to 1100 °C, Journal of Intermetallics, 2001, 9, 229-238.
7. Palm M., Zhang L., Stein F., Sauthoff G. Phase and phase equilibria in the Al-rich part of the Al-Ti system above 900 °C, Journal of Intermetallics, 2002, 10 (6), 523-540.
8. Nakano T., Negishi A., Hayashi K., Umakoshi Y. Ordering process of Al₅Ti₃, h-Al₂Ti and r-Al₂Ti with FCC-base long-period superstructures in rapid solidified Al-rich TiAl alloys, Journal of Acta Materialia, 1999, 47 (4), 1091-1104.
9. Witusiewicz V.T., Bondar A.A., Hecht U. et al. The Al-B-Nb-Ti system. III. Thermodynamic reevaluation of the constituent binary system Al-Ti, Journal of Alloys and Compounds, 2008, 465 (1-2), 64-77.
10. Куцова В.З., Погребна Н.Е. Хохлова Т.С. Алюминий та сплави на його основи: навч. Посібник. Д.: Пороги, 2004, 135 с. [Kutsova V.Z., Pogrebna N.E. Khokhlova T.S. Aluminum and alloys on its basis: navch. Posibnik. D.: Pragi, 2004, 135 p. (In Rus.)]
11. Оно А. Затвердевание металлов, М.: Metallurgia, 1980, 147 с. [Ono A. Solidification of metals, M.: Metallurgy, 1980, 147 p. (In Rus.)]
12. Benci J.T., Ma J.C., Feist F. Evaluation of the intermetallic compound Al₂Ti for elevated – temperature application, Materials Science Engineering A, 1995, 192, 38-44.
13. Wu Z.L., Pope D.P. L12 Al₃Ti-based alloys with Al₂Ti precipitates – I. Structure and stability of the precipitates, Acta Metallurgica et Materialia, 1994, 42 (2), 509-518.
14. Яценко С.П., Сабирзянов А.Н. Повышение качества алюминиевых сплавов путем легирования «Мастер-сплавом», Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки, 2006, 5-1, 174-176.
15. Исмонов Р.Д. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функции сплава AB₁ (Al+1%Be), модифицированного галлием // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. ТТУ. 2021. №3 (53), - С. 31-34.
16. Исмонов Р.Д., Ганиев И. Н., Одиназода Х.О., Сафаров А.М., Иброхимов Н.Ф. Удельная теплоемкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава AB₁ (Al+1%Be) // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. ТТУ. 2019. №1 (45), - С. 90-96.
17. Ganiev I.N., Faizulloev R. J., Zokirov F.Sh., Ganieva N. I. Temperature dependences of the heat capacity and thermodynamic functions of aluminum conducting alloy AlTi_{0.1} with strontium, High Temperatur, 2023, 61 (3), 344-349.

18. Зокиров Ф.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Иброхимов Н.Ф. Влияние кальция на температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций сплава АК12М2, Теплофизика высоких температур. 2018, 56 (6), 867-872.

19. Ganiev I.N., Zokirov F.Sh., Sangov M.M., Ibrokhimov N.F. Effect of Calcium on the Temperature Dependence of the Heat Capacity and Thermodynamic Function Variability of the AK12M2 Alloy, High Temperature, 2018, 56(6), 867-872.

20. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах, Справ. изд. М.: Металлургия, 1984, 384 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-AUTHORS' BACKGROUND

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Ганиев Изатулло Наврузович | Ганиев Изатулло Наврузович | Ganiev Izatullo Navruzovich |
| Академики АМИТ, доктори илмҳои химия, профессор | Академик НАНТ, доктор химических наук, профессор | Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: ganiev48@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Зокиров Фуркатшоҳ Шахриерович | Зокиров Фуркатшоҳ Шахриерович | Zokirov Furkatshoh Shakhrirovich |
| н.и.т. | к.т.н. | Ph.D. |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: Zokirov090514@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Исмонов Рустам Довудович | Исмонов Рустам Довудович | Ismonov Rustam Dovudovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | Ph.D., associate professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: ird-78@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Рахматуллоева Гулноза Мухриевна | Рахматуллоева Гулноза Мухриевна | Rakhmatulloeva Gulnoza Mukhrievna |
| ходими калони илмӣ | старший научный сотрудник | senior researcher |
| Академияи милии Тоҷикистон | Национальной академии наук Таджикистан | National Academy of Sciences of Tajikistan |
| E-mail: Golnoz.86@mail.ru | | |

ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК 662.66:621.3.035.2

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АНТРАЦИТУ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЗАРАЙЛОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Б.С. Джамолзода¹, А.Ш. Муродиён²

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,

²Государственное учреждение Научно-исследовательский институт «Металлургия» ОАО «Таджикская
алюминиевая компания»

В статье показано, что прочность термообработанных зёрен антрацитов месторождения Назарайлок Раштской долины при 1250К составляет 900г/см. Данная величина характеризует о том, что антрацит месторождения Назарайлок ближе к коксам и вполне пригоден для производства электродных изделий. По совокупности проведенных исследований показано, что с увеличением текстуры возрастает анизотропия отражательной способности (ΔR). Анизотропия отражательной способности ΔR напрямую зависит от текстуры (Т), что даёт возможность при правильной термообработке и скорости нагрева обеспечить равномерное распределение зёрен по всему объёму угля. Сходность текстуры и величин ΔR антрацитов месторождений Назарайлок и Донецка свидетельствует об общности их геоботанического происхождения и степени метаморфизма.

Ключевые слова: антрацит, Назарайлок, кокс, отражательная способность, электрод, текстура, катодный блок.

ТАЛАБОТҲОИ АСОСӢ НИСБАТ БА АНТРАСИТИ КОНИ НАЗАРАЙЛОҚ ДАР ИСТЕҲСОЛИ МАҲСУЛОТИ ЭЛЕКТРОДӢ

Б.С. Чамолзода, А.Ш. Муродиён

Дар мақола нишон дода шудааст, ки мустақкамии донаҳои антрасити бо гармии 1250К коркардшудаи кони Назарайлок дар водии Рашт 900 г/см мебошад. Ин қимат нишон медиҳад, ки антрасити кони Назарайлок ба кокс наздиктар буда, барои истеҳсоли маҳсулотҳои электродӣ мувофиқ аст. Дар асоси маҷмӯи тадқиқотҳои гузаронидашуда нишон дода шудааст, ки бо афзоиши текстура, анизотропияи инъикос (ΔR) меафзояд. Анизотропияи инъикоси ΔR бевосита аз текстура (Т) вобаста буда имкон медиҳад, ки ҳангоми коркарди дурусти гармӣ ва суръати гармкунии донаҳо дар тамоми ҳаҷми ангишт баробарт тақсим карда мешаванд. Бо ҳам монанд будани текстура ва қимати ΔR антраситҳои қонҳои Назарайлок ва Донецк аз пайдоиши умумии геоботаникӣ ва дараҷаи метаморфизм шаҳодат медиҳад.

Калимаҳои калидӣ: антрасит, Назарайлок, кокс, қобилияти инъикосӣ, электрод, текстура, блокҳои катодӣ.

MAIN REQUIREMENTS TO ANTHRACITE FROM THE NAZARAYLOK DEPOSIT IN THE PRODUCTION OF ELECTRODE PRODUCTS

B.S. Jamolzoda, A.Sh. Murodiyev

The article shows that the strength of heat-treated anthracite grains from the Nazarailok deposit in the Rasht Valley at 1250K is 900 g/cm. This value characterizes the fact that anthracite from the Nazarailok deposit is closer to cokes and is quite suitable for the production of electrode products. Based on the totality of the studies, it is shown that with an increase in texture, the anisotropy of reflectivity (ΔR) increases. The anisotropy of reflectivity ΔR directly depends on the texture (T), which makes it possible to ensure a uniform distribution of grains throughout the volume of coal with proper heat treatment and heating rate. The similarity of the texture and ΔR values of anthracites from the Nazarailok and Donetsk deposits indicates the commonality of their geobotanical origin and degree of metamorphism.

Keywords: anthracite, Nazarailok, coke, reflectivity, electrode, texture, cathode block.

Согласно эксплуатационным требованиям все углеродные изделия на основе антрацита классифицируются на три категории: огнеупорные футеровки из углерода, угольные электроды и электродная масса, известная как термографит [1].

Подовые блоки алюминиевых электролизеров выполняют функцию токоподводов и работают в агрессивной среде криолит-глинозёмного расплава, подвергаясь воздействию натрия при температуре 950-970 °С, а иногда достигая 990 °С (из-за анодных эффектов, возникающих в процессе электролиза). Аналогично футеровочные блоки химических реакторов функционируют в условиях высокой агрессивности и абразивности. В связи с этим антрацит, который используется для производства футеровочных изделий, должен обладать высокой устойчивостью к щелочным металлам, иметь незначительную степень структурной упорядоченности и проявлять выдающуюся механическую прочность [1].

В этой работе установлено эмпирическое соответствие антрацита поставленным задачам путем испытания в условиях производства. Для набоечных масс, например, таких как горяченабивные или холоднонабивные массы, для набойки межблочного шва подины алюминиевых электролизеров, испытывающих различные нагрузки, в первую очередь при нагревании не допускаются усадочные процессы. В таком случае набоечная масса и подовые блоки вместе создают монолит, то есть через межблочные швы

протекания электролита или жидкого алюминия не происходит. Эта ситуация сильно влияет на срок службы алюминиевых электролизёров, нужно создать объемно-расширяющую набоечную массу. Этого результата можно добиться при правильном выборе температуры прокаливания антрацита, гранулирования наполнителя и выбора связующего вещества. Антрацит для всех электродных изделий подбирается по техническим требованиям ГОСТ 9404-75 по содержанию серы, золы, механической прочности и термостойкости.

Таким образом, при выборе антрацитов и прогнозировании их поведения в эксплуатационных условиях первостепенным является поведение их при высоких температурах. Из класса витринизированных антрацитов можно назвать донецкий антрацит шахты №66-67 (пласт к6), шахты «Красный Партизан» (пласт к2), месторождение вьетнамского антрацита Ха-Ту (контактного метаморфизма), антрацит российского Донбасса (шахта им. 60-летия Ленинского Комсомола) [2] и антрациты месторождения Назарайлок (самые низкзолные пласты № 4,6), состав и свойства которых приведены в работах [2-3]. Влияние на механическую прочность, зольность, объемный выход летучего вещества и другие качественные показатели антрацитов пока не выявлено полностью. Не соответствует современным стандартам и классификация антрацитов по этому показателю. Новые параметры: отражательная способность, анизотропия, микротвёрдость, текстуры и удельная электропроводность – более полностью отражают различия в свойствах антрацитов и служат надёжными классификационными параметрами для выделения путей технологического применения антрацитов [4].

Завершением основных работ стало создание нового промышленного генетического классификатора, который Постановлением Государственного стандарта СССР был утвержден ГОСТ 25543-88, который теперь действует как межгосударственный стандарт в СНГ «Угли бурые, каменные и антрациты».

В настоящей работе рассматривается разработка некоторых требований к антрациту месторождения, как к сырью для изготовления катодных блоков, используемых при футеровке алюминиевых электролизёров.

Сырой антрацит первоначально был прокален во вращающейся промышленной трубчатой печи ОАО «ТАЛКО» при температуре от 1150 до 1250 °С, чтобы удалить летучие компоненты и создать первоначальную структуру антрацита. После этого предварительно прокалённый антрацит обработали в электрической печи сопротивлением косвенного нагрева ЭМИТРОН-СВК до температуры 1700 °С. Охлаждение и нагрев осуществлялись плавно, при заданном температурном режиме 2 часа. Согласно работе [5] проводилось рентгенографическое исследование.

Методом анализа рентгеноструктуры были определены межплоскостные расстояния (d_{002}), показатель анизотропии (ΔR) и текстура (Т) антрацита.

В таблице 1 приведены межплоскостные расстояния (d_{002}) антрацитов при различных температурах термообработки.

Таблица 1 - Межплоскостное расстояние антрацитов при разных температурах термообработки (нм)

| Антрациты (витринитовые) | Температура, °С | | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 25 | 1000 | 1200 | 1400 | 1700 |
| Назарайлок | 0,357 | 0,352 | 0,349 | 0,345 | 0,340 |
| Российский Донбасс | 0,355 | 0,346 | 0,344 | 0,342 | 0,340 |
| Горловский бассейн (Россия) | 0,356 | 0,354 | 0,352 | 0,347 | 0,345 |
| Вьетнам (Ха-Ту) | 0,352 | - | - | - | 0,336 |

Из таблицы 1 следует, что антрацит месторождения Назарайлок при увеличении температуры термообработки уменьшает межплоскостное расстояние, то же самое наблюдается и в других рассмотренных антрацитах [4].

В таблице 2 приведена зависимость удельного электросопротивления и текстуры кристаллов антрацита от температуры прокаливания. Как видно из таблицы 2, при увеличении температуры уменьшается удельное электрическое сопротивление антрацитов, а их текстура растёт, что происходит из-за уплотнения межплоскостных слоёв, то есть из-за уменьшения d_{002} , а также из-за упорядоченности кристаллов, вместе с тем приводит к росту анизотропии отражательной способности исследованных антрацитов (см. табл. 3).

Удельное электрическое сопротивление образцов – антрацитов в виде порошков определяется по ГОСТу 4668-75.

Для производства электродных изделий, набоечных масс на базе антрацита или любых других коксов прочность частиц очень важна. В сыром или в прокаленном виде угольные материалы обладают определенной дробимостью.

Таблица 2 - Зависимость удельного электросопротивления и текстуры антрацитов от температуры термообработки

| Показатель | Антрацит | Температура прокали, °С | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 |
| ρ, Ом·мм ² /м | Назарайлок | 1900 | 1200 | 950 | 760 | 700 | - | - |
| | Донецк (Россия) шахты №№66-67 | - | 2100 | 1600 | 1100 | 980 | 820 | 820 |
| | Ха-Ту (Вьетнам) | - | 2150 | 1800 | 1100 | 1000 | 900 | 900 |
| Текстура (Т) | Назарайлок | 0,20 | 0,28 | 0,38 | 0,49 | 0,67 | 0,70 | - |
| | Донецк (Россия) шахты №№66-67 | 0,30 | 0,37 | 0,42 | 0,50 | 0,66 | 0,80 | - |
| | Ха-Ту (Вьетнам) | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,35 | 0,42 | - |

Таблица 3 - Зависимость отражательной способности (ΔR) антрацитов от текстуры (для сравнения приведена теоретически рассчитанная для графита [5])

| | Антрациты | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| | Назарайлок | | | | | Донецк | | | | | Графит | | | | |
| Текстура (Т) | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| ΔR, % | 4,0 | 5,8 | 8,0 | 10,0 | 12,0 | 4,0 | 6,0 | 8,8 | 11,0 | 12,0 | 4,2 | 6,5 | 8,9 | 11,0 | 12,5 |

Для измельчения и дробления углей используются разные дробилки для получения материала определенного размера; от условного нуля до фракции размера 15,0 мм (для получения набоечных масс и катодных блоков алюминиевых электролизеров). Однако по петрографическому составу, геологической структуре, степени метаморфизма частицы антрацита обладают различной твердостью (прочности). Прочность зёрен (Π) зависит от взаимодействия между молекулами, которые приравниваются к работе разрушений материалов. Похоже наиболее правильным является судить о степени прочности кускового материала, как предлагает Ребиндер П.А., о величине диспергируемой поверхности на единицу площади вновь образованной поверхности, то есть по величине (Π),

$$\Pi = \frac{dA}{dS}, \quad (1)$$

где dA - работа процесса разрушения хрупкого материала; dS - вновь образовавшаяся поверхность.

Следует отметить, что, если частицы угля (антрацита) не будут иметь определенной прочности, изготовить какие-либо электродные изделия невозможно.

Работу разрушения кускового хрупкого материала можно рассчитывать при сбросе груза на исходный материал. С 1940 года, Сысковым К.И. [6] начаты работы по этому направлению и определены прочностные характеристики зёрен некоторых видов углей, (см. таблицу 4).

Таблица 4 - Прочность углей полукокса и кокса

| Наименование угля | Ситовой состав, мм | | | | Потери, г | S, см ² | Π, г/см |
|---|--------------------|------|-------|------|-----------|--------------------|---------|
| | 5-25 | 3-5 | 1-3 | 0-1 | | | |
| Бурый уголь (Бабаевское месторождение, Россия) | 7,58 | 7,86 | 5,81 | 3,64 | 0,11 | 762 | 453 |
| Полукок из Бабаевского угля | - | 5,25 | 11,09 | 8,54 | 0,21 | 1441 | 224 |
| Кокс Губахинского коксохимического завода (Россия) | 19,69 | 2,27 | 1,46 | 1,51 | 0,07 | 337 | 1270 |
| Кокс ящичных коксований (уголь шахты им. Сталина), (Россия) | 19,54 | 1,52 | 0,97 | 2,75 | 0,22 | 460 | 835 |
| Прокаленный антрацит месторождения Назарайлок | 16,5 | 3,5 | 2,5 | 2,0 | 0,18 | 433,5 | 900 |

В своей работе мы использовали метод Сыскова К.И. где класс зёрен составлял 5-25мм. Если кокс или антрацит имеет кажущийся вес, равным единице, приняв для классов 5-25, 3-5, 1-3, 0-1 мм значения средних диаметров, соответственно, 15, 4, 2, 0,5 мм, можно определить поверхность (S) по формуле [6]:

$$S=4a_1+15a_2+30a_3+120a_4, \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4 – выход классов кокса в граммах с размером кусков; 5-25, 3-5, 1-3, 0-1 мм.

Прочность зёрен (фракций) определяется по формуле [6],

$$\Pi = \frac{300000}{S - 100}, \quad (3)$$

где S - поверхность кусков, см^2 ; 300000- работа разрушения кокса (антрацита), г/см; 100- поверхность испытуемой навески, см^2 .

Для определения прочности берут 25 г навески класса 5-25 мм.

Для прокаленного антрацита после раздавливания получили следующий выход

$$a_1 = 16,5 \text{ г}; a_2 = 3,5 \text{ г}; a_3 = 2,5 \text{ г}; a_4 = 2 \text{ г};$$

отсюда

$$S = 4 \cdot 16,5 + 15 \cdot 3,5 + 30 \cdot 2,5 + 120 \cdot 2 = 433,5 \text{ см}^2,$$

$$\Pi = \frac{300000}{433,5 - 100} = 900 \text{ г/см}$$

Таким образом, прочность зёрен антрацита месторождения Назарайлок, термообработанного при 1250К, составляет 900г/см. Данная величина характеризует о том, что антрацит месторождения Назарайлок ближе к коксам и вполне пригоден для производства электродных изделий.

Следует отметить, что с увеличением текстуры возрастает анизотропия отражательной способности (ΔR) и, в свою очередь, ΔR напрямую зависит от текстуры (T), что даёт возможность при правильной термообработке и скорости нагрева обеспечить равномерное распределение зёрен по всему объёму угля. Сходность текстуры и величин ΔR антрацитов месторождений Назарайлок и Донецка свидетельствует об общности их геоботанического происхождения и степени метаморфизма.

Рецензент: Джураев П.Дж. – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия», ЛЭТУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Горбанева Л.В., Бекасова В.Н., Кондрашенкова Н.Ф. Сб. научных трудов производства углеродных материалов. М.: НИИ графит, 1980. - С. 54-61.
2. Кураков Ю.И. Сырьевая база антрацитов Российского Донбасса для производства углеродных материалов. Дисс. докт. техн. наук. - М: 2005. - 260 с.
3. Бекасова В.Н., Горбанева Л.В. Сб. научных трудов «Сырьевые материалы электродного производства» Гос НИИЭП. –М.: НИИ графит, 1986. - С.39-45.
4. Джамолзода Б.С., Муродиён А., Сафаров А.Г., Кучакшоев Д.С., Сафиев Х. ДАН РТ, 2015, Т.58, №4. – С. 726-732.
5. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. – М: Изд – во литературы по геологии и охране недр, 1957.
6. Сысков К.И. Методика определения прочности кусковых материалов. Изв. ОТНАН СССР. т 13, №10 - С 1202-1205.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|--|--|
| Чамолзода Бехрузи Саъдонхуча | Джамолзода Бехрузи Саъдонхужа | Jamolzoda Behruzi Sadonkhuja |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | Candidate of Technical Sciences |
| Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi |
| e-mail: Jamolzoda_behruz@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Муродиён Асрор Шариф | Муродиён Асрор Шариф | Murodiyov Asror Sharif |
| д.и.т. дотсент | д.т.н., доцент | Doctor of Technical Sciences |
| Муассисаи давлатии паҷуҳишгоҳи илмӣ-таҳқиқотии «Металлургия»-и ҶСК «Ширкати алюминийи тоҷик» | Государственное учреждение Научно-исследовательский институт «Металлургия» ОАО «Таджикская алюминиевая компания» | State Institution Scientific Research Institute "Metallurgy" OJSC "Tajik Aluminum Company" |

УДК 625.85

АСФАЛЬТОБЕТОН С ДВУХКОМПОНЕНТНЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ИЗВЕСТНЯКА И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

¹Дж.З. Тошов, ¹Ф.Б. Шарипов, ²А. Шарифов

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

²Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ

В статье приведены сравнительные результаты исследования свойств асфальтобетона на дорожном битуме и заполнителях из щебня и песка с двухкомпонентным минеральным наполнителем из известняка и промышленных отходов.

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, минеральная добавка, щебень, песок, плотность, зола угля, цементная пыль.

АСФАЛЬТОБЕТОН БО ИЛОВАГИИ МИНЕРАЛИИ ДУКОМПОНЕНТАИ АЗ ОҶАКСАНГ ВА ПАРТОВҲОИ САНОАТӢ ИБОРАТ БУДА

¹Дж.З. Тошов, ¹Ф.Б. Шарипов, ²А. Шарифов

Дар мақола натиҷаҳои муқоисавии хосиятҳои асфальтбетони аз муми роҳӣ, шағал, рег ва иловаи минералии аз оҷаксанг ва партовҳои саноатӣ иборатбуда дошта, оварда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: мум, асфальтобетон, иловаи минералӣ, шағал, рег, зичӣ, хокистари ангишт, чанги семент.

ASPHALT CONCRETE WITH TWO-COMPONENT MINERAL FILLER FROM LIMESTONE AND INDUSTRIAL WASTE

¹J.Z. Toshov, ¹F.B. Sharipov, ²A. Sharifov

The article presents comparative results of a study of the properties of asphalt concrete on road bitumen and aggregates made of crushed stone and sand with a two-component mineral filler made of limestone and industrial waste.

Keywords: bitumen, asphalt concrete, mineral additive, crushed stone, sand, density, coal ash, cement dust.

Введение

В составе асфальтобетона, обычно в качестве минерального наполнителя дорожного битума используют каменный порошок с размерами частиц меньше 0.071 мм из известняка и других карбонатных пород [1]. При этом, производство минерального наполнителя дорожного битума является сравнительно многозатратным как по объёму выполняемых работ, так и по себестоимости получаемого целевого продукта, поскольку оно многостадийное и включает в себя добычу горной породы, её измельчение и помол, а также транспортировку до места приготовления асфальтобетонной смеси. Месторождения известняков имеются не во всех регионах страны, поэтому все эти факторы влияют на удорожание себестоимости применения минеральной добавки в составе асфальтобетона.

В работе [2] в качестве наполнителя асфальтобетона использован карбонатный минеральный порошок, активированный поверхностно-активным веществом (ПАВ), состоящим из смеси продуктов целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) – сырого талового масла, дистиллированного талового масла и талового пека при их массовом соотношении 1:(0,4–0,66):(0,6–1,66), и сланцевого масла или отстойную пиролизную древесную смолу в количестве 0-50% от указанной смеси продуктов ЦБП. Использование данного активированного минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси обеспечивает снижение водонасыщения и повышения длительной водостойкости асфальтобетона, увеличение его предела прочности при сжатии, снижение хрупкости и увеличение трещиностойкости при 0°С. Однако, ограниченность целлюлозно-бумажной промышленности по местам расположения также ограничивает промышленную переработку её отходов для использования в производствах асфальтобетонных смесей, которые являются широкоприменяемыми материалами. Поэтому, более эффективным является применение минерального наполнителя асфальтобетона, полученного из поршкообразных отходов местных предприятий, при этом уменьшаются расходы на приготовление минеральной добавки к дорожному битуму и, одновременно утилизируются эти отходы. В данной работе наполнение дорожного битума в составе асфальтобетонной смеси осуществлено двухкомпонентной минеральной добавкой при массовом соотношении компонентов 1:1, где первый компонент получают из известняков, а для получения второго компонента используют цементную пыль, золу угля и боя керамического кирпича. Эти вещества являются отходами имеющихся в стране предприятий. [3]

В работе [4-5] нами были исследованы влияния названных отходов на свойства дорожного битума при их использовании в качестве минерального наполнителя. Ниже приведены результаты исследования влияния данных веществ на свойства асфальтобетона при их использовании в сочетании с известняком при соотношении 1:1 в качестве минеральной добавки битуму в составе асфальтобетонной смеси.

Характеристики веществ для получения минеральной добавки в составе асфальтобетонной смеси

Для получения минеральной добавки использовали: 1) известняк из Харангонского месторождения Республики Таджикистан; 2) золу угля Фон-Ягнобского месторождения как отход от его сжигания на ТЭЦ-2 г.

Душанбе; 3) цементную пыль печей обжига клинкера на Душанбинском цементном заводе; 4) бой керамического кирпича из одного завода района Рудаки. В Таблице 1 приведены усреднённые химические составы исследуемых веществ, а в Таблице 2 - их гранулометрические составы.

Таблица 1 – Химические составы веществ состава минеральной добавки к битуму [4]

| Компоненты | Содержание, мас.%, в составах | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| | известняка | цементной пыли | керамического кирпича | зола угля |
| CaO+MgO | 58.08 | 53.38 | 5.2 | 2.44 |
| SiO ₂ | - | 14.81 | 43.55 | 56.06 |
| Al ₂ O ₃ | - | 3.65 | 31.9 | 20.05 |
| Fe ₃ O ₄ | - | 3.08 | 5.3 | 0.53 |
| K ₂ O+Na ₂ O | - | - | 4.05 | 5.50 |
| S _{общ.} | - | - | 5.3 | 0.53 |
| CO ₂ | 41.92 | - | - | - |
| Другие | - | 25.08 | 4.7 | 14.89 |
| Всего | 100 | 100 | 100 | 100 |

Таблица 2 – Исходные гранулометрические составы исследуемых веществ [3]

| Вещество | Размер сита (мм) и полный остаток порошка на сите (%) | | | | | |
|---------------------------|---|------|-------|------|-------|---------|
| | 1.25 | 0.63 | 0.315 | 0.14 | 0.071 | < 0.071 |
| Известняк | 4.0 | 7.0 | 12.0 | 25.0 | 86.0 | 14.0 |
| Зола угля | 0 | 0 | 3.0 | 18.0 | 84.0 | 16.0 |
| Цементная пыль | 3.0 | 26.0 | 40.0 | 73.0 | 97.0 | 3.0 |
| Бой керамического кирпича | 0 | 25.0 | 38.0 | 50.0 | 83.0 | 17.0 |

Минеральную добавку готовят следующим образом: определяют вещество для получения добавки, анализируют его химический и гранулометрический составы, затем его подвергают помолу в шаровой мельнице до достижения тонкости помола более 80% частиц меньше 0.071мм. Двухкомпонентную добавку готовят предварительным смешиванием отдозированного количества карбонатной добавки КДМ с отдозированным количеством одного из исследуемых добавок: из золы угля (ЗУ), цементной пыли (ЦП) и боя керамического кирпича (КК) при массовом соотношении компонентов 1:1.

В составах известняка и цементной пыли основным минералообразующим компонентом является CaO, в то же время, в составах керамического кирпича и золы угля таким компонентом является SiO₂. При использовании названных веществ в составе дорожного битума их химический состав не играет определяющую роль в улучшении качества асфальтобетона, в то же время, от удельной поверхности частиц минеральной добавки зависит сила сцепления битума с поверхностью минерального заполнителя, и чем тоньше частицы минеральной добавки, тем лучше сцепление вяжущего с поверхностью заполнителя для повышения качества асфальтобетона. Удельная поверхность частиц минеральной добавки зависит от тонкости помола частиц на сите 0,071 мм. При помолу исследуемых веществ, также и порошка известняка, продолжительность приготовления минеральной добавки и расходные затраты будут зависеть от твердости подвергаемых помолу частиц. Твердость частиц определяется химическим и минералогическим составами используемой породы, в то же время, чем меньше первоначальный размер подвергаемых помолу частиц, тем меньше будут затраты производства минеральной добавки.

В составе порошка известняка 86% частиц имеют размер 0,071-1,25 мм, что делает данный порошок в таком состоянии непригодным для использования в качестве минеральной добавки без дополнительного помола. При этом следует учесть, что порошок известняка получен из сырья, добываемого в карьерах. На

добычу сырья и его подготовку до порошкообразного состояния уже потрачены определённые средства. При получении минеральной добавки из порошка известняка к ранее потраченным средствам ещё прибавятся затраты, связанные с его дополнительным помолом до размера, необходимого установленными требованиями [6].

В то же время, для получения минеральной добавки для дорожного битума, из предлагаемых веществ затраты будут только при их помоле, поскольку эти вещества до применения в производстве минеральной добавки уже сами находятся в виде порошков с гранулометрическими составами, приведёнными в Таблице 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Пригодность предлагаемых веществ для применения в качестве минеральной добавки дорожного битума определена исследованием свойств асфальтобетонной смеси состава, мас. %: щебень-54.0; песок-40.0; минеральная добавка-6.0. Расход дорожного битума 4.82% от массы заполнителей. В Таблице 3 приведены зерновой и количественный составы исследуемой асфальтобетонной смеси, принятые согласно требованиям [7]. Приготовление асфальтобетонной смеси до однородного состояния с использованием битума марки БДН 60/90 осуществлено при температурах 160-180°C. Тонкость помола приготовленных добавок соответствовала данным Таблицы 4.

В Таблице 5 приведены значения свойств асфальтобетона с добавками, исследованные согласно методикам [8]. Определены: водопоглощение (V_m , %), плотность (γ , г/см³), прочность при осевом сжатии ($R_{сж}$, МПа) при температурах 0°C, 20°C и 50°C, прочность при поперечном расколе (R_p , МПа) и коэффициент водостойкости (K_v) образцов асфальтобетона.

Таблица 3 – Зерновой и количественный составы асфальтобетонной смеси

| № п/п | Материал и его содержание, % | | Содержание частиц заполнителя (%) на ситах с отверстиями, мм | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------|-----|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | 20 | 15 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 | <0,071 |
| 1 | Щебень 10-20 мм | | 1,32 | 73,45 | 24,78 | 0,45 | - | - | - | - | - | - | |
| 2 | Щебень 5-10 мм | | - | 3,95 | 79,26 | 16,32 | 0,47 | - | - | - | - | - | |
| 3 | Песок речной | | - | - | 0,79 | 19,13 | 14,43 | 19,02 | 21,39 | 14,42 | 6,45 | 4,37 | |
| 4 | Дробленный песок | | - | - | | 7,31 | 33,53 | 26,75 | 13,22 | 7,77 | 4,79 | 6,63 | |
| 5 | Минеральная добавка | | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0,7 | 4,5 | 19,5 | 75,4 |
| 6 | Щебень 10-20 мм | 3 | 0,04 | 2,21 | 0,74 | 0,01 | - | - | - | - | - | - | |
| 7 | Щебень 5-10 мм | 51 | - | 2,01 | 40,43 | 8,32 | 0,24 | - | - | - | - | - | |
| 8 | Песок речной | 15 | - | - | 0,12 | 2,87 | 2,16 | 2,86 | 3,21 | 2,16 | 0,97 | 0,65 | |
| 9 | Дроблённый песок | 25 | - | - | - | 1,83 | 8,38 | 6,69 | 3,30 | 1,94 | 1,20 | 1,66 | |
| 10 | Минеральная добавка | 6 | - | - | - | - | - | - | - | 0,04 | 0,27 | 1,17 | 4,52 |
| 11 | Сумма, % | 100 | 0,04 | 4,22 | 41,29 | 13,03 | 10,78 | 9,55 | 6,51 | 4,14 | 2,44 | 3,48 | 4,52 |
| 12 | Полный остаток, % | | 0,04 | 4,26 | 45,55 | 58,58 | 69,36 | 78,91 | 85,42 | 88,82 | 91,26 | 94,74 | 100 |
| 13 | Разность: 100-ΠО | | 99,96 | 95,74 | 54,45 | 41,42 | 30,64 | 21,09 | 14,58 | 11,18 | 8,74 | 5,26 | 0 |
| По ГОСТ 9128-2013 | | | 90-100 | 75-100 | 62-100 | 40-50 | 28-38 | 20-28 | 14-20 | 10-16 | 6-12 | 4-10 | |
| Соответствие ГОСТу | | | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + | |

При замене 50% карбонатной минеральной добавки на предлагаемые добавки в составе битума плотность асфальтобетона практически не изменяется, при использовании добавок из керамического кирпича (КК) и золы угля (ЗУ) водопоглощение асфальтобетона снижается, возрастание водопоглощения образцов асфальтобетона, содержащих в качестве минеральной добавки цементную пыль (ЦП), всего на 9.7% возможно объясняется гидратацией некоторых частиц состава цементной пыли.

Таблица 4 – Тонкость помола минеральных добавок на сите 0,071 мм [4]

| Минеральная добавка | КМД | ЦП | КК | ЗУ |
|---------------------------|------|------|------|------|
| Тонкость помола частиц, % | 88.2 | 85.8 | 86.6 | 87.8 |

Таблица 5 – Результаты испытания свойств асфальтобетона с минеральными добавками

| Свойства асфальтобетона | Показатели свойств асфальтобетона с минеральными добавками | | | | |
|---|--|------------|------------|------------|------|
| | КМД | КМД+КК=1:1 | КМД+ЦП=1:1 | КМД+ЗУ=1:1 | |
| Плотность, γ , кг/м ³ | 2440 | 2428 | 2424 | 2418 | |
| Водопоглощение, В, % | 2.57 | 2.38 | 2.82 | 2.34 | |
| Прочность, $R_{сж}$, МПа, при 0°С | | | | | |
| | 20°С | 8.21 | 7.85 | 8.43 | 7.79 |
| | 50°С | 4.41 | 4.26 | 4.17 | 5.06 |
| Прочность при расколе, R_p , МПа | | | | | |
| | | 1.14 | 1.61 | 1.33 | 1.35 |
| Прочность при расколе, R_p , МПа | 4.25 | 4.25 | 4.08 | 4.12 | |
| Коэффициент водостойкости, K_v | 0.9 | 0.91 | 0.93 | 0.92 | |

Различие в значениях прочности асфальтобетона при 0°С для всех составов варьируется в пределах от $\pm 2.7...5.1\%$, при 20°С $\pm 5.4...14.7\%$ (для состава с ЗУ), а при 50°С все предлагаемые минеральные добавки увеличили прочность асфальтобетона, причём возрастание прочности асфальтобетона составляет от 16.7% для состава с добавкой ЦП до 41.2% для состава с добавкой КК. Расхождение в прочностях асфальтобетона при расколе для всех составов не превышает 4.0%, а значение коэффициента водостойкости асфальтобетона с предлагаемыми добавками выше, чем для эталонного состава асфальтобетона с минеральной добавкой КМД.

Таким образом, при замене части карбонатной минеральной добавки (КМД) битума на предлагаемые минеральные добавки из цементной пыли (ЦП), керамического кирпича (КК) и золы угля (ЗУ) не произошло снижение качества асфальтобетона, а наоборот, некоторые показатели свойств асфальтобетона имеют более высокие показатели, чем для асфальтобетона с КМД.

Оценка затрат на производство минеральных добавок

Затраты на производство минеральных добавок можно представить, как:

для производства минеральной добавки из известняка

$$З = З_d + З_n;$$

для производства минеральной добавки из предлагаемых веществ, которые являются техногенными отходами других производств

$$З = З_n,$$

где $З$ – общие затраты; $З_d$ – затраты на добычу известняка, его измельчение и помол до размера частиц согласно данным Таблицы 2; $З_n$ – затраты на дополнительный помол порошка до стандартного размера минеральной добавки согласно данным Таблицы 4.

Заключение

Энергетические и трудовые затраты при добыче известняка и его превращения в порошок ($З_d$) значительно превосходят затраты его дополнительного помола ($З_n$). При производстве минеральных добавок ЗУ, ЦП и КК значение $З_d=0$. Следовательно, производство минеральной добавки из золы угля (ЗУ), цементной пыли (ЦП) и боя керамического кирпича (КК) будет значительно малозатратным, чем производство

минеральной добавки из известняка (КМД). В то же время, использование исследуемых отходов в качестве компонента минеральной добавки взамен части КД, обеспечивает показатели свойств асфальтобетона практически на том же уровне, что и карбонатная добавка.

Рецензент: Мирзозода С.Б. – к.т.н., директор ООО «Андешақор».

Литература

- ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия.
- Патент 2 256 628 РФ, С 04 В 26/26. Активированный минеральный порошок для асфальтобетонной смеси / А.М. Сергута, С.А. Дымов// заявл.22.04.2004, опубл.20.07.2005, Бюл. №20.
- Патент РТ №1558, E01C 7/18; С 04 В 26/26. Асфальтобетонная смесь / А. Шарифов, Дж.З. Тошов, А.А. Акрамов, Т.А. Расулов, Д.Х. Худойкулов// заявл.20.05.2024, опубл. 19.11.2024, Бюл. №213.
- Тошов Дж.З., Шарифов А., Нёматзода Д.С., Гозиев З.А. Изменение свойств дорожного битума под влиянием минеральных добавок разных составов, Доклады НАНТ, 2023, Т.66, №5-6, с.349-354.
- Тошов Дж.З., Шарифов А., Шарипов Ф.Б., Нёматзода Д.С., Гозиев З.А. Свойства асфальтобетона на битуме с минеральными добавками разного состава, Вестник ТТУ, 2023, №4, с.59-62.
- ГОСТ 16557-2003. Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. Технические условия.
- ГОСТ 9128-2013. Смесей асфальтобетонные, полимеры асфальтобетонные, асфальтобетон, полимер асфальтобетона для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
- ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - AUTHORS BACKGROUND

| TJ | RU | EN |
|---|--|---|
| Тошов Ҷонон Зухуриддинович | Тошов Джонон Зухуриддинович | Toshov Jonon Zukhuriddinovich |
| Ассистент | Ассистент | Assistant |
| 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. |
| E.mail tjz90@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Шарипов Фарход Баратович номзади илмҳои техники, и.в. дотсент | Шарипов Фарход Баратович кандидат технических наук, и.о. доцента | Sharipov Farhod Barotovich Candidate of Technical Sciences, i.v. dosent |
| 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. |
| E.mail abdullo.1982@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Шарифов Абдумумин доктори илмҳои техники, профессор | Шарифов Абдумумин доктор технических наук, профессор | Sharifov Abdumumin doctor of technical sciences, professor |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ | Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ | Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin NAST |
| E.mail Sharifov49@mail.ru | | |

УДК 669.21

ХИМИЗМ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА ЦИАНИДОМ И ТИОСУЛЬФАТОМ

Х.И. Холов^{1,2}, Н.Т. Шарифбоев³, Ш.Р. Самихов¹, Ш.Р. Джуракулов⁴, Ф. Эшонова¹

¹Институт химии имени В.И. Никитина НАН Таджикистана

²Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни

³Горно-металлургический институт Таджикистана

⁴Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана

В статье теоретически исследуются механизмы растворения золота в окислительных растворах (цианидных, тиосульфатных, тиоцианатных) и сравниваются стабильности образующихся комплексов золота(I) и (III). Установлено, что цианидные комплексы наиболее устойчивы. Представлены уравнения реакций растворения золота и серебра в различных растворах и их константы равновесия. Рассмотрен электрохимический механизм растворения золота и серебра, предложена модель скорости растворения с учетом концентраций цианида и кислорода, диффузионных коэффициентов и других факторов. Анализируется влияние параметров процесса на цианидное выщелачивание золота, включая размер частиц, концентрацию реагентов, температуру, pH и скорость перемешивания. Установлено, что скорость растворения золота пропорциональна половине скорости потребления цианида; извлечение золота увеличивается с ростом концентрации цианида до 0,1% массы раствора, после чего дальнейшее увеличение концентрации не влияет на извлечение, но повышает расход цианида.

Ключевые слова: золото, серебро, растворение, цианид, тиосульфат, тиоцианат, анодная реакция, катодная реакция, комплексы, устойчивость, уравнение Эльснера, константа стабильности.

ХИМИЯИ РАВАНДИ ҲАЛШАВИИ ТИЛЛОЮ НУҚРА ДАР СИАНИД ВА ТИОСУЛФАТ

Х.И. Холов, Н.Т. Шарифбоев, Ш.Р. Самихов, Ш.Р. Чуракулов, Ф. Эшонова

Дар мақола механизми ҳалшавии тилло дар маҳлулҳои оксидкунанда (сианид, тиосульфат, тиоцианат) аз ҷиҳати назариявӣ омӯхта шуда, устувории комплексои тилло (I) ва (III) ҳосилшуда муқоиса карда шудааст. Муқаррар карда шудааст, ки комплексои сианидӣ устувортарин мебошанд. Муодилаҳои реаксияҳои ҳалшавии тилло ва нуқра дар маҳлулҳои гуногун ва константаҳои мувозинати онҳо оварда шудаанд. Механизми электрохимиявӣ ҳалшавии тилло ва нуқра оварда шуда, модели суръати ҳалшавӣ бо назардошти консентратсияи сианид ва оксиген, коэффициентҳои диффузия ва дигар омилҳо пешниҳод карда шудааст. Таъсири параметрҳои раванд ба ишқорронии сианиди тилло, аз ҷумла андозаи зарраҳо, консентратсияи реагентҳо, ҳарорат, pH ва суръати омехташавӣ таҳлил карда шудааст. Муайян шудааст, ки суръати ҳалшавии тилло ба нисфи суръати истифодаи сианид мутаносиб аст; ҷудошавии тилло бо зиёд шудани консентратсияи сианид то 0,1% массаи маҳул меафзояд, пас аз он афзоиши минбаъдаи концентрат ба барқароршавӣ таъсир намерасонад, балки истифодаи сианидро зиёд мекунад.

Калидвожаҳо: тилло, нуқра, ҳалшавӣ, сианид, тиосульфат, тиоцианат, реаксияи анодӣ, реаксияи катодӣ, комплексо, устуворӣ, муодилаи Элснер, доими устуворӣ.

CHEMISTRY OF THE PROCESS OF DISSOLVING GOLD AND SILVER WITH CYANIDE AND THIOSULFATE

Kh.I. Kholov, N.T. Sharifboev,
Sh.R. Samihov, Sh.R. Dzhurakulov, F. Eshonova

In the article, the mechanisms of gold dissolution in oxidative solutions (cyanide, thiosulfate, thiocyanate) are theoretically investigated, and the stabilities of the resulting gold(I) and gold(III) complexes are compared. It is established that cyanide complexes are the most stable. Equations of the dissolution reactions of gold and silver in various solutions and their equilibrium constants are presented. The electrochemical mechanism of gold and silver dissolution is considered, and a dissolution rate model is proposed, taking into account the concentrations of cyanide and oxygen, diffusion coefficients, and other factors. The influence of process parameters on the cyanide leaching of gold is analyzed, including particle size, reagent concentration, temperature, pH, and stirring speed. It is found that the rate of gold dissolution is proportional to half the rate of cyanide consumption; gold extraction increases with the rise in cyanide concentration up to 0.1% of the solution mass, after which further increases in concentration do not affect extraction but increase cyanide consumption.

Keywords: gold, silver, dissolution, cyanide, thiosulfate, thiocyanate, anodic reaction, cathodic reaction, complexes, stability, Elzner's equation, stability constant.

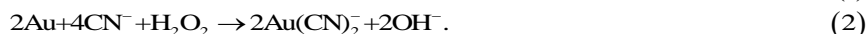
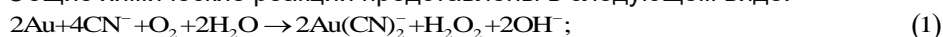
Введение

При цианировании сульфидных руд могут образовываться различные восстановленные соединения серы, такие как сульфид-анион (HS^-), полисульфиды (S_n^{2-}) [1], тиоцианат (SCN^-) [2,3], тиосульфат ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) [4], тритионат ($\text{S}_3\text{O}_6^{2-}$), тетратионат ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$), пентатионат ($\text{S}_5\text{O}_6^{2-}$) и гексатионат ($\text{S}_6\text{O}_6^{2-}$) [5,6]. Фактическое содержание восстановленных видов серы в цианировании будет в первую очередь зависеть от окислительно-восстановительного потенциала, pH, уровня цианидов и содержания серы в оборотной технической воде, а также от присутствия других химически активных видов металлов. В растворах для цианидного выщелачивания, где присутствуют полиотионаты с высоким содержанием (тетра-, пента- и гексатионаты), происходит быстрое взаимодействие с ионами цианида. Это приводит к поглощению доступного цианида

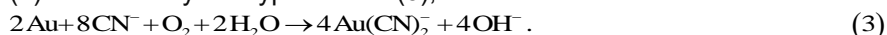
политионатами, что, в свою очередь, снижает эффективность извлечения металлов на установках. При расщеплении более высокие уровни политионатов на тритионаты, потребность в цианиде уменьшается, а извлечение металла, наоборот, увеличивается [8–10].

Золото способно растворяться в окислительных растворах, содержащих такие выщелачивающие вещества, как цианид [10], галогениды [11], тиомочевина [4], тиосульфат [7] и тиоцианат [12]. При выщелачивании цианидом золото образует аууроцианидный комплекс $Au(CN)_2^-$. Скорость анодного растворения золота в лигандах, подлежащих данному исследованию, по сравнению с цианидом растет в следующем порядке: $CN^- > SCN^- > S_2O_3^{2-}$.

Во время растворения золота в растворе цианида на первом этапе происходит восстановление кислорода и образование перекиси водорода в качестве промежуточного продукта, а на втором этапе перекись водорода становится окислителем. Общие химические реакции представлены в следующем виде:



Суммированием уравнений (1) и (2) можно получить уравнение (3),



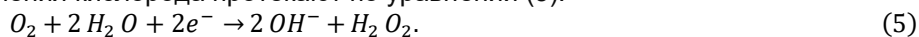
Это равенство называется уравнением Эльснера.

Растворение золота также включает анодную реакцию окисления золота и катодную реакцию восстановления кислорода.

Общая анодная реакция представляется в уравнение (4).



Реакции катодного восстановления кислорода протекают по уравнению (5).

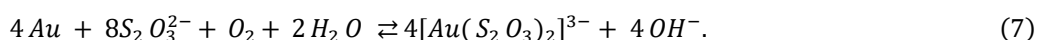


Перекись водорода, образующаяся по уравнению (5), разлагается на H_2O и O_2 , как показано ниже:

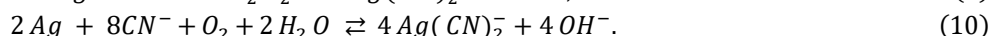
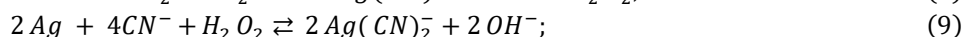
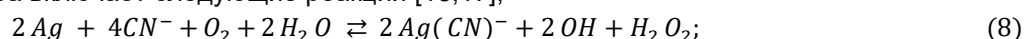


Стабильность золота(I) с его общими лигандами следующая: $CN^- > S_2O_3^{2-} > SCN^-$. Константы стабильности золота(I) и (III) с разными лигандами приведены в таблице 1. Как показано в таблице, комплексы цианида золота более стабильны по сравнению как с тиоцианатом, так и с тиосульфатом.

Золото растворяется в щелочных растворах тиосульфата и образует два комплекса золота: $Au(S_2O_3)^-$ и $Au(S_2O_3)_2^{3-}$ [2]. Растворение золота в растворах тиосульфата протекает по реакции [4,7,15],



Цианирование серебра включает следующие реакции [16,17],



Реакция растворения серебра в тиосульфатных растворах представлена в уравнении (11):

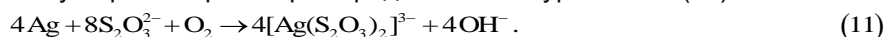


Таблица 1 – Значения констант стабильности для некоторых комплексов золота

| Стабильность золота | Лиганд | | |
|------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | CN^- | SCN^- | $S_2O_3^{2-}$ |
| Au(I), β_2 | 2×10^{38} | 1.3×10^{17} | 5×10^{28} |
| Au(III), β_3 | 10^{56} | 10^{42} | - |

Константы равновесия для реакций серебра с цианидом, сульфидом, сульфатом и тиосульфата серебра представлены в таблице 2. Величины констант равновесий показывают, что некоторые реакции с тиосульфатом серебра протекают интенсивнее, чем реакции с цианидом серебра.

Таблица 2 – Константы равновесия в реакциях с участием серебра

| Реакция | $\log_{10} K$ | Реакция | $\log_{10} K$ |
|---|---------------|--|---------------|
| $Ag^+ + 2 CN^- \rightleftharpoons Ag(CN)_2^-$ | 20 | $Ag^+ + 3 S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(S_2 O_3)_3^{5-}$ | 12.8 |
| $Ag^+ + 2 CN^- \rightleftharpoons Ag(CN)_2^{2-}$ | 20.3 | $2 Ag^+ + 4 S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag_2(S_2 O_3)_4^{6-}$ | 26.3 |
| $Ag^+ + 4 CN^- \rightleftharpoons Ag(CN)_4^{3-}$ | 20.8 | $3 Ag^+ + 5 S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag_3(S_2 O_3)_5^{7-}$ | 39.8 |
| $Ag^+ + SO_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(SO_3)^-$ | 5.6 | $6 Ag^+ + 8 S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag_6(S_2 O_3)_8^{10-}$ | 78.6 |
| $Ag^+ + 3 SO_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(SO_3)_3^{3-}$ | 7.8 | $Ag^+ + SCN^- \rightleftharpoons Ag(SCN)$ | 4.8 |
| $Ag^+ + 3 SO_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(SO_3)_3^{5-}$ | 9.0 | $Ag^+ + 2 SCN^- \rightleftharpoons Ag(SCN)_2^-$ | 8.2 |
| $Ag^+ + S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(S_2 O_3)^-$ | 8.82 | $Ag^+ + 3 SCN^- \rightleftharpoons Ag(SCN)_3^{2-}$ | 9.5 |
| $Ag^+ + 2 S_2 O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag(S_2 O_3)_2^{3-}$ | 12.6 | $Ag^+ + 4 SCN^- \rightleftharpoons Ag(SCN)_4^{2-}$ | 9.7 |

Серебро, как правило, содержится в руде совместно с золотом и выщелачивается в процессе цианирования золота. Серебро может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на кинетику цианирования золота в зависимости от минералогии руды [17–19].

Кинетика растворения золота и серебра в цианиде

Процесс растворения золота и серебра носит электрохимический характер. Механизм растворения в щелочном растворе цианида представляет собой гетерогенную реакцию на фазовой границе жидкость–твёрдое тело. Реакции выщелачивания происходят за счет диффузии цианид-ионов и растворенного кислорода через пленку жидкости на поверхности твердых частиц. Согласно этой теории, скорость цианирования представлена следующим уравнением [20]:

$$\text{Rate} = \frac{2AD_{CN^-} - D_{O_2} [CN^-][O_2]}{\delta \{D_{CN^-} [CN^-] + 4D_{O_2} [O_2]\}} \quad (12)$$

где, $[CN^-]$ и $[O_2]$ – концентрации цианида и растворенного кислорода, моль/мл;

D_{CN^-} и D_{O_2} – коэффициенты диффузии цианида и растворенного кислорода;

A – площадь поверхности металла, контактирующего с водной фазой, см²;

δ – толщина поверхностного слоя.

На процесс цианидного выщелачивания влияют несколько факторов, включая размер частиц, концентрацию цианида, концентрацию кислорода, температуру раствора, pH, плотность суспензии, скорость перемешивания. Низкое содержание растворенного кислорода в растворах для выщелачивания замедляет скорость растворения золота и серебра. Когда кислород проникает непосредственно в микропоры частиц руды, молекулы кислорода замедляют выход цианидного комплекса золота из этих пор. Любая микропора, заполненная газом или жидкостью перед цианированием, замедляет скорость растворения золота [21,22].

Концентрация цианида в растворах для выщелачивания намного выше, чем растворенного кислорода, поскольку предел насыщения кислородом составляет 7×10^{-6} . Из-за разницы концентраций цианид проникает в поры породы быстрее, чем кислород. Таким образом, цианид не является фактором, ограничивающим скорость процесса выщелачивания, в то время как растворенный кислород становится фактором, ограничивающим скорость на стадиях диффузионного переноса и химической реакции процесса выщелачивания [23].

Влияние размера частиц

Скорость растворения зависит от площади поверхности металла, подвергнутого выщелачиванию выщелачивателем. Для получения более высокой степени извлечения в реакциях выщелачивания необходимо измельчать руду с помощью процессов измельчения. Существует линейная зависимость между размерами частиц золота в диапазоне от 10 до 100 мкм и требуемым временем растворения. В другом исследовании были получены результаты, аналогичные показанным на рисунке 1, которые показывают степень растворения золота в конце 24-часового периода выщелачивания при комнатной температуре.

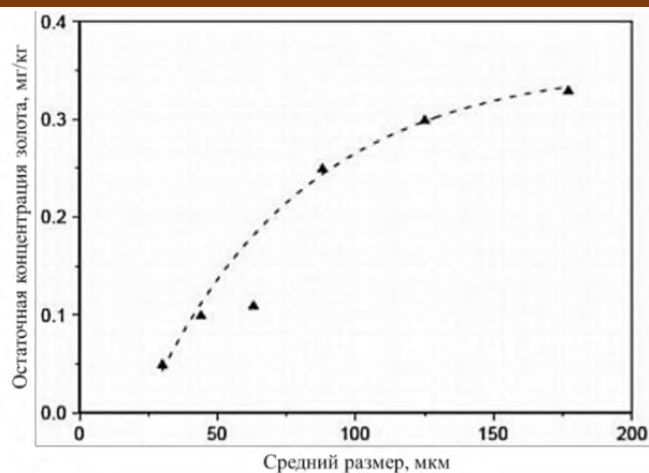


Рисунок 1 – Зависимость остаточной концентрации золота от размера частиц при цианидном выщелачивании

С другой стороны, скорость растворения золота может снижаться с уменьшением размера частиц за счет высвобождения из руды других элементов, потребляющих цианид, например Fe, As.

Концентрация цианида

При растворении золота в растворе цианида на один моль растворенного золота расходуется два моля цианида. Это также показано уравнением Эльснера. Скорость растворения золота составляет половину скорости потребления цианида:

$$\text{Скорость растворения золота} = 1/2 d(\text{CN}^-) / dt. \quad (13)$$

Выщелачивание и извлечение золота увеличивается с ростом концентрации цианида в насыщенных воздухом растворах, когда концентрация цианида ниже критического значения 0,1 % от массы раствора (1000 частей на миллион). При превышении этой молярной концентрации увеличение содержания цианида в растворах для выщелачивания не оказывает положительного влияния на извлечение золота. Избыток цианида приведет к увеличению его расхода из-за образования цианокомплексов из примесей.

Концентрация кислорода

Кислород является вторым по важности реагентом при цианидном выщелачивании золотосодержащих руд. Концентрация золота определяет концентрацию кислорода при катодном восстановлении.

Как показано в уравнении (1), для получения двух молей золота требуется один моль газообразного кислорода (O_2). Количество кислорода, растворенного в разбавленном растворе, в основном зависит от температуры, парциального давления кислорода и скорости перемешивания.

Более высокие концентрации кислорода и цианида увеличивают скорость выщелачивания золота и после достижения определенного уровня концентрации цианида скорость выщелачивания металла не увеличивается. Согласно теории смешанного потенциала, окисление золота и восстановление кислорода происходят с одинаковой скоростью. Исходя из этой теории, оптимальная концентрация $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]$ была оценена как равная 6 для максимальной скорости растворения золота в цианидных растворах. Согласно другому исследованию [24], оптимальное соотношение $[\text{CN}^-]/[\text{O}_2]$ находится в пределах 4,6 – 6,3.

Диффузия кислорода к поверхности золота является доминирующим параметром, определяющим скорость растворения при выщелачивании [25]. Все частицы в суспензии должны быть взвешены при достаточном перемешивании, чтобы обеспечить массоперенос растворенных ионов O_2 и CN^- с достаточной скоростью для проведения поверхностных реакций в процессе выщелачивания. Механизм реакции, описывающий скорость выщелачивания золота, представлен ниже [26].

$$d[\text{Au(I)}] / dt = k[\text{CN}]^{-0.5} [\text{O}_2]^{0.5}. \quad (14)$$

Это уравнение скорости выщелачивания имеет половинный порядок для концентраций цианида и кислорода и действительно учитывает этапы транспортировки при выщелачивании.

Выводы

Кинетика растворения золота и серебра в цианиде зависит от ряда факторов, оптимизация которых необходима для достижения максимального извлечения ценных металлов. Ключевым фактором, это контролирующим скорость растворения и концентрация растворенного кислорода. Скорость процесса не лимитируется концентрацией цианида.

Оптимизация параметров концентрации цианида и растворенного кислорода является критическим фактором для максимизации извлечения золота при цианидном выщелачивании. Прямое влияние этих параметров на скорость и эффективность процесса выщелачивания золота подчеркивает необходимость их тщательной оптимизации для максимального извлечения ценного металла из руд.

Дальнейшие исследования в этой области позволяют более глубоко понять влияние различных факторов на кинетику растворения золота и серебра, что приведет к дальнейшему совершенствованию технологии цианидного выщелачивания.

Рецензент: Ганиев И.Н. – д.х.н., профессор, академик ИАНТЛ.

Литература

1. Каримова Л.М., Захарьян Д.В., Агапитов Я.Е. Исследования по гидрометаллургической переработке золотосодержащего концентрата месторождения «Джамгыр». Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2021, 14(2), 166-174.
2. Li J., Safarzadeh M.S., Moats M.S., Miller J.D., LeVier K.M., Dietrich M., Wan R.Y. Thiocyanate hydrometallurgy for the recovery of gold. Part IV: Solvent extraction of gold with Alamine 336. Hydrometallurgy, 2012, Vol. 113, 25–30.
3. Холмогоров А.Г., Кононова О.Н., Пашков Г.Л., Кононов Ю.С. Тиоцианатные растворы в золотой технологии. Гидрометаллургия, 2002, №64, 43-48.
4. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Самихов Ш.Р., Джуракулов Ш.Р., Зарифова М.С. Выщелачивание золота различными растворами, заменители цианида и их перспективы в будущем. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2021, 14, № 4, 433–447.
5. Sousa R., Futuro A., Fiúza A. Thiosulfate Leaching of the Auriferous Ore from Castromil Deposit: A Case Study. Int. J. Geol. Environ. Eng., 2016, 10, № 3, 343–348.
6. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А. Исследования процесса тиосульфатного выщелачивания золотых мышьяксодержащих руд месторождения Чоре, Доклад НАНТ, 2014, №2, 145-150.
7. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Ганиев И.Н., Самихов Ш.Р., Джуракулов Ш.Р., Зарифова М.С. Тиосульфатное выщелачивание золота. Политехнический вестник. Серия инженерные исследования, 2021, (55) № 3, 58–63.
8. Zhang Y., Cui M., Wang J., Liu X., Lyu X. A review of gold extraction using alternatives to cyanide: Focus on current status and future prospects of the novel eco-friendly synthetic gold lixivants. Miner. Eng., 2022, 176, 107336.
9. Dönmez B., Sevim F., Colak S. A study on recovery of gold from decopperized anode slime. Chem. Eng. Technol. Ind. Chem. Equipment-Process Eng. Wiley Online Library, 2001, 24(1), 91-95.
10. Jamett I., Carrasco P., Olmos M., Hernández P. Glycine/Glutamate: “Green” Alternatives to Recover Metals from Minerals/Residues - Review of Current Research. Minerals. MDPI, 2022, 13(1), 22.
11. Munive G.T., Encinas M.A., Salazar Campoy M.M., Alvarez V.E., Vazquez V.M., Choque D.C. Leaching Gold and silver with an alternative system: Glycine and thiosulfate from mineral tailings. JOM, 2020, 72, 918–924.
12. Косимпур Х.М., Юнусов М.М., Разыков З.А. Выделение серебра из тиоцианатных растворов путем нейтрализации и последующая переработка осадка. Вестник педагогического университета. Естественных наук, 2022, 4(16), 265–271.
13. Jeffrey M.I., Breuer P.L., Choo W.L. A kinetic study that compares the leaching of gold in the cyanide, thiosulfate, and chloride systems. Metall. Mater. Trans. B. Springer, 2001, 32, 979–986.
14. Kim I., Kim K., Song O. Effects of thiourea stripping of 14 karat white gold alloys with the addition of SDS surfactant. Korean J. Met. Mater. The Korean Institute of Metals and Materials, 2020, 58(7), 447-452.
15. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А. Изучение разработки технологии тиосульфатного выщелачивания золота, серебра и меди из руды и концентратов месторождения Тарор. Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2016, 1(2), 153–158.
16. Hernandez J., Patino F., Rivera I., Reyes I.A., Flores M.U., Juarez J.C., Reyes M. Leaching kinetics in cyanide media of Ag contained in the industrial mining-metallurgical wastes in the state of Hidalgo, Mexico. Int. J. Min. Sci. Technol., 2014, 24(5), 689–694.
17. Петров Г.В., Кобылянский А.А., Григорьева В.А., Гордеев Д.В. Особенности поведения благородных металлов при сульфидно-щелочном выщелачивании мышьяково-сурьмянистых концентратов. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2022, 15(5), 541-552.
18. Petrov G.V., Kobylyanskiy A.A., Grigorieva V.A., Gordeev D.V. Features of the behavior of precious metals in the sulfide-alkaline leaching of arsenic-antimony concentrates. J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol., 2022, 15(5), 541–552.
19. Salinas-Rodríguez E., Hernández-Ávila J., Cerecedo-Sáenz E., Arenas-Flores A., Reyes-Valderrama M.I., Roldán-Contreras E., Rodríguez Lugo V. Leaching of silver contained in mining tailings: A comparative study of several leaching reagents. Silver Recovery Assorted Spent Sources Toxicol. Silver Ions. World Scientific, 2018, 160, 6–11.

20. Курбонов Ш.А., Обидов Б.А., Холов Х.И., Самихов Ш.Р. Исследование кинетики растворения фосфатного концентрата Риватского месторождения. Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия, 2022, 15(4), 548–559.
21. Ghobadi B., Noaparast M., Shafaei S.Z., Unesi M. Optimization of cyanidation parameters to increase the capacity of Aghdarre gold mill. J. Min. Environ. Shahrood University of Technology, 2014, 5(2), 121–128.
22. Lin M., Huang Z., Yuan Z., Fu Y., Hu J., Xu Z., Ruan J. Mechanism of gold cyanidation in bioleaching of precious metals from waste printed circuit boards. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2020, 8(51), 18975–18981.
23. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Зарифова М.С., Самихов Ш.Р., Ганиев И.Н. Кинетика процесса тиосульфатно-аммиачного выщелачивания золота из отобранной руды месторождения "Истиклол" (Тутли). Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: естественные и технические науки, 2021, 1, 95-98.
24. Холов Х.И., Квятковская Л.В., Самихов Ш.Р. Кинетика процесса ацетил-тиомочевинного выщелачивания золота из хвостов флотации нижнего горизонта Джижикрутского месторождения. Евразийский союз ученых, 2019, 4(61), 59-65.
25. Birich A., Stopic S., Friedrich B. Kinetic investigation and dissolution behavior of cyanide alternative gold leaching reagents. Scientific reports, 2019, 9(1), 7191.
26. Пелих В.В., Салов В.М. К вопросу об управлении процессом цианирования золота. iPolytech Journal, 2012, 11(70) 163–170.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-AUTHORS' BACKGROUND

| TJ | RU | EN |
|---|--|---|
| Холов Холмахмад Исроилович | Холов Холмахмад Исроилович | Kholov Kholmahmad Isroilovich |
| н.и.т. | к.т.н. | C. Sc. in Technical |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ | Институт химии имени В.И. Никитин НАНТ | V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST |
| Kholmahmad90@mail.ru | | |
| https://orcid.org/0000-0002-8202-5919 | | |
| TJ | RU | EN |
| Шарифбоев Насим Тухтабоевич | Шарифбоев Насим Тухтабоевич | Sharifboev Nasim Tukhtaboevich |
| Унвонҷӯ | Соискатель | Competitor |
| Донишкадаи кӯхӣ -металлургии Тоҷикистон | Горно-металлургического института Таджикистана | Mining - Metallurgical Institute of Tajikistan |
| nasim_3535@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Самихов Шонаврӯз Рахимович | Самихов Шонаврӯз Рахимович | Samikhov Shonavruz Rahimovich |
| д.и.т. | д.т.н. | Dr. Sc. in Technical |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ | Институт химии имени В.И. Никитин НАНТ | V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST |
| samikhov72@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Љурақулов Шерзод Рабимқулович | Джурақулов Шерзод Рабимқулович | Juraqulov Sherzod Rabimqulovich |
| Унвонҷӯ | Соискатель | Competitor |
| Институти геология, сохтмони ба заминчунби тобовар ва сейсмология АМИТ | Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана | Institute of Geology, Earthquake Resistant Construction and Seismology NAST |
| nasim_3535@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Эшонова Фарида | Эшонова Фарида | Eshonova Farida |
| Магистр | Магистр | Master's degree |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ | Институт химии имени В.И. Никитин НАНТ | V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST |

УДК 691.32.001

ПРОЧНОСТЬ И СТОЙКОСТЬ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНО-ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Р.Х. Сайрахмонов, А.С. Рахматзода, Д.Д. Рахматулаев, С.С. Умаров

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В данной статье рассмотрены теоретические и практические аспекты создания устойчивых бетонов для дорожных и аэродромных покрытий. Проведено исследование по влиянию добавки из минерального материала волластонита и отхода промышленного производства золы угля, а также добавки на основе органического сырья на физико-механические свойства и устойчивость бетона при хранении их в агрессивных средах. Показано, что дорожные бетоны с минеральными разбавителями к цементу в количестве до 15% от его массы и химические добавки в количестве до 0,25% от массы цемента имеют повышенные физико-механические показатели и устойчивость в агрессивных средах, а именно: минерализованную и дистиллированную воды. Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что химические добавки оказывают существенное влияние на изменение подвижности бетонной смеси и его предел прочности. Проведена оценка эффективности комбинирования химических добавок с минеральными добавками в бетоне и определены оптимальные составы. Установлено, что наиболее эффективной добавкой к бетону является зола угля и порошка минерала волластонита.

Ключевые слова: дорожный цемент, дорожный бетон, дорожные покрытия, агрессивные среды, стойкость бетона, прочность бетона, цементный камень.

МУСТАҲКАМӢ ВА УСТУВОРИИ БЕТОНҲОИ РОҲ ДАР АСОСИ ИЛОВАГИҲОИ МИНЕРАЛӢ-ХИМИЯВӢ ДАР МУҲИТИ АГРЕССИВӢ

Р.Ҳ. Сайрахмонов, А.С. Рахматзода, Д.Д. Рахматулаев, С.С. Умаров

Дар мақолаи мазкур ҷабҳаҳои назариявӣ ва амалии омодакунии бетонҳои устувор барои рӯйпуши роҳҳо ва аэродромҳо дида шудааст. Ҳамчунин таҳқиқоти таъсири иловагӣ аз масолеҳи минералии волластонитӣ ва партов аз хокистари ангишт, иловагӣ аз ашёи хоми органикӣ ба хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва нигоҳдории бетон дар муҳити агрессивӣ оварда шудааст. Инчунин нишон дода шудааст, ки бетонҳои роҳ бо иловагиҳои минералӣ дар семент ба миқдори то 15% аз вазни он ва иловагиҳои химиявӣ ба миқдори то 0,25% аз вазни семент нишондиҳандаҳои баланди физикӣ-механикӣ ва устуворӣ дар муҳити агрессивӣ, алаҳусус: обҳои минералӣ ва соф. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқотҳои гузаронидашуда нишон медиҳад, ки иловагиҳои химиявӣ асосан ба хосиятҳои истифодабарии бетон таъсири хуб мерасонанд ва инчунин нишон дода шудааст, ки иловагиҳои хокистари ангишт ва хокаи минералии волластонит ҳамчун устуворкунанда барои бетони роҳ муфид мебошад.

Вожаҳои калидӣ: сементи роҳ, бетони роҳ, рӯйпуши роҳ, муҳити агрессивӣ, устувории бетон, мустаҳкамии бетон, санги сементӣ.

STRENGTH AND DURABILITY OF ROAD CONCRETE BASED ON MINERAL CHEMICAL ADDITIVES IN SOFT WATER

R.H.Sairakhmonov, A.S.Rakhmatzoda, D.D.Rakhmatulaev, S.S.Umarov

This article discusses the theoretical and practical aspects of creating sustainable concrete for road and airfield pavements. A study was conducted on the influence of additives from the mineral material wollastonite and industrial waste coal ash, as well as additives based on organic raw materials on the physical and mechanical properties and stability of concrete when stored in aggressive environments. It has been shown that road concrete with mineral diluents for cement in an amount of up to 15% of its mass and chemical additives in an amount of up to 0.25% of the mass of cement have increased physical and mechanical properties and resistance in aggressive environments, namely: mineralized and distilled water. Analysis of the results of the experiments showed that chemical additives have a significant impact on the change in the mobility of the concrete mixture and its tensile strength. The effectiveness of combining chemical additives with mineral additives in concrete was assessed and the optimal compositions were determined. It has been established that the most effective additive to concrete is coal ash and wolstonite mineral powder.

Key words: road cement, road concrete, road surfaces, aggressive environments, durability of concrete, strength of concrete, cement stone.

Введение

Обычно в практике сооружения, возводимые из бетона или железобетона, при эксплуатации подвергаются действиям различных нагрузок и природно-климатических факторов. Можно отметить, что одним из таких факторов, который невозможно определить вооружённым глазом, является агрессивная среда. Повышение надёжности сооружений, возводимых из цементобетона, против таких факторов, является важной проблемой строительства. Исходя из этого, для обеспечения надёжности такие сооружения, имея в виду цементобетонные, в настоящее время проводят различные мероприятия. При эксплуатации самым уязвимым элементом в составе дорожных бетонов является цемент, поэтому в практике применение цемента в чистом виде, с точки зрения долговечности, не очень приемлемо. Известно, что в производственных условиях при производстве цемента, обычно производители не на должном уровне, обращают внимание на его место и условия использования. В производственных условиях ими предлагаются вид и марка цемента. Кроме того, известно, что в промышленности вяжущие материалы, в частности цементные вяжущие, очень разнообразны по видам: - сульфатостойкие, быстротвердеющие, дорожные, гидрофобные, глинозёмистые и др. Однако при

эксплуатации в сооружениях в результате учета воздействия на них различных природных факторов к цементным материалам предъявляется ряд требований: -сопротивляемость различным по виду и характеру нагрузкам; - агрессивное воздействие внешней среды и др.

В зависимости от условий производства и состава исходных материалов, участвующих в производстве цемента, изготавливают разновидности цемента по техническим условиям, содержащимся в соответствующих нормативных требованиях, а их качество проверяют специальными руководствами. Образующиеся материалы будут обладать разной прочностью и стойкостью против воздействия внешних нагрузок и агрессивных сред, при этом область применения цемента значительно расширяется при учете фактических условий, в которых материал будет использован в условиях его работы в конструкциях при эксплуатации.

Дорожные покрытия при эксплуатации подвергаются нагрузкам от транспорта и природных факторов. Для этого в производственных условиях к дорожному цементу добавляют различные пластифицирующие и воздухововлекающие добавки. Применение обычного цемента в бетонах при устройстве верхних слоев дорожных покрытий приводит к разрушению. Эффективным способом устранения вышеизложенных недостатков является применение добавок различного характера в цементе как пластификатора, наполнителя, разбавителя, уплотнителя цемента или воздуха вовлекается в состав бетона.

Теоретическая часть

Применение добавок модификаторов для цемента или для улучшения свойства бетона является самым эффективным способом повышения физико-механических свойств цемента и уменьшение его расхода при этом повышение прочности и стойкости бетона против действия внешних факторов при эксплуатации. Уменьшение расхода цемента в бетоне также приводит к возрастанию его стойкости при эксплуатации, потому что цемент является самым уязвимым компонентом в составе бетона [2,9]. Вопрос в том, что как достичь в производственных условиях вышеизложенной цели, по мнению авторов [3,6,12,13], это достигается путём замены некоторых частей цемента минеральными добавками. Известно, при замене части цемента на минеральные добавки получаем смешанные вяжущие на основе «цемент+добавка». Однако в дорожном строительстве при строительстве дорожных покрытий к цементу и его составу предлагается особое внимание [3,6,13]. Можно отметить, что минеральные добавки по составу могут быть сродни с элементами цемента, но по количеству содержание элементов отличается. В этом случае уменьшаем расход цемента в единице объема бетона, при этом минеральные добавки, вводимые в состав цемента, должны иметь составы, сродные к цементу. Для этого нами были выбраны минеральные добавки из возможности их сродные составы из цемента и их доступность. Действительно, такие минеральные материалы из отходов производства имеются в нашей республике большими запасами, кроме того, имеются источники горных пород, сродных по составу с цементом. С этой целью для сравнения составы некоторых местных минеральных добавок приведены в табл.1. и приведен их химический состав.

Таблица 1 – Сравнение химического состава минеральных добавок и обычного цемента для дорожного бетона

| Состав | Количество элементов от масс, % | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|-----------|-------------|--------|----------------------|
| | Карбонат кальция | Цементная пыль | Порошок кирпича | Зола угля | Отход Такоб | Цемент | Порошок волластонита |
| CaO+MgO | 58.08 | 53.38 | 5.2 | 2.44 | 6.73 | 65,6 | 47,26 |
| SiO ₂ | - | 14.81 | 43.55 | 56.06 | 74.54 | 23,6 | 48,14 |
| Al ₂ O ₃ | - | 3,65 | 31.9 | 20.05 | 7.33 | 7,4 | 0,70 |
| Fe ₃ O ₄ | - | 3.08 | 5.3 | 0,53 | 0.1 | 2,6 | 0,1 |
| K ₂ O + Na ₂ O | - | - | 4.05 | 5.50 | 3.55 | 0,3 | 0,03 |
| S общий | - | - | 5.3 | 0,53 | 0.1 | | |
| CO ₂ | 41,92 | - | - | - | 1.62 | | |
| Другие | - | 25.08 | 4.7 | 14.89 | 6.03 | 0,5 | 3,89 |
| Всего | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Из данных табл.1. следует, что в составе карбоната кальция и цементной пыли содержание оксида CaO+MgO (в %) больше, чем у других материалов. Содержание оксида CaO+MgO в составе карбоната кальция (КК) составляет 58,08 % в цементной пыли (ЦП), она составляет 53,38. Видно, что содержание оксида CaO+MgO в названных материалах приближается к количеству содержания оксида кальция в составе обычного цемента. Из данных табл.1.1 следует, что содержание основных оксидов в составе других материалов, порошка керамического кирпича (ПКК) 5,2, золы угля (ЗУ) 2,44, отхода Такоба (ОТ) и порошка волластонита составляет 2,1%. Содержание количества оксида SiO₂ в (ЦП) составляет 14,81 в ПКК- 43,55; в ЗУ -56,06; ОТ- 74,54; ПВ - 75. Кроме того, содержание оксида Al₂O₃ в составе керамического кирпича составляет -31,9; золы угля составляет 20,05, отхода горнорудного комбината Такоб по переработке флюорита 7,33% и порошка

волластонита составляет 2,1%. Данные, приведенные в табл.1.1 показывают, что обязательными оксидами в составе цемента является оксид кальция. Оксид силиция, оксид алюминия и оксид железа. Известно по данным табл. 1.1, первым по содержанию и значению является оксид кальция (CaO). Анализ источников [1,9,10,11] показывает, что содержание в большом количестве CaO в цементе придает цементу высокую прочность, и такие цементы являются быстротвердеющими. Кроме того, чтобы получать более высококачественные цементы с большим содержанием CaO, надо создать условия обжига сырья, чтобы обеспечило полное связывание CaO с кислотными оксидами. По мнению авторов [8-9], в большинстве случаев CaO в цементном клинкере остается в свободном состоянии, при твердении цементного камня он вызывает неравномерность изменения объема, вызывая в бетоне появление опасных напряжений. Кроме того, в условиях эксплуатации бетона в различных сооружениях подвергается действиям различных факторов, при этом речь идет о коррозии бетона. В технических литературных источниках коррозию бетона, возникающую под действием водной среды, классифицировали следующим образом:

- под действием воды растворяются компоненты цементного камня;
- вода, содержащая агрессивные вещества, в процессе эксплуатации взаимодействует с компонентами цементного камня, в результате образуют в его составе легкорастворимые вещества;
- при эксплуатации в порах и капиллярах цементного камня за счет объемной реакции с его компонентами кристаллизуются определенные вещества, вызывающие внутренние напряжения и разрушения.

На основе вышеизложенного коррозию бетона можно разделить на: выщелачивающую, кислотную, углекислотную, сульфатную, магниезольную. Из литературных источников известно, что коррозия выщелачивания происходит под действием мягких вод. Известны многочисленные случаи долговечной устойчивой работы бетона при его контакте с водой. Но также много случаев постепенного разрушения бетона в сооружениях, что связано с химическим составом воды, условиями обмывания водой и качеством материала. В общем виде стойкость бетона надо рассматривать во взаимосвязи двух факторов, химического состава воды-среды и условий ее воздействия на материал и качество бетона, который находится в контакте с водой.

Вода в природе совершает непрерывный цикл — переход из жидкого состояния в парообразное и снова в жидкое состояние. Атмосферные осадки практически не содержат в себе химических соединений (в 10 кг дождевой воды только около 0,34 воды-среды приходится назначать конструктивные меры защиты бетона). Поэтому при изыскании места строительства автомобильных дорог особое внимание надо обращать на исследование грунтовой воды солончаковых почв, протекающей мимо промышленных предприятий и населенных пунктов.

Длительная эксплуатация бетонных покрытий дорог в различных условиях, многолетние исследования причин их разрушения позволили заметить, что разрушение коррозии обусловливается несоответствием состава и качества бетона условиям внешней среды, а вид разрушения зависит от агрессивности среды [8-9]. Дорожные покрытия при эксплуатации, кроме внешних транспортных нагрузок, подвергаются физическим и химическим воздействиям внешней среды. Коррозия в бетоне цементного камня под действием агрессивной воды-среды, несмотря на свое многообразие, имеет свои особенности.

Следовательно, если при изготовлении в бетоне будут образованы капилляры таких диаметров, при которых вода не сможет замерзнуть и увеличиться в объеме приблизительно на 9%, разрушение бетона не произойдет. Его не будет и тогда, когда объем пор сможет и разместится объем твердой фазы — лед при его пластичном движении [1-9].

Одним из важнейших свойств цементных вяжущих является контракция—уменьшение суммарного объема твердой и жидкой фаз и возникающая при этом конструкция, например, дорожной или аэродромной бетонной плиты, имеет климат [1-6]. Кроме химического и физического агрессивного воздействия внешней среды, в ряде районов нашей республики существуют весьма значительные и частые смены температур наружного воздуха в течение одних суток, достигающие до 50°C, что вызывает в бетоне значительные напряжения, приводящие к разрыву — образуются глубокие трещины [9,12].

Кроме перечисленных случаев агрессивного воздействия внешней среды на бетон и сооружений на его основе, может иметь место их разнообразное сочетание, усиливающее разрушение. Химическая агрессия воды-среды может появиться и в результате наличия в воздухе газов, которые совместно с парообразной влагой при определенных условиях могут конденсироваться на поверхности бетона, постепенно приводя его к разрушению, в соответствии с ходом процессов коррозии [7,8].

Из вышеизложенного можно сделать выводы, что почти во всех процессах коррозии участвует излишнее CaO. Известно, что [3,5,7,8] Ca(OH)₂ является одним из продуктов гидратации обычного цемента, по мнению авторов [10-11], растворимость CaO достигается в цементном камне при эксплуатации в составе бетона достигает до 1,3г/л. По мнению названных авторов, содержание Ca(OH)₂ в цементном камне (в пересчете CaO) составляет от 10 до 18% и их количество зависит от длительности твердения цементного камня. Уменьшение содержания Ca(OH)₂ в цементном камне или в бетоне зависит от степени концентрации CaO, при концентрации меньше 1,1г/л начинается разложение высокоосновных гидросиликатов кальция. По мнению авторов [9-10], наиболее устойчивым из гидратных новообразований является CSH (V), гидролизующийся

лишь при содержании СаО в растворе ниже 0,06-0,08г/л. По данным В.М. Москвина, если выщелачивание Са(ОН)₂ в конструкции составляет 15-30% от общей массы его содержания, прочность бетона уменьшается в порядке до 50%. Коррозия выщелачивания обычно происходит в дорожных конструкциях на основе бетона, она в практических условиях особенно происходит интенсивно, когда вода в бетоне фильтруется под определенным давлением напора.

В мягких водах по составу, средных дистиллированным, коррозия в бетонных конструкциях усиливается. Известно, что все дорожные покрытия эксплуатируются под действием таких вод. В практических условиях для повышения стойкости бетонов против выщелачивания в цемент вводят разные минеральные добавки, которые, реагируя с Са(ОН)₂, образуют малорастворимое гидратное соединение CSH (В). В этом контексте можно отметить, что от количества оксидов клинкера цемента также зависит его стойкость против коррозии. При сравнении химического состава обычного цемента с минеральными добавками: -содержание SiO₂ в обычном цементе составляет 24%. По данным авторов [1,2,9], оксид силиция является одной из основных составных частей клинкера. Он связывает оксид кальция с силикатами и является активатором гидравлического твердения цементного камня. Известно, что увеличение силиката кальция в цементном клинкере ведет к замедлению сроков схватывания и твердения цементного камня. По данным, упоминающим авторами, цементы с повышенным содержанием оксида силиция обладают высокой прочностью в поздние сроки твердения и высокой устойчивостью против агрессивных сред. Из данных табл.1.1 следует, что волластонит и зола угля в составе содержат оксид кальция 48 и 56%. Кроме того, в золе угля содержание оксида алюминия составляет 20%, где количество оксида кальция составляет всего 2,44%. Большинство исследователей для повышения жёсткости бетонной смеси предлагают использовать золы уноса. Потому что [1-2], большинство зол уноса ТЭЦ, котельных обладают некоторой активностью, которая положительно действует на прочность бетона и снижает расход цемента с экологической целью данной добавки, это утилизация отходов промышленности. Другие авторы в своих исследованиях предлагают применение порошка волластонита как армирующей добавки к цементу. По их мнению, при помоле волластонита образуются шероховатые частицы, и они играют армирующую роль в структуре цементного камня и на своей шероховатой поверхности, прочно закрепляют гидратированные минералы цемента. Кроме того, армирующий эффект частиц волластонита подтверждает повышение прочности цемента при изгибе.

Из вышеизложенного следует, что большие запасы сырьевых ресурсов относительно несложной технологии получения и широкого диапазона строительно-технических свойств минеральных вяжущих обеспечивают им неограниченный масштаб применения. Область применения вяжущих значительно расширяется при учете фактических условий, в которых материал будет использован в условиях его работы в конструкциях при эксплуатации.

На этой основе в разные периоды развития промышленности исследователи изучали способы повышения прочности и стойкости вяжущих веществ в зависимости от условий их эксплуатации. По мнению некоторых авторов [1,14], химические добавки являются основными источниками повышения эксплуатационных качеств цемента. Кроме того, для дорожного бетона применение минеральных добавок не очень приемлемо [4,3,5]. С точки зрения результатов исследования других авторов [4,3,5], совместное применение минеральных с химическими добавками ведет к существенному повышению прочности и долговечности бетона и при этом значительному снижению расхода цемента. В нашей республике известны местные добавки как декстрин [9] и модифицированный лигносульфонат технический (МЛСТ) [9,14], водная вытяжка при варке листьев хлопковых растений (ВЭХ), водный экстракт плодов деревьев Гледичия (ВЭПГ). К минеральным добавкам природного происхождения можно отнести порошок природного камня волластонита. Применение порошка волластонита как микроармирующей добавки против коррозии цементного бетона исследовано в работах отечественных ученых Камалова Г.К., Шарифова А.Ш., Сайрахмонова Р.Х. [1,2,9,10,14], они в своих исследованиях доказали, что применение волластонита до 20% в составе бетона как заменителя часть цемента одновременно повышает трещиностойкость бетона и его устойчивость против коррозии. По данным авторов [1,2,9,10,14], горные минералы и некоторые побочные продукты промышленного производства при соответствующей переработке с цементом превращаются в вяжущие строительные материалы. От качества сырья зависит технологическая схема его переработки, и в конечном счете качество вяжущего. Благодаря обширным исследованиям [1,2,9,10,14] выяснилось, что некоторые минеральные и органические материалы улучшают строительно-технические свойства цемента. Их можно добавлять на разных этапах технологического процесса — на различных его переделах их подготовки. Способы получения смешанных вяжущих приведены в ряде работ отечественных авторов [1,2,9,10,11]. Отсутствие научно обоснованных данных и результатов исследований характеристики цементных вяжущих с названными добавками не способствует их внедрению для получения дорожного бетона. С этой целью нами был проведен ряд исследований по определению физико-механических характеристик бетона с добавками и без них на образцах 10x10x10 см. Кроме того, была определена стойкость выбранных образцов в разных агрессивных средах.

Экспериментальная часть

В качестве вяжущего материала нами использован обычный портландцемент М400 местного производства. Удельная поверхность цемента составила 3200см², нормальная густота теста без добавки составила 28%, с химическими добавками 26%, с минеральными добавками 27%. Стойкость образцов исследуемых бетонов изучали при нахождении образцов бетона, после их предварительного твердения в

нормальных условиях 28 сут. в соответствующих агрессивных растворах. Составы агрессивных растворов были приняты по СНиП-11-28-73*.

Влияние добавки на прочность и стойкость бетона при их нахождении в мягких водах приведено в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Показатели физико-механических свойств бетона (состав вяжущего цемент, добавок, % от массы цемента)

| № п/п | Количество компонентов, % | | | | | Показатели | | | | |
|-------|---------------------------|------|-------|----|----|----------------|-----|-------|-------|---------|
| | Ц | МЛСТ | ВЭПГ | ПВ | ЗУ | Прочность, МПа | | ОКс м | КТ | Впог, % |
| | | | | | | Рсж | Риз | | | |
| 1 | 100 | - | - | - | | 41,3 | 6,4 | 2 | 0,154 | 6,3 |
| 2 | 100 | 0,25 | | | | 43,6 | 7,4 | 5 | 0,169 | 5,9 |
| 3 | 100 | | 0,025 | | | 45,8 | 7,8 | 5 | 0,170 | 5,8 |
| 4 | 95 | | | 5 | | 42,2 | 7,8 | 2 | 0,185 | 6,1 |
| 5 | 90 | | | | 10 | 43,4 | 7,6 | 3 | 0,175 | 5,9 |
| 6 | 85 | | | 5 | 10 | 43,0 | 8,4 | 3 | 0,195 | 5,9 |
| 7 | 85 | | 0,025 | 5 | 10 | 46,3 | 8,9 | 5 | 0,192 | 5,9 |
| 8 | 85 | 0,25 | | 5 | 10 | 45,2 | 8,6 | 5 | 0,190 | 6,1 |

Примечание: Кт- коэффициент трещиностойкости; Впог- водопоглощения; Вп-порошок волластонита, ЗУ-золы уноса

Результаты исследований (см. таблица 2) показывают, что при добавлении в цемент химических добавок МЛСТ и ВЭПГ прочность бетона при сжатии увеличивается с 41,3МПа до 43,6 МПа и соответственно 45,8 МПа. При добавлении в цемент 5-15% минеральных добавок прочность исследуемых образцов составляет - ВП-42,2МПа; ЗУ-43,4МПа и (ВП+ЗУ)-44,0 МПа.

При введении в вяжущие добавок в комплексе, имея в виду минеральные с химическими добавками, существенно изменяются физико-механические свойства образцов бетона. Принимаемые добавки в отдельности или в комплексе улучшают свойства бетона, повышается трещиностойкость, уменьшается водопоглощение (см.табл.2).

Стойкость исследуемых образцов бетона с добавками и без них изучали в дистиллированной и минерализованной воде. Минерализованная вода содержала: Mg²⁺; Na⁺; SO₄;Cl⁻;CO₃. По содержанию ионов агрессивных элементов, согласно СНиП-11-28-73*, минерализованная вода является сильноагрессивной. В дистиллированной воде, по мнению авторов [2,9], в цементных бетонах происходит коррозия выщелачивания. Для изучения стойкости дорожного бетона с добавками и без них ранее изготовленные образцы бетона, приведенные в табл. 2, хранили в агрессивных средах. Через 30, 180, и 360 сут. испытывали их прочность, коэффициент стойкости и степень выщелачивания извести. В табл.3 приведена зависимость прочности и коэффициент стойкости образцов при нахождении их в растворах агрессивных сред.

Таблица 3 – Зависимость прочности и коэффициента стойкости образцов бетона от сроков хранения в дистиллированной воде, сут.

| №п/п | 30 | | | 180 | | | 360 | | |
|------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | R _{нy} | R _{ас} | K _с | R _{нy} | R _{ас} | K _с | R _{нy} | R _{ас} | K _с |
| 1 | 41,3 | 41,1 | 0,98 | 42,8 | 40,4 | 0,94 | 43,5 | 38,8 | 0,89 |
| 2 | 43,6 | 43,9 | 1,01 | 44,7 | 44,3 | 0,99 | 45,2 | 42,9 | 0,95 |
| 3 | 45,8 | 46,1 | 1,01 | 47,6 | 46,7 | 0,98 | 47,9 | 45,6 | 0,95 |
| 4 | 42,2 | 42,9 | 1,01 | 44,9 | 45,6 | 1,02 | 46,1 | 45,9 | 0,99 |
| 5 | 43,4 | 43,8 | 1,01 | 44,1 | 43,9 | 0,96 | 45,2 | 43,3 | 0,96 |
| 6 | 43,0 | 43,6 | 1,02 | 45,8 | 45,9 | 1,00 | 46,3 | 46,8 | 1,01 |
| 7 | 46,3 | 46,9 | 1,02 | 47,8 | 48,5 | 1,01 | 47,9 | 47,2 | 0,98 |
| 8 | 45,2 | 45,8 | 1,01 | 46,7 | 47,4 | 1,01 | 47,2 | 47,4 | 1,00 |

Примечание к табл.3 и 4. R_{нy}: Прочность образцов исследуемых бетонов, твердеющих в нормальных условиях. R_{ас}: Прочность образцов исследуемых бетонов, твердеющих в агрессивных средах.

Данные табл.3 показывают, что прочность образцов, имеющих в составе добавки в дистиллированной воде, во всех стадиях сроков хранения превышают прочность образцов без добавки. Прочность у образцов, содержащих 5% ВП и 10%ЗУ при 360 сут хранения, составляет 43,3 МПа. При таком возрасте образцы без добавки имеют прочность 38,8 МПа. В этом возрасте у образцов, содержащих комбинирование добавки, минеральные и химические добавки, прочность составляет 47,4, это на 18% больше, чем прочность образцов без добавки. Коэффициент стойкости исследуемых образцов также имеет аналогичную зависимость от содержания добавки в бетоне, что и его прочность, с тем различием, что при возрастании срока нахождения образца в дистиллированной воде его значения сначала возрастают, затем снижаются. Так, через 30сут хранения в дистиллированной воде его значение у образцов без добавки составляет 0,98, у образцов с добавками 1,02. Через 180 сут, K_{ст} у образцов без добавки имеет значение 0,94 и с добавками имеет значение 1,04. После 360 сут. хранения его значения снижаются. Именно у образцов без добавок она составляет 0,89, у образцов с добавками 0,98.

Таблица 4 – Зависимость прочности и коэффициента стойкости образцов бетона от сроков хранения в минерализованной воде, сут.

| №п/п | 30 | | | 180 | | | 360 | | |
|------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | R _{нy} | R _{ас} | K _с | R _{нy} | R _{ас} | K _с | R _{нy} | R _{ас} | K _с |
| 1 | 41,3 | 40,1 | 0,98 | 42,8 | 38,4 | 0,89 | 43,5 | 36,8 | 0,85 |
| 2 | 43,6 | 43,1 | 0,98 | 44,7 | 42,3 | 0,96 | 45,2 | 40,9 | 0,90 |
| 3 | 45,8 | 45,1 | 0,99 | 47,6 | 45,7 | 0,98 | 47,9 | 44,6 | 0,95 |
| 4 | 42,2 | 42,3 | 1,01 | 44,9 | 43,6 | 0,97 | 46,1 | 43,9 | 0,96 |
| 5 | 43,4 | 43,9 | 1,02 | 44,1 | 42,9 | 0,97 | 45,2 | 42,3 | 0,96 |
| 6 | 43,0 | 43,2 | 1,00 | 45,8 | 44,9 | 0,99 | 46,3 | 44,8 | 0,96 |
| 7 | 46,3 | 46,6 | 1,01 | 47,8 | 46,5 | 0,98 | 47,9 | 45,2 | 0,94 |
| 8 | 45,2 | 45,9 | 1,02 | 46,7 | 46,4 | 0,99 | 47,2 | 44,4 | 0,94 |

Данные табл.4 показывают, что при увеличении срока твердения образцов бетона в минерализованной водой, постепенно у исследуемых образцов бетона снижается прочность, причем для образцов, содержащих добавки, снижение прочности не так существенно. Так, при замене части цемента расходуются добавки ВП+ЗУ 15% массы цемента, прочность образцов через 360 сут твердения в минерализованной воде 40 45 МПа, тогда к этому сроку прочность образцов без добавки в соответствующих средах 36,8 МПа.

Коэффициент образцов имеет аналогичную зависимость от содержания минерально-химических добавок в цементе, что и прочность образцов бетона с тем различием, что при возрастании срока нахождения образца в минерализованной воде его значения сначала возрастают, затем снижаются. Так, через 30 сут. хранения в минерализованной воде коэффициент стойкости образцов без добавки 0,98, через 180 сут. увеличивается до 0,88, затем к 360 сут. снижается до 0,85. В целом наблюдается закономерное снижение коэффициента стойкости с возрастом нахождения образцов в средах, хотя его значения за 360 сут. действия агрессивной среды практически не снижаются ниже 0,9 у образцов с добавками.

Изучена зависимость средней скорости выщелачивания извести из структуры цементного камня в бетоне от содержания, добавки за 360 сут нахождения образцов в дистиллированной воде. Наименьшее выщелачивание СаО происходит при содержании добавки в комплексе. Если за 360 сут. из структуры цементного камня без добавки выщелачивается 33 мг/см² СаО, то при содержании добавки ВП, ЗУ и МЛСТ в комплексе количество выщелачиваемой извести оставляет 20,8...23,9 мг/см².

Низкая скорость выщелачивания извести состава образцов с добавками показывает на более высокую плотность структуры цементного камня, что является малопроницаемой для фильтрации воды. Малая проницаемость этой структуры предохраняет цементный камень от разрушения под действием агрессивных ионов состава минерализованной воды, действие этих ионов на цементный камень ограничивается внешней поверхностью образцов, и поскольку эта поверхность под их влиянием не разрушается, то образцы цементного камня в целом сохраняют свою прочность и стойкость.

Выводы

Приведено широкое исследование дорожных бетонов с минеральными и химическими добавками. Показана эффективность применения добавки в комплексе для одновременного повышения физико-механических свойств и стойкости дорожных бетонов в условиях нахождения в водной среде, имеющих в составе агрессивные ионы.

Доказано, что образцы, имеющие в составе минеральные и химические добавки, при нахождении в дистиллированной и минерализованной воде сохраняют плотную структуру, разрушение их поверхностей в виде шелушений не наблюдается.

Высокая прочность образцов, содержащих добавки, и низкое количество извести, выщелачиваемой из их структуры, свидетельствуют об эффективности применения минерально-химических добавок для получения высокоплотных малопроницаемых дорожных бетонов, стойких при эксплуатации в мягких водах.

Рецензент: Бобиев Р.С. – к.т.н., доцент, Директор Государственного учреждения “Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание” при Министерстве транспорта Республики Таджикистан

Литература

1. Назиров Я.Г. Прочность и деформативность бетонов с добавкой щелочного экстракта стеблей хлопчатника /Шарифов А. Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. //Известия Академии наук Республики Таджикистан. №4(153),-2013.-С.106-112.
2. Назиров Я.Г. Повышение прочности и коррозионностойкости цементсодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника /Шарифов А. Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К.//Известия Академии наук Республики Таджикистан. 2016. №5-6.- С.248-252.
3. Толмачев С.Н., Беличенко Ё.А. Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожного бетона и фибробетонов. // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С.68-72.
4. Каримов Э.Х. Влияние водного экстракта гетерокомпонентов растительного сырья на физико-химические процессы в тампонажных и пластовых дисперсных системах. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Душанбе, 2019. 43. с.
5. Зайцев П.А. Бетонные смеси и бетоны с химическими добавками на основе модифицированных лигносульфонатов //П. А. Зайцев и др. //Цемент и его применение. - 2004. - № 1. - С. 70-72.

6. Зайцев П.А. О регулировании свойств бетонных смесей и бетонов химическими добавками на основе лигносульфонатов / П.А. Зайцев, Е.С. Шитиков; А.Феднер; С.Н. Ефимов; А.Б. Самохвалов //Строительные конструкции зданий и сооружений дорожного сервиса: сб. науч. тр. - М.: МАДИ (ГТУ). - 2004. - С. 68-77.

7.Тараканов О.В. Химические добавки в растворы и бетоны. Пенза: ПГУАС, 2016. – 156с

8. Шитиков Е.С. Особенности применение комплексов химических добавок для производства бетонных смесей различного назначения / Е.С. Шитиков, Л.И. Алебастрова, Е.В. Гордеева //Строительные материалы. - 2005. - № 6. - С. 38-40.

9.Сайрахмонов Р.Х. Цементно-воластонитовые вяжущие с химическими добавками и материалы на их основе. Душанбе. ТТУ, 2020, 148 с.

10.Сайрахмонов Р.Х. Особенности применения порошковых отходов промышленного производства в состав дорожных материалов. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования №3 (59) – 2022г. С.132-137

11.Сайрахмонов Р.Х. Теоретические аспекты и эффективность применения вторичного сырья и побочных продуктов промышленности органического происхождения в дорожном строительстве. /Сайрахмонов Р.Х. Асад Т.// Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования №3 (59) – 2022г. С.138-142

12. Некоторые вопросы качества бетонных смесей и бетонов в транспортном строительстве /Зайцев П.А. и др. //Прогрессивные конструктивно-технологические решения для тоннеле- и метростроения в России: сб. науч. тр. - М: ОАО ЦНИИС. - 2004. - Вып. 221. - С. 213.

13. Феднев Т.А. Требования к цементам для бетонов различного назначения / Л.А. Феднер, С.Н. Ефимов, П.А. Зайцев //Цемент и его применение. - 2005. - № 3. - С. 7-8.

14. Шарифов А., Дусмурадов Т., Голубев М.Н. и др. Опыт применения модифицированного лессом СДБ в бетоне //Бетон и железобетон. -1988- № 3,- С. 15-16.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Сайрахмонов Рахимчон Хусейнович | Сайрахмонов Рахимджон Хусейнович | Sayrakhmonov Rahimjon Huseynovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | candidate of technical sciences associate professor |
| 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 |
| E-mail: srivakn@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Раҳматзода Алишер Сунат | Раматзода Алишер Сунат | Rahmatzoda Alisher Sunat |
| унвонҷӯй | соискатель | title seeker |
| 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 |
| TJ | RU | EN |
| Раҳматуллоев Дани Дағиевич | Рахматуллоев Дани Дагиевич | Rahmatulloev Dani Dagievich |
| Муаллими калон | Ст.преподаватель | Senior Lecturer |
| 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 |
| TJ | RU | EN |
| Умаров Саидҷамол Саидмуҳторович | Умаров Саидҷамол Саидмуҳторович | Umarov Saidjamol Saidmuhtorovich |
| н.и.т., и.в. дотсент | к.т.н., и.о. доцента | candidate of technical sciences associate professor |
| 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 |

УДК 502.3

**АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ И ВОЗДЕЙСТВИЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО ПОТОКА НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ
ПРОСПЕКТА Н. КАРАБАЕВА Г. ДУШАНБЕ)**

Х.Б. Бобоев, С.Ж. Иброхимов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье представлены результаты натурных обследований интенсивности движения автомобильного потока в течение рабочего и выходного дня в зависимости от времени суток на примере проспекта Н.Карабаева г. Душанбе. Для данного проспекта во все сезоны года были характерны утренний и вечерний часы пик, соответственно с 7.00 до 9.00 часов и с 16.00 до 18.00 часов. Также в данной работе исследован уровень загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта по концентрации окиси углерода (СО). По проделанной работе даны рекомендации, которые помогут улучшить атмосферный воздух в г. Душанбе.

Ключевые слова: город Душанбе, автотранспорт, интенсивность движения, состав транспортного потока, загрязнения, вредные вещества, воздух.

**ТАҲЛИЛИ ҲАРАКАТИ ПУРШИДДАТ ВА ТАЪСИРИ ҶАРАЁНИ АВТОМОБИЛЬ БА МУҲИТИ
ҲАВО (ДАР МИСОЛАИ ХИЁБОНИ Н. ҚАРАБОЕВ, Ш. ДУШАНБЕ)**

Ҳ.Б. Бобоев, С.Ҷ. Иброҳимов

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти саҳроии шиддатнокии ҳаракати нақлиёт дар рӯзҳои кор ва рӯзҳои истироҳат вобаста ба вақти рӯз бо мисоли хиёбони Н.Қаробоеви шаҳри Душанбе оварда шудааст. Дар ин хиёбон дар ҳама фаслҳои сол соатҳои серташвиши субҳ ва шом мутаносибан аз соати 7.00 то 9.00 ва аз 16.00 то 18.00 ҳос буд. Инчунин дар ин кор дар асоси консентратсияи оксиди карбон (СО) сатҳи олулашавии ҳавои атмосфера аз газҳои ихроҷи мошинҳо омӯхта шудааст. Дар асоси кори анҷомдода тавсияҳо дода шуданд, ки ба беҳтар шудани ҳавои атмосферии Душанбе мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: шаҳри Душанбе, нақлиёти автомобилӣ, шиддатнокии ҳаракат, таркиби ҳаракати нақлиёт, ифлосшавӣ, моддаҳои зараровар, ҳаво.

**ANALYSIS OF INTENSIVE TRAFFIC AND THE IMPACT OF VEHICLE FLOW ON THE AIR
ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF N. KARABAYEV AVENUE IN DUSHANBE)**

H.B. Boboev, S.Zh. Ibrokhimov

The article presents the results of field surveys of the traffic intensity of the automobile flow during the working day and weekend depending on the time of day using the example of N.Karabayev Avenue in Dushanbe. For this avenue, morning and evening rush hours were characteristic in all seasons of the year, respectively, from 7.00 to 9.00 and from 16.00 to 18.00. Also in this work, the level of air pollution by exhaust gases of motor vehicles by the concentration of carbon monoxide (CO) was studied. Based on the work done, recommendations are given that will help improve the atmospheric air in Dushanbe.

Keywords: Dushanbe city, motor transport, traffic intensity, traffic flow composition, pollution, harmful substances, air.

Введение

Автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей природной среды (воздух, вода, почвы, природный ландшафт) на прилегающей территории. Наибольшая доля загрязнения природной среды от автомобильного потока приходится на отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания. В отработанных газах двигателя внутреннего сгорания содержится свыше 170 вредных веществ, из них около 160 – производные углеводороды. К выбрасываемым вредным веществам относятся угарный газ (концентрация в выхлопных газах 0,3–10 % об.), углеводороды – несгоревшее топливо (до 3 % об.) и оксиды азота (до 0,8 %), сажа. Наиболее опасными для человека являются оксиды углерода (СО), азота (особенно NO₂), углеводороды и различные соединения свинца [1,2]. В городе Душанбе имеется более 250 проспектов и улиц, общая протяженность дорог более 727 км, тротуаров 342,3 км. Это город с развитой инфраструктурой, ключевым элементом которой является транспортная система. Последние годы в г. Душанбе количество транспортных средств неуклонно возрастает, что обусловлено в первую очередь увеличением численности населения и объемом транспортных услуг. В городе функционирует более 35 автотранспортных предприятий. По данным 2022 года в городе функционирует более 5,9 тыс. единиц общественного транспорта, в частности 788 автокоммунальных служб, 1557 частных микроавтобусов и 3592 легковых такси. При этом по городским маршрутам каждый день курсирует около 406 автобусов, 78 троллейбусов, более 1 тыс. микроавтобусов и 2500 легковых такси. Ежедневно в городе Душанбе всеми видами городского транспорта пользуются в среднем свыше 600 тыс. пассажиров [3,4].

В г. Душанбе наиболее интенсивное движение автомобильного потока наблюдается на основных проспектах города, таких как проспект Н. Карабаева, проспект И. Сомони, проспект С. Шерози, проспект А. Сино. Указанные проспекты связывают общегородской центр с жилыми районами города и промышленной зоной, тем самым выполняя функции внутригородского распределения потоков массового пассажирского и грузового автотранспорта, обслуживания прилегающих районов и доставки жителей города на работу. Проспект Н. Карабаева является главной связующей транспортной артерией, соединяя центральную и южную часть города, где разрешено движение грузовых автомобилей.

Из-за особенностей развития городской инфраструктуры участки дорог расположены рядом с жилой застройкой. Интенсивный рост автомобилизации ведет к чрезмерной нагрузке улично-дорожной сети, заторам, что снижает эффективность использования транспорта (снижение скоростей транспортных средств и, соответственно, увеличение времени задержек; увеличение расхода топлива и износа).

Целью работы является:

определить количество единиц автомобильного транспорта разных типов, проезжающего по исследуемым проспектам; - определить уровень загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта по концентрации окиси углерода (СО).

Объект исследования: автотранспорт, проезжающий по исследуемым участкам (проспект Н. Карабаева).

Методы исследования. Исследования проводились в сентябре 2022 г. и в октябре 2023г. Для экологического мониторинга выбрали проспект Н. Карабаева (около продуктового рынка «Саховат») с учетом следующих факторов: температуры воздуха, направления ветра в зависимости от расположения точек контроля, ландшафтной архитектуры и техногенной нагрузки.

Наблюдение интенсивного движения автомобильного потока проводилось в дневное, вечернее и ночное время суток с 7.00 до 23.00 часов. Наблюдения проводились в разные рабочие дни недели. Был осуществлен подсчет количества единиц автотранспорта четырех видов (легковые, микроавтобусы, автобусы и грузовые автомобили), прошедшего по выбранным точкам контроля в течение часа. Проезжая часть состоит из шести полос движения по три полосы в каждом направлении. Карта-схема расположения исследуемого участка и точек контроля представлена на рисунке 1.

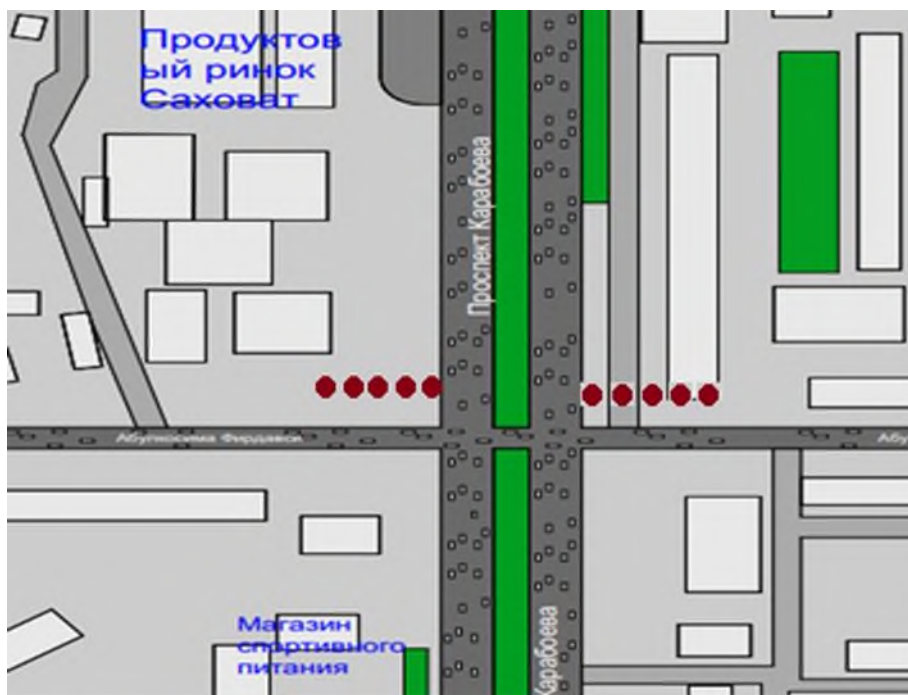


Рисунок 1 - Схема расположения исследуемого участка (проспект Н. Карабаева)

Измерения концентрации загрязняющего газа в атмосфере осуществлялись с помощью универсального переносного газоанализатора ГАНК-4. Особое внимание было уделено концентрации СО, как наиболее часто встречающемуся газу от выбросов автотранспорта.

Использование газоанализатора ГАНК-4 для исследования воздуха доказывает то, что данный прибор обеспечивает автоматический периодический или непрерывный контроль концентрации определенного вредного вещества в атмосферном воздухе с относительно высокой точностью без предварительной пробоподготовки.

Результаты исследования и обсуждения

В результате проведенных исследований получены данные об интенсивности движения автомобильного потока. Диаграмма изменения интенсивности движения автомобильного потока представлена на рис. 2 и 3.

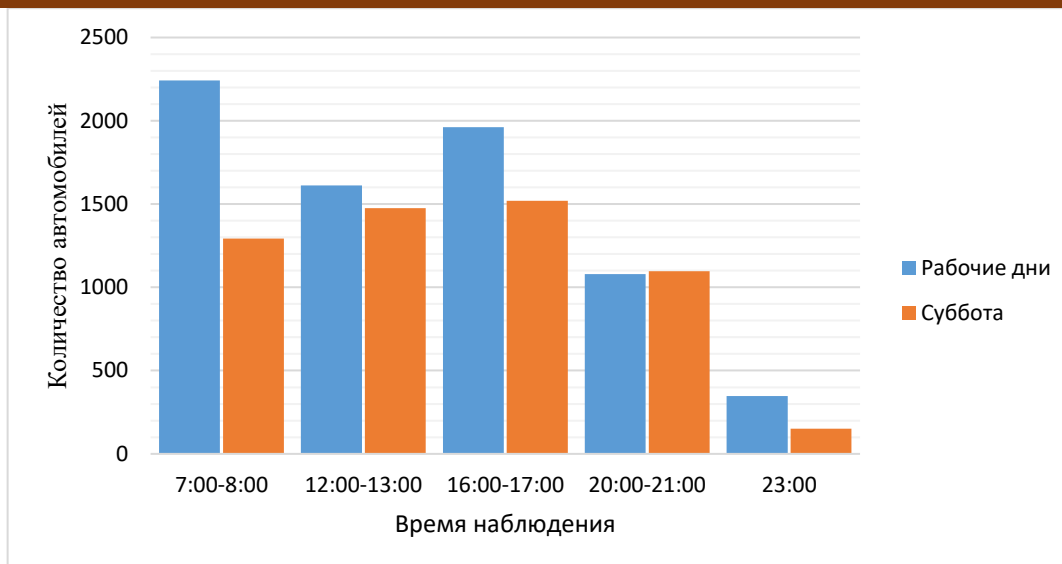


Рисунок 2 – Интенсивность движения автомобильного потока на проспекте Н.Карабаева по результатам наблюдений в сентябре 2022 г. (авт/час)

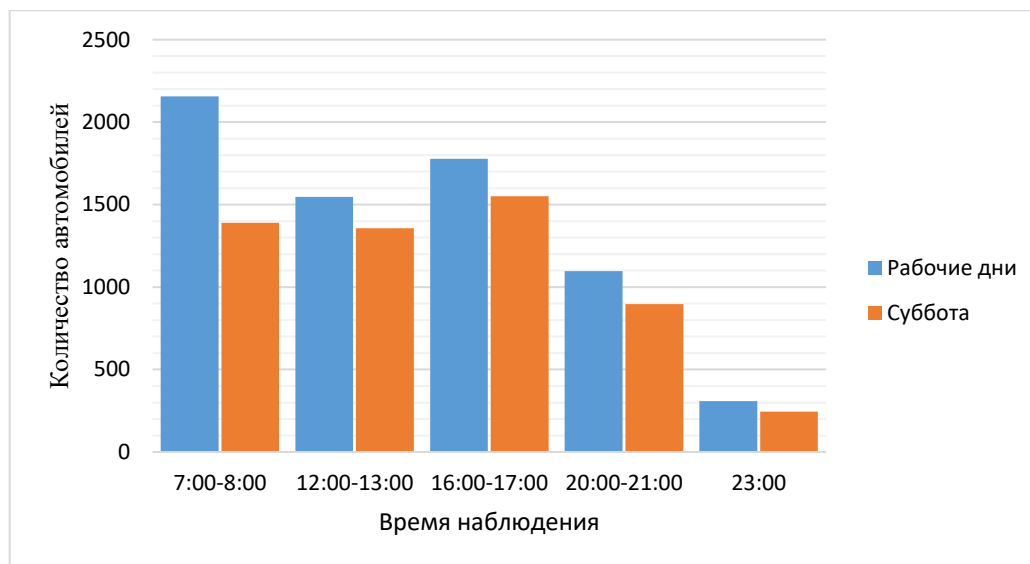


Рисунок 3 – Интенсивность движения автомобильного потока на проспекте Н. Карабаева по результатам наблюдений в октябре 2023 г. (авт/час)

Анализируя полученные результаты по максимальной часовой интенсивности и составу движения транспортных потоков за указанный период 2022-2023гг., необходимо отметить сохранение общих показателей транспортных потоков, зафиксированных в дневной и вечерний «час-пик». В рабочие дни с 7.00 до 17.00 часов наблюдается высокая и средняя степень загруженности дорог (в среднем до 1643 авт/час), пробки возникают в основном на перекрёстках базара «Саховат». При этом на данном участке отмечено малое количество автобусов и грузовых автомобилей в потоке, а основную долю составляют микроавтобусы и легковые автомобили. При максимальной загруженности на участках дорог (около перекрёстка) средняя скорость движения транспорта составляет 7-15 км/ч.

Можно отметить, что в структуре городских транспортных потоков в период исследования (наблюдения) преобладали легковые автомобили, однако их доля в указанные годы увеличилась от 76,81 до 77,58% соответственно. В то же время в изучаемой структуре наблюдалось увеличение удельного веса автобусов и грузовых автомобилей с дизельными двигателями, доля которых составила 1,48 и 1,41% соответственно. Измерения концентрации СО в атмосфере осуществлялись с помощью универсального переносного газоанализатора ГАНК-4 [6]. Замеры проводились в период с 12 до 16 часов. Отбор проб воздуха осуществляется на высоте 1,0 м от поверхности земли (в 10 точках отобрано 30 проб), продолжительность отбора проб воздуха для определения разовых концентраций примесей составляет 20 мин. согласно РД 52.04.186-89 [5]. Результаты измерений концентрации СО (мг/м³) и полученные данные с помощью прибора отображались графически (рис.4).

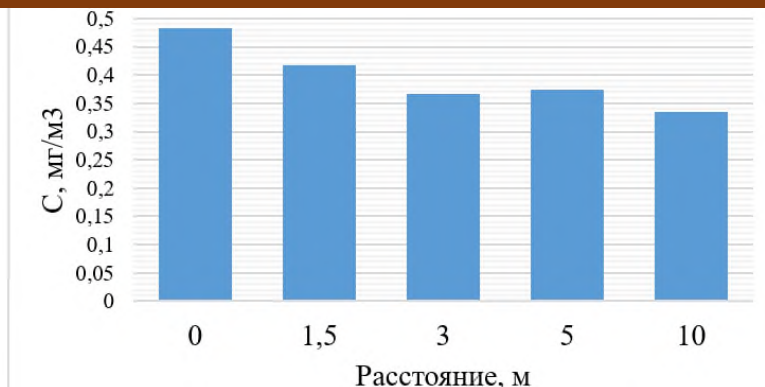


Рисунок 3 - Изменение концентрации CO (мг/м³) в зависимости от расстояния (м)

По графику видно (рис.4), что концентрация CO в воздухе не превышает ПДКс.с. даже до жилых домов, удалённых от проезжей части на расстоянии более 10м. (ПДКс(среднесуточная) CO равна 3 мг/м³, а ПДКмр (максимально разовая) — 5 мг/м³). Около проезжей части концентрация CO варьируется в диапазоне от 0,4 до 0,7 мг/м³. Это означает, что длительное нахождение человека вблизи проезжей части может негативно сказаться на здоровье человека. Поэтому необходимо минимизировать времяпровождение около мест интенсивного движения автотранспорта.

Выводы

Исходя из анализа полученных результатов на территории г. Душанбе целесообразно выполнение следующих мероприятий:

1. Постепенное обновление легкового автомобиля личного пользования и городского общественного транспорта города путем перехода на электрические автомобили – один из самых перспективных и активно развивающихся во всем мире.
2. Для защиты от пыли и вредных выбросов рекомендуются двухрядные плотные посадки деревьев (клен, осина, ольха очищают воздух от угарного газа) и одного ряда кустарников высотой до 1,0-1,5м.
3. Установлено, что скорость ветра над территорией исследуемого проспекта является основным критерием при оценке загрязнения атмосферного воздуха и может быть отрегулирована средствами планировки микрорайонов и озеленения.

Рецензент: Юнусов М.М. – к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ТПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Дьяков А.Б., Экологическая безопасность транспортных потоков /Дьяков А.Б., Игнатъев Ю.В., Коншин Е. П. // М.: Транспорт, 1989. 128 с.
2. Ганжа О.А. Оценка факторов антропогенного воздействия на экологическое состояние урбанизированных территорий /Ганжа О.А., Иванова Ю.П. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 27(46). С. 187—189.
3. Тохилов, Т.И. Развитие автотранспортной системы региона: опыт республики Таджикистан [Текст] / Тохилов, Т.И. // Вестник поволжского института управления. - 2013. - № 6 (39). - С. 38-42
4. Пиров Ж.Т., Анализ организации дорожного движения в городе Душанбе / Умирзоков А.М., Соибов А.А., Хусейнов Х.Б. Пиров Ж.Т. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 6. С. 142–148.
5. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Москва 1991. 556с.
6. Газоанализатор универсальный ГАНК – 4. Руководство по эксплуатации. Москва 2017. 35с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|------------------------------------|--|
| Бобоев Ҳакназар Бобоевич | Бобоев Хакназар Бобоевич | Boboev Khaknazar Boboevich |
| Н.и.т., и.в., дотсент | К.т.н., и.о. доцента | Candidate of Technical Sciences acting as Associate Professor |
| ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: hboboev1967@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Иброхимов Сухроб Чанайдуллоевич | Иброхимов Сухроб Жанайдуллоевич | Ibrohimov Suhrob Janaidulloevich |
| Н.и.т., дотсент | К.т.н., доцент | Candidate of Technical Sciences, Associate Professor |
| ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: suhrobiibrohim73@gmail.com | | |

УДК 656.13

АНАЛИЗ, РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья анализирует международные и российские стандарты требований к тормозным системам автотранспортных средств, выявляя проблемы устаревших норм и несоответствие современных технологий. Особое внимание уделено необходимости обновления российских ГОСТов с учетом новых систем торможения и условий эксплуатации, таких как горные районы и сложные погодные условия, для повышения безопасности и эффективности работы тормозных систем.

Ключевые слова: автотранспортные средства (АТС), тормозная система, безопасность движения, стандарт, тормозной путь, замедление, ГОСТ Р 51709-2001.

ТАҲЛИЛ, ТАҲҶИЯ МЕЪЁРҶО ВА ТАВСИЯҶО БАРОИ БАЛАНД БАРОШТАНИ САМАРАНОКИИ СИСТЕМАҶОИ БОЗДОРИИ АВТОМОБИЛҶО ДАР ШАРОИТИ КӢҲСОР

Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов

Мақола стандартҳои байналмилалӣ ва Русияро барои талаботҳои системаҳои боздории воситаҳои нақлиёти автомобилӣ таҳлил мекунад, ки мушкилоти меъёрҳои кӯҳна ва номувофиқати технологияҳои муосирро ошкор мекунад. Диққати асосӣ ба зарурати такмили ГОСТ-и Русия бо назардошти системаи нави боздорӣ ва шароити истифода, масалан, минтақаҳои кӯҳӣ ва шароити вазнини боду ҳаво, барои беҳтар кардани беҳатарӣ ва самаранокии қории системаҳои боздорӣ равона шудааст.

Калидвоҷӯҳо: системаи боздорӣ, воситаҳои нақлиёти автомобилӣ (ВНА), стандарт, масофаи боздорӣ, сӯстшавӣ, ГОСТ Р 51709-2001.

ANALYSIS, DEVELOPMENT OF STANDARDS, AND RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMOTIVE BRAKE SYSTEMS IN MOUNTAINOUS CONDITIONS

R.A. Davlatshoev, B.Z. Majitov

The article analyzes international and Russian standards for vehicle braking systems, highlighting issues with outdated regulations and the mismatch with modern technologies. Special attention is given to the need for updating Russian GOSTs considering new braking systems and operational conditions, such as mountainous areas and harsh weather conditions, to improve the safety and effectiveness of braking systems.

Keywords: vehicles, braking system, standard, braking distance, deceleration, GOST R 51709-2001.

Введение

Эксплуатация автомобилей в горных условиях значительно отличается от эксплуатации в равнинных условиях по ряду ключевых факторов, которые непосредственно влияют на производительность и безопасность движения автомобилей [2]. Высокогорные дороги преимущественно состоят из длительных подъемов и спусков протяженностью до 20...30 км, при этом углы продольных уклонов достигают до 10%. На типичных перевальных и предперевальных участках встречаются многочисленные повороты малого радиуса, часто составляющие всего 8...12 м, а углы поворота на серпантинах достигают 300°. Факторы внешней среды и перечисленные условия эксплуатации проявляют активное воздействие на систему Водитель, Автомобиль, Дорога и Среда (ВАДС). На подъемах и спусках движение автотранспортных средств (АТС) сопровождается длительным использованием низших передач (50...75 % общего пробега) из-за недостаточности динамического фактора, повышенным расходом топлива, увеличением суммарного числа оборотов коленчатого вала на 1 км пробега, т.е. резким снижением эксплуатационной эффективности АТС в горных условиях. При эксплуатации АТС в горных условиях значительно увеличиваются нагрузки на органы управления, что может привести к снижению их эффективности или отказу в работе. Постоянные спуски, длительные уклоны и повышенные требования к устойчивости автомобиля увеличивают риск перегрева тормозных механизмов и снижения их эффективности, что может привести к аварийным ситуациям и общему снижению безопасности дорожного движения.

В связи с имеющей место в мировом автомобилестроении тенденции к увеличению скорости, маневренности, увеличению грузоподъемности и тем самым повышению производительности автотранспортных средств роль тормозных систем в обеспечении безопасности движения постоянно повышается. Исходя из этого производители автотранспортных средств осуществляют постоянное совершенствование этой системы с целью повышения её эффективности и надежности.

На сегодня создана развитая нормативная база, регламентирующая требования к конструктивному исполнению и показателям работы тормозных систем автотранспортных средств. Однако действующие нормативные документы и стандарты для тормозных систем не всегда учитывают специфические особенности эксплуатации АТС в горных условиях, такие как смещение центра тяжести на уклонах, необходимость равномерного распределения тормозных усилий и повышенные требования к износостойкости.

Эти условия требуют применения специальных рекомендаций и улучшенных методов испытаний как АТС в целом, а также их отдельных систем и элементов с целью обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах.

Таким образом, учитывая, что из-за комплексного воздействия высотных, дорожных, транспортных и природно-климатических факторов горной среды происходит значительное снижение эксплуатационной эффективности АТС и безопасности дорожного движения, возникает необходимость разработки

критериев оценки и уровня адаптации элементов АТС к горным условиям эксплуатации в зависимости от закономерностей изменения параметров горной среды, а также методов их проверки и испытаний.

Исследовательская часть

Во всех странах с развитыми автомобильными промышленностями существуют нормативные акты, содержащие требования к тормозным системам автотранспортных средств. Эти требования разрабатывались с учетом эксплуатационных характеристик АТС, а также с учетом условий их эксплуатации в данных странах. Анализ действующих

Стандарты США основываются на соответствующих методиках и нормах SAE (Общества инженеров автомобилистов), которые включают испытания автомобилей, автобусов и автопоездов. При этом нормативы одинаковы как для пустых, так и для нагруженных транспортных средств.

Стандарт FMVSS-121-1975 [3] устанавливает требования к тормозным системам с пневмоприводом. Он включает единые нормативы как для пустых, так и для нагруженных автомобилей и имеет укрупненную классификацию: 1-я категория – грузовые автомобили и автобусы; 2-я категория – автопоезда.

Шведский стандарт F-18 [3] устанавливает требования к автоматической компенсации износа трущихся поверхностей тормозов или, как минимум, к системе предупредительной сигнализации. Этот стандарт предусматривает более строгие испытания на восстановление эффективности мокрых тормозов по сравнению с американским стандартом FMVSS-105a-1975, однако уступает по таким показателям, как энергоемкость тормозных систем и время наполнения ресиверов, стандарту FMVSS-121-1975.

В Германии большое внимание уделяется требованиям к тормозным системам. Стандарт StVZO [3] включает методы проверки тормозных систем как новых, так и используемых в эксплуатации автотранспортных средств.

Английская компания «Lucas Cirling» оценивает эффективность торможения для холодных тормозов при полной и 50% -ной нагрузке автомобиля. Методика также предусматривает испытания на эффективность работы тормозных механизмов.

Приложение 4 Правил № 13 предписывает проведение трех типов испытаний эффективности тормозных систем АТС: 0, I и II.

- Испытания типа 0 (испытания эффективности при холодных тормозных механизмах) проводятся для нагруженных и пустых АТС с отсоединенным и подсоединенным двигателем.

- Испытания типа I (испытания на потерю эффективности) проводятся методом последовательных торможений при подсоединенном двигателе. В конце этих испытаний определяется остаточная эффективность рабочего тормоза, которая должна быть не ниже 60 % от величины эффективности, установленной при испытаниях типа 0 с отсоединенным двигателем.

- Испытания типа II оценивают поведение транспортного средства на затяжных спусках. В конце этих испытаний измеряется остаточная эффективность рабочего тормоза, которая не должна быть ниже 75 % эффективности, предписанной для испытаний типа 0 с отсоединенным двигателем [4].

До недавнего времени технические требования к транспортным средствам в Российской Федерации устанавливались международными (Правила ЕЭК ООН) и национальными (ГОСТы, ОСТы) стандартами. При этом полный перечень стандартов, применяемых при одобрении типа ТС, определялся «Правилами по проведению работ в системе сертификации механических транспортных средств и прицепов». Этот порядок сохраняется и в настоящее время, в переходный период, установленный Законом РФ «О техническом регулировании», до вступления в силу соответствующих специальных технических регламентов. Разработка технических регламентов привела к необходимости пересмотра различных аспектов технического регулирования, в том числе перечня применяемых технических требований к безопасности конструкции.

Требования к тормозным системам рассматриваются в двух аспектах: для новых автомобилей и для тех, которые находятся в эксплуатации. Перечень современных нормативно-технических документов и требований, касающихся тормозных свойств АТС в условиях эксплуатации (требования к эффективности действия), представлен в таблице 1.

Для оценки эффективности тормозных систем в большинстве национальных стандартов используется тормозной путь, максимальное замедление, а также регламентируется величина снижения эффективности тормозных систем в процессе эксплуатации. Например, в шведском стандарте F-18 [3] допускается снижение эффективности рабочей тормозной системы не более чем на 10%. Аналогичное снижение тормозной эффективности для АТС, находящихся в эксплуатации, допускается Правилами № 13 ЕЭК ООН [4].

Основным российским нормативным документом, регламентирующим требования к тормозным системам АТС в эксплуатации, является ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки» [5]. Этот документ предписывает проведение дорожных или стендовых испытаний для проверки эффективности торможения и устойчивости АТС при торможении, а также определяет условия их проведения. Во время дорожных испытаний оцениваются

величина тормозного пути, установившееся замедление, усилие на педали тормоза и линейное отклонение автомобиля.

Таблица 1 – Перечень требований к тормозным свойствам АТС в условиях эксплуатации (требования к эффективности действия)

| № п/п | Стандарты, правила, требования | Страна, регион действия |
|-------|--|-----------------------------------|
| 1 | Правила №13 ЕЭК ООН | Международные предписания ЕЭК ООН |
| 2 | Стандарты №121 (пневмопривод) | Американский стандарт |
| 3 | Стандарты №105а (гидропривод) | Американский стандарт |
| 4 | Требования F-18 | Шведский стандарт |
| 5 | ГОСТ 22895-77 ГОСТ Р 51709-2001 | Российские стандарты |
| 6 | Правила дорожного движения Метод ВНИЦ БД ГАИ МВД России Метод ВНИИСЭ МЮ России | Российские методы исследования |

При стендовых испытаниях тормозных систем контролируются следующие параметры: сила на органе управления, общая удельная тормозная сила, а также коэффициент неравномерности тормозных сил колес оси.

Нормативные требования, предъявляемые к тормозным системам легковых автомобилей в эксплуатации, приведены в таблице 2

Кроме того, для АТС с пневматическим и пневмогидравлическим приводом тормозной системы требуется контролировать давление в приводе, герметичность тормозной системы и работоспособность системы сигнализации.

Таблица 2 – Нормативные требования к тормозным системам легковых автомобилей в эксплуатации

| Нормативный параметр | Категория АТС | Значение параметра для АТС | |
|------------------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|
| | | Выпуска до 1.01.1981 | Выпуска после 1.01.1981 |
| Усилие на педали, H | M_1 | 490 | 490 |
| Тормозной путь, m | M_1 | 14,7 | 14,7 |
| Установившееся замедление, m/c^2 | M_1 | 5,8 | 5,8 |
| Общая удельная тормозная сила | M_1 | 0,59 | 0,59 |
| Время срабатывания, c | M_1 | 0,6 | 0,6 |

Результаты исследования

По результатам анализа и проведенных исследований были выявлены некоторые несоответствия ГОСТ Р 51709-2001, которые не учитывают специфические условия эксплуатации. Среди них можно выделить следующие:

✓ Стандарт не содержит требований к оценке распределения тормозных сил по осям, что влияет на устойчивость и управляемость транспортного средства при торможении.

✓ Нормативы эффективности рабочей тормозной системы АТС (удельная тормозная сила, таблица 2) не согласуются с результатами дорожных испытаний, особенно в части установившегося замедления для полностью загруженного автомобиля.

✓ Отсутствуют четкие рекомендации по проверке запасных тормозных систем АТС.

✓ Особенно в горных условиях эксплуатации из-за изменения координат центра масс автомобиля изменяются показатели, оценивающие эффективность торможения АТС.

✓ В последние годы в тормозных системах активно применяются новые технологии, такие как электронные системы распределения тормозных усилий (EBD), системы помощи при экстренном торможении (BAS), а также электронные стояночные тормоза. Эти системы становятся стандартными для многих автомобилей, но ГОСТ Р 51709-2001 не охватывает их работу и требования к их надежности и эффективности.

✓ При эксплуатации в условиях горного рельефа тормозные системы испытывают повышенную нагрузку из-за постоянных торможений на спусках. ГОСТ Р 51709-2001 не отражает требований к дополнительной износостойкости и тепловой стойкости тормозных систем, что приводит к перегреву и снижению их работоспособности.

✓ При эксплуатации в регионах с высокой влажностью и агрессивными погодными условиями (например, в прибрежных районах или на участках с применением реагентов зимой) тормозные системы подвергаются усиленной коррозии. ГОСТ Р 51709-2001 не требует дополнительных мер по защите от коррозии, хотя это значительно влияет на долговечность и эффективность работы тормозов.

Заключение

Результаты проведенных исследований и анализ источников позволяют сделать вывод о том, что для оценки тормозных свойств АТС недостаточно ориентироваться исключительно на требования ГОСТ Р 51709-2001; необходимо также использовать инструкции по эксплуатации конкретных моделей АТС и

другие нормативные документы, которые позволяют более точно оценить показатели эффективности и техническое состояние тормозных систем, с учетом особенности конкретных условий эксплуатации.

Анализ литературных источников показывает, что требования к тормозным системам в нормальных условиях эксплуатации изучены достаточно подробно. Наряду с этим существуют нормативные документы, которые учитывают только методы проверки и изменения показателей эффективности тормозных систем в нормальных условиях эксплуатации. Однако особенности работы тормозных систем в экстремальных условиях, например, в горных районах, изучены недостаточно: методы формализации для получения количественных оценок не разработаны, а нормативы и рекомендации для повышения эффективности тормозных систем отсутствуют.

Исходя из приведенного анализа возникает необходимость разработки методов проверки и испытаний тормозных систем АТС, а также критериев оценки и уровня адаптации элементов АТС к горным условиям эксплуатации в зависимости от закономерностей изменения параметров горной среды, не учёт которого приводит к значительному снижению эксплуатационной эффективности АТС и безопасности дорожного движения.

Рецензент: К.т.н., доцент кафедры «Физика твёрдых тел» Таджикского национального университета Соибов А.А.

Литература

1. Разработка требований к тормозным системам АТС. // Давлатшоев Р.А., Турсунов А.А. Материалы I–й Международной научно-практической конференции “Научно-технический прогресс и развитие инженерной мысли в XXI веке”. -Худжанд, 2007. -с. 80-83.

2. Нусупов, Э.С. Повышение эксплуатационной эффективности автотранспортных средств в горных условиях: автореф. докт. техн. наук / Э.С. Нусупов– М., 1991. – 42 с.

3. Стандарты по эксплуатации автомобильного транспорта. Е.С. Брюссель, 1993; Стандарт США №105-75 и №121-75. Пер. с англ. - М.: Всесоюзная торговая палата, 1984. - 29с; Требования к тормозам. Основные и дополнительные. Стандарт F-18. Требования к тормозам. Швеция, 1971. торговая палата, 1984. - 29с; Требования к тормозам. Основные и дополнительные. Стандарт Швеции F-18. Пер. с англ. - М: Всесоюзная торговая палата, 1978. - 26с; Правила допуска к движению по улицам. Стандарт ФРГ StVZO-69. Пер. с нем. -М.: Всесоюзная торговая палата, 1972. - 341с; Правила приемки автомобилей, прицепов и полуприцепов, эксплуатируемых на дорогах общественного пользования. Стандарт США D7-1-63. Пер. с англ. -М: Всесоюзная торговая палата, 1971. - 91с.

4. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении торможения. Правила ЕЭК ООН № 13. Издательства ООН, 1973. - 41 с.

5. ГОСТ Р 51709-2001 Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. - М.: ГОСТСТАНДАРТ РОССИИ, 2001. – 27 с.

6. Турсунов А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации. – Душанбе: Ирфон, 2003 г. -356 с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Давлатшоев Рашид Асанхонович | Давлатшоев Рашид Асанхонович | Davlatshoev Rashid Asankhonovich |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент | к.т.н, доцент | Candidate of Technical Sciences |
| e-mail: d_rashid71@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Мажитов Бахриддин Жамилович | Мажитов Бахриддин Жамилович | Majitov Bakhriddin Zhamilovich |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент | к.т.н, доцент | Candidate of Technical Sciences |
| e-mail: mjbahriddin@mail.ru | | |

МАСЪАЛАҲОИ МИНТАҚАВИИ РУШДИ НАҚЛИЁТИ МУСОФИРБАР ВА ТАҲЛИЛИ МАРҲИЛАҲОИ ИНКИШОФИ ПАРКИ АВТОБУСҲО

Ф.М. Юнусов, А.А. Рачабов

Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур масъалаҳои минтақавии рушди нақлиёти мусофирбар тадқиқ гардида, марҳилаҳои инкишофи парки автобусҳо таҳлил карда мешавад. Бо назардошти он ки нақлиёт барои қонеъ гардонидани талаботи аҳолии нисбат ба интиқол таъин гардидааст, роҳҳои асосии муносибгардонии раванди интиқол ва рушди парки автобусҳо мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Ин ҷо мақоми муассисаҳои нақлиёти автомобилӣ мусофирбар ба таври возеҳ дарҷ карда мешавад.

Калимаҳои калидӣ: минтақа, нақлиёт, мусофирбарӣ, автобус, талабот, аҳоли, шаҳр, рушд.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА И АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ АВТОБУСНОГО ПАРКА

Ф.М. Юнусов, А.А. Раджабов

В данной статье изучаются региональные вопросы развития пассажирского транспорта, анализируются этапы развития автобусного парка. Учитывая, что транспорт призван удовлетворить потребности населения в перевозках, обсуждены основные пути оптимизации транспортного процесса и развития автобусного парка. Здесь четко обозначен статус предприятий пассажирского транспорта.

Ключевые слова: регион, перевозок, пассажироперевозок, автобус, спрос, население, город, развитие.

REGIONAL ISSUES OF PASSENGER TRANSPORT DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF BUS FLEET DEVELOPMENT TRENDS

F.M. Yunusov, A.A. Radjabov

This article studies regional issues of passenger transport development, analyzes the stages of bus fleet development. Considering that transport is designed to meet the needs of the population for transportation, the main ways of optimizing the transport process and developing the bus fleet are discussed. The status of passenger transport enterprises is clearly defined here.

Keywords: region, transportation, passenger, bus, demand, population, city, development.

Муқаддима

Рушд ва такмилдиҳии парки автобусҳои истифодаи умум ба зарурати гузаронидани талаботи тадқиқоти илмӣ нисбат ба автобусҳо ва ҳалли масъалаҳои ташаққул додани парки мусофирбарии муассисаҳои нақлиёти автомобилӣ (МНА), иттиҳодияҳои истеҳсолӣ, минтақаҳои алоҳида ва умуман мамлакат боис мегардад.

Дар шароити тамаркузи парки автобусҳо инчунин зарурат ва ҳалли масъалаҳои ихтисос додани парк аз рӯйи намуди интиқол – шаҳрӣ, наздишаҳрӣ ва байнишаҳрӣ пеш меояд. Мураккабии ҳалли ин масъала аз бисёр ҷиҳат ба гуногунии талабот ба парки автобусҳо ва мавҷудияти шумораи зиёди вариантҳои таҳвили автобусҳо, баҳисобгирии омилҳои зиёди ба ташаққулдиҳии парк бо имкониятҳои маҳдуди ба даст овардани маълумоти дақиқ доир ба амалисозӣ ва самаранокии рушди парки автобусҳо ва ғайраҳо таъсиррасонанда вобаста аст.

Вобаста ба ин, ҳалли масъалаҳои ташаққулдиҳии парки автобусҳо [3] истифодабарии технологияҳои муосири компютери металабад, ки он барои кам кардани меҳнати дастӣ, ба даст овардани натиҷаҳои дақиқу фаврӣ ва босифат мусоидат намуда, сабабгори ҳалли масъалаҳои бисёрвариантии меҳнатталаб дар муддати камтарин мегардад.

Дар мақолаи мазкур якчанд вариантҳои имконпазири такмилдиҳии рушд ва ташаққули парки автобусҳои истифодаи умум пешниҳод карда мешавад.

Вазифаи асосии нақлиёт қонеъгардонии саривақтӣ, босифат ва пурраи талаботи хоҷагии халқ ва аҳолии нисбат ба интиқол, баланд бардоштани самаранокии иқтисодии қори он аст. Дар системаи нақлиёти кишвар нақши афзоюндари нақлиёти автомобилӣ мусофирбарӣ ҳам шаҳрӣ ва ҳам наздишаҳрӣ, байнишаҳрӣ ва байналмилалӣ мебозад.

Рушди соҳаҳои хоҷагии халқ, афзоиши шумораи аҳоли ва баланд бардоштани некуаҳволии зиндагӣ, тақвият додани тамаркуз ва таҳассусдиҳии истеҳсолот, беҳтар гардонидани робитаҳои нақлиётӣ ва ғайраҳо ба афзоиши доимии мусофирбарии автомобилӣ, чун қоида, ба рушди парки мусофирбар оварда мерасонад. Зиёд шудани ҳаҷми интиқол бо афзудани талабот ба сифат ва фарҳанги хизматрасонии аҳоли вобастагӣ дорад.

Дар марҳилаи мазкур рушди хоҷагии халқ барои нақлиёти автомобилӣ мусофирбар хусусан проблемаи рушди интенсифӣ, ҷустуҷӯи манбаъҳои дохилиистеҳсолӣ барои қонеъгардонии саривақтӣ, босифат ва пурраи талаботи аҳоли нисбат ба тамоми намудҳои интиқол муҳим арзёбӣ мегардад.

Ҳалли ин проблема бо баланд бардоштани самаранокии қори тамоми нақлиёти автомобилӣ мусофирбар, унсурҳои алоҳидаи он ва ҳар як таркиби ҳаракаткунанда, интенсификатсияи истифодаи иқтидорҳои созмон додашуда, паст кардани хароҷоти нақлиётӣ, истифодаи нисбатан оқилонаи манбаъҳои мавҷуда (меҳнатӣ, моддӣ ва пулӣ) алоқаи ноғусастанӣ дорад.

Аз дигар тараф, он бо ошкорсоии самтҳои асосӣ ва дурнамои дарозмуддати рушди нақлиёти автомобилии мусофирбар бо назардошти таҷҳизоти барномавию мақсадноки хоҷагии халқ умуман ва дар соҳаҳои алоҳида низ вобастагӣ дорад.

Пешгӯии рушди нақлиёти автомобилии мусофирбар ба таҳлили қонуниятҳои объективӣ ва хусусиятҳои он дар хоҷагии халқ, пешгӯии омилҳои асосии муайянкунандаи рушди ояндаи системаи нақлиётӣ ва ғайраҳо таъя менамояд. Вобаста ба ин, ба шумори принципҳои асосии рушди дарозмуддати нақлиёти автомобилии мусофирбар (боркаш) метавон зеринро дохил намуд [4]:

1. Самтнокии мақсадҳо.
2. Системанокӣ.
3. Динамикӣ будан.
4. Мувофиқаи чорабиниҳо бо давраҳои баррасишавандаи дурнамо.
5. Агрегиронӣ будани тавсифи нақлиёти автомобилии мусофирбарӣ минтақа.
6. Ҳисоби мураккабии сохтори дохилии парки мусофирбар.
7. Вариантнокии рушд.
8. Маҷмӯавӣ будан дар татбиқи чорабиниҳо.

Қайд кардан лозим аст, ки ин принципҳо байни ҳамдигар вобастагӣ доранд ва рушди нақлиёти автомобилии мусофирбарро ҳамчун унсурҳои системаи умумӣ ва ҳам мисли микросистема (муассисаҳои нақлиёти автомобилии мусофирбар (МНАМ) тавсиф медиҳад.

Ба ақидаи мо, дар байни принципҳои болозикр мақоми хос бояд ба Маҷмӯавӣ будан дар татбиқи чорабиниҳо дода шавад, ки асосан ба такмилдиҳии ташкили интиқол нигаронида шудааст. Татбиқи ин чорабиниҳо ба истифодаи нисбатан самараноки таркиби ҳаракаткунандаи муассисаи ишора карда, воситаи асосии амалисозии раванди истеҳсоли дар нақлиёти автомобилӣ – мусофирбарӣ аст ва инчунин омилҳои асосии ташаккулдиҳии сохтори муассисаҳои нақлиёти автомобилии мусофирбар, ки сатҳи рушди базаи истеҳсолии техникаи онҳо ва зарурати таъминотро бо манбаъҳои моддӣ, молиявӣ ва меҳнатӣ муайян менамояд, ба ҳисоб меравад.

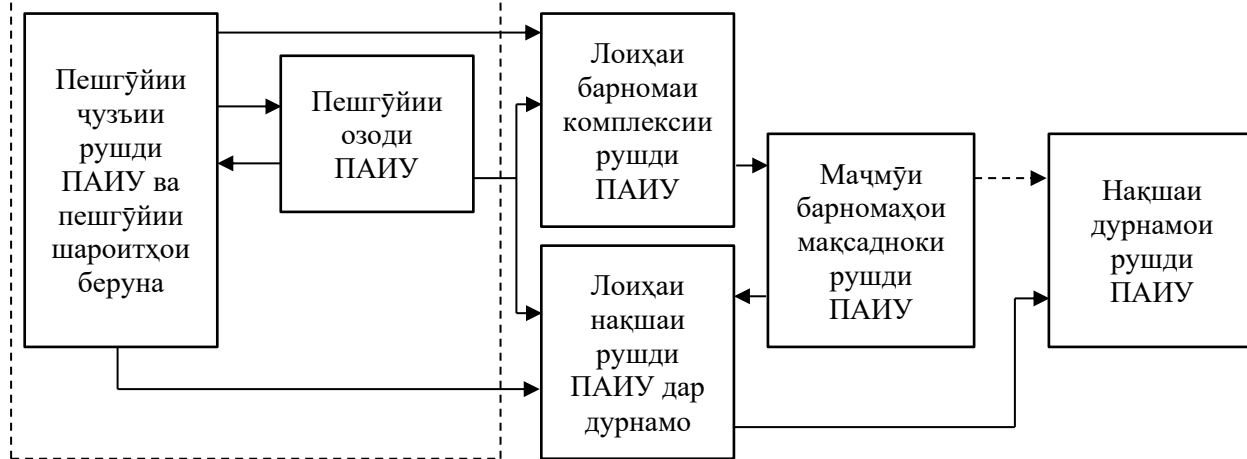
Ҳамин тариқ, такмилдиҳии парки автобусҳо яке аз омилҳои муҳимтарини беҳтар гардонидани фаъолият умуман дар соҳа ва дар зерсохтори алоҳидаи истеҳсолии он мебошад.

Рушди парки автомобилии мусофирбар бояд дар доираи барномаҳои глобалӣ, минтақавӣ ва локалӣ, яъне муносибгардонии сохтори парк дар миқёси тамоми хоҷагии халқ, минтақа ва объектҳои локалии нақлиётӣ алоҳида (МНАМ) ташаккул дода шавад.

Агар дар натиҷаи қарорҳои барномаҳои глобалӣ самтҳои асосии рушд ва параметрҳо чун системаи нақлиётӣ кишвар дар умум ва ҳамчун унсурҳои ба он дохилшаванда аз рӯи намудҳои нақлиёт муайян карда шавад, пас дар сатҳи минтақа масъалаҳои рушд ва ҷойгиронии тугунҳои нақлиётӣ, сохтмон, таҷдид ва навсозии объектҳои асосии истеҳсолоти нақлиётӣ ва унсурҳои шабакаи роҳ ҳал карда мешавад.

Қарори барномаҳои локалӣ дар худ масъалаи рушди муассисаи нақлиётӣ автомобилии мусофирбарӣ мушаххасро таҷассум менамояд. Ҳамин тариқ, масъалаҳои такмилдиҳии парки автобусҳо ба ҳолати проблемавии объектҳои минтақавӣ ва локалии нақлиётӣ мусофирбар тааллуқ дошта, ҳалли онҳо бошад, масъалагузории рушди парки автобусии минтақаро, ки барои амалисозии интиҳоби стратегияи ташаккулдиҳии он дар дурнамо мусоидат менамояд, металабад.

Масъалаи рушди парки автобусҳо дар марҳилаҳои гуногуни идоракунии пайдо мешавад. Дар расми 1 алоқаи байни қарорҳои пешгӯӣ, барномавӣ ва нақшавӣ дар раванди идоракунии рушди парки автобуси истифодаи умум (ПАИУ) нишон дода шудааст [5].



Расми 1 – Алоқаи байни қарорҳои пешгӯӣ, барномавӣ ва нақшавӣ дар раванди идоракунии рушди парки автобуси истифодаи умум (ПАИУ)

Барои банақшагирии фаъолияти ПАИУ муқаррар намудани нишондиҳандаҳои нақшавии масъалаҳои рушди парк талаб карда мешавад. Нақшаи иттилоотии алоқаҳои масъалаи банақшагири ва рушди ПАИУ дар расми 2 нишон дода шудааст.

Методология ва идораи пешгӯии илмӣ дар якчанд корҳои илмӣ [4,5] оварда шудаанд. Вобаста аз шакли масъалаи ҳалшаванда муаллифони ду намуди пешгӯӣ – тадқиқотӣ (чустучӯӣ) ва мақсаднок (меъёрӣ)-ро фарқ мекунад.

Асоси пешгӯии чустучӯӣ дар ошкор сохтани тамоюлҳои ҷойдошта ва вобастагиҳои муқарраркунандаи пойдорӣ-тафтишотии бо марҳилаи таҳлили система алоқамандбуда меистад, аз рӯи натиҷаи пешгӯии меъёрӣ бошад, тимсоли системаи оянда ҳамчун яке аз унсурҳои система ташаккул дода мешавад. Қайд кардан лозим аст, ки ин намудҳои пешгӯӣ ҳамчун марҳилаи зарурии шинохти илмии равандҳои воқеӣ баррасӣ мегарданд. Дар ин принсипи системаи шабакавӣ ва комплекси коркарди пешгӯӣҳо падидор мешавад [5]. Ақидаи олимони [2,4,5] дастгирӣ намуда, ба андешаи мо натиҷаҳои пешгӯӣ бояд барои муайян кардани стратегияи илмии рушди ПАИУ бо назардошти тамоюлҳои ҷойдоштаи ташаккулёбии он истифода гардад. Дар ин маврид муайян кардани аҳамияти талаботии стратегияи рушди ПАИУ бо назардошти талаботи аҳоли ба мусофирбарӣ зарур аст. Аз тарафи дигар, муқоисаи ду стратегияи рушд (пешгӯишаванда ва талаботӣ) ва муайян намудани ҳудуди мувофиқаи имконпазири онҳо зарурати коркарди стратегияи муносиб (оқилона)-и рушди ПАИУ-ро асоснок мегардонад.

Ба ақидаи мо мураккабии ҳалли масъалаи интихоби стратегияи муносиб, рушди ПАИУ бо он асоснок карда мешавад, ки яқум, парки автобусии истифодаи умум шумораи зиёди воҳиди автобусҳои сохтори гуногуннамуди худро дорад; дуюм, зарурати омӯзиши ташаккул додани парк дар фосилаи вақти зиёд аз сабаби инерсионӣ будани он; сеюм, бо шумораи зиёди омилҳои ба парк таъсиркунандаи бештар хусусияти ногаҳонидошта; чорум, номуайянии муҳими ҳолати ояндаи парк ва ғайра ба шумор меравад.

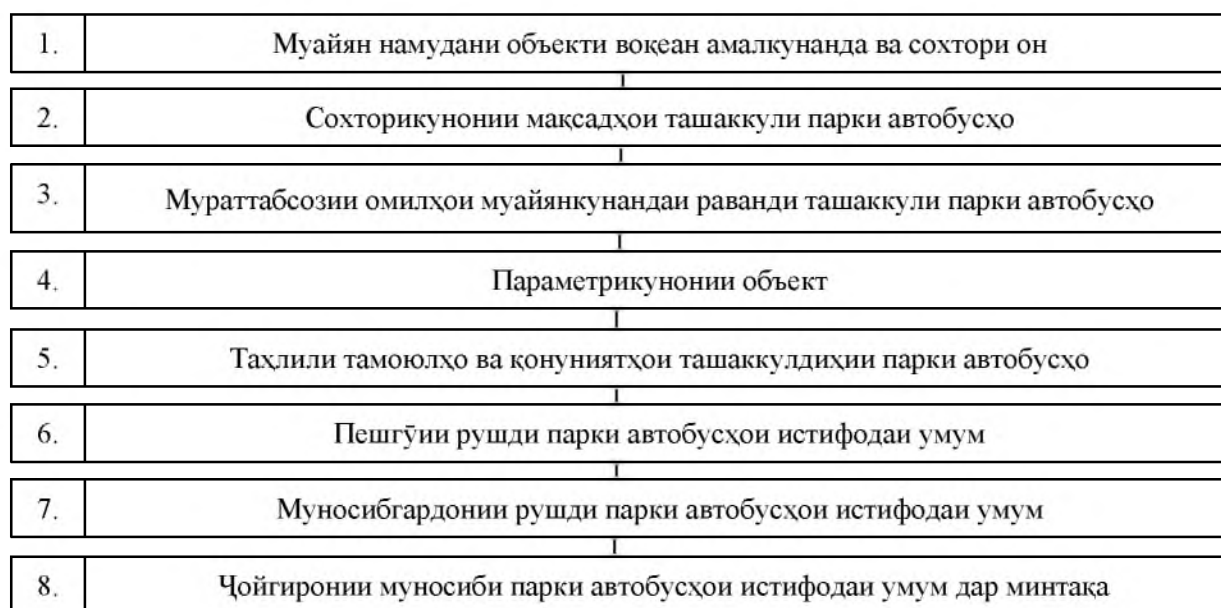
Аз ин рӯ, варианти имконпазири ҳалли ин масъала зарурати истифодаи дастгоҳи моделиронии математикиро пешбинӣ менамояд. Интихоб, асоснокнамоӣ ва баҳодиҳии адекватнокии моделҳо айни ҳол раванди методии ба таври кофӣ коркардшударо пешкаш менамояд [5].

Аз тарафи дигар, ҳангоми гузаронидани ҳисобҳо, адекватнокии моделҳо бояд таъсири равандҳои воқеии ҳангоми моделиронӣ ба ҳисоб гирифташавандаи қабули қарорҳо ва рафтори системаи тадқиқшаванда (идорашаванда) вобаста аз рӯи пуррагӣ баҳо дода шавад.

Ҳангоми ҳалли проблемаи интихоби стратегияи муносиби рушди парки нақлиёти автомобилӣ боркаш ба асоси ҳалли методологӣ як қатор принсипҳои гузошта шудааст [6]. Ин принсипҳо инчунин метавонанд, ки ҳангоми ташаккул додани стратегияи муносиби рушди ПАИУ низ истифода шаванд. Ба шумори муҳимтарини онҳо дохил кардан мумкин аст:

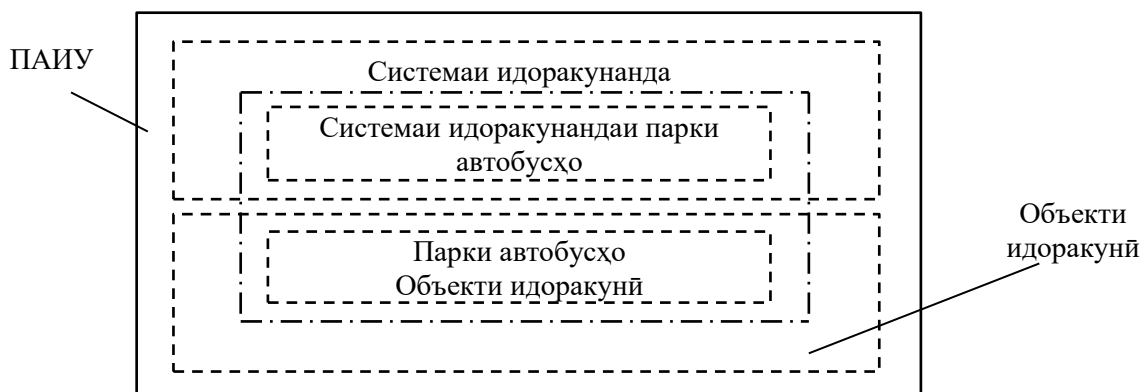
- принсипи таҳлили системавӣ-мақсадноки объект;
- принсипи ҳалли комплекси проблемаи гузошташуда;
- принсипи универсалнокии усулҳои конструкторӣ ва ҳалли онҳо;
- принсипи бисёрвариантии қарорҳои коркардшаванда ва тавсияҳои мушаххас;
- принсипи ҳисоби динамикии рушди объект.

Татбиқи ин принсипҳо тадқиқи ПАИУ-ро металабад, ки чудонамоии марҳилаҳои ҳалли масъалаҳои интихоби оқилонаи стратегияи рушди ПАИУ-ро пешбинӣ менамояд (расми 3).



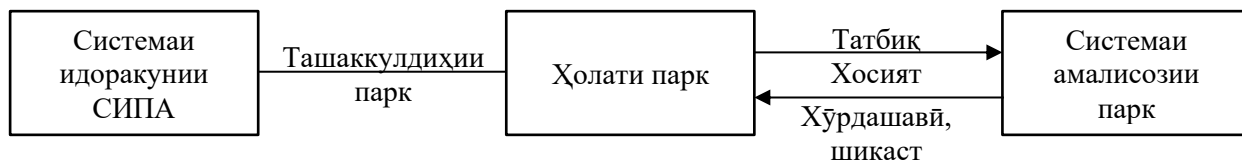
Расми 3 – Блок-схемаи марҳилаҳои ҳалли масъалаҳои интихоби оқилонаи стратегияи рушди ПАИУ

Чӣ тавре ки аз расми 3 маълум аст, дар блоки 1 объекти тадқиқот, яъне системаи идоракунии рушди парки автобусҳо ишора гардидааст. Системаи мазкур аз объекти идоракунии – парки автобусҳо ва системаи идоракунанда (СИ) иборат аст (расми 4).



Расми 4 – Системаи идоракунии парки автобусҳо (СИПА).

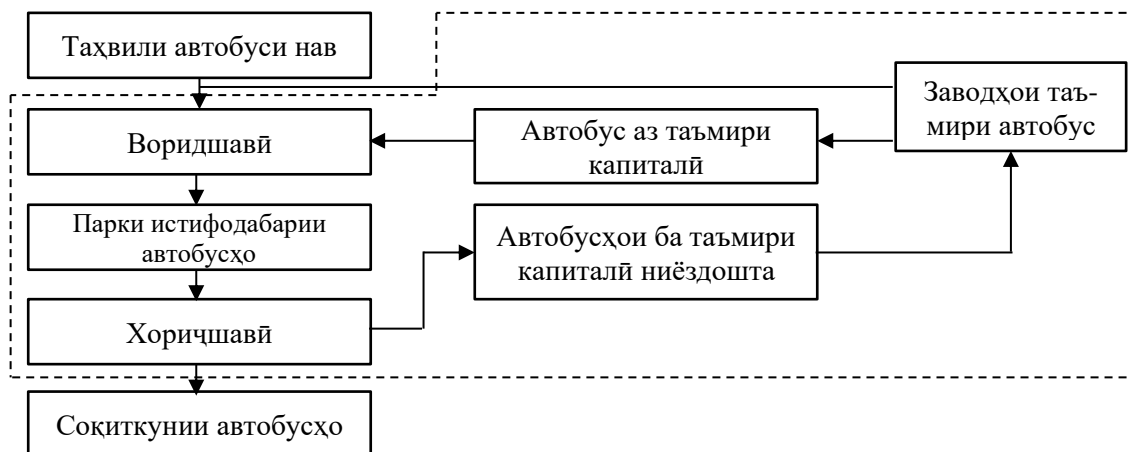
СИПА як қатор вазифаҳоро иҷро менамояд. Идоракунии раванди амалисозӣ ва идоракунии ҳолати парки автобусҳо вазифаи аввалин ба шумор меравад. Раванди мақсадноки таъсиррасонии системаи идоракунӣ ба ҳолати парк “амалисозии парк” ном дорад. Алоқамандии раванди ташақкул ва амалисозии парки автобусҳо дар расми 5 нишон дода шудааст.



Расми 5 – Алоқамандии раванди ташақкул ва амалисозии парки автобусҳо.

Системаи идоракунии СИПА намудҳои танзимшавандаи таъсири зеринро ба объекти идоракунӣ мерасонад:

1. Автобусҳо ба система аз берун ворид мегарданд.
2. Аз система мебароянд.
3. Дар ҳуди система шакл дигар мекунанд (расми 6).



Расми 6 – Сохтори равандҳои ворид ва хориҷшавии автобусҳо

Бо назардошти ин автобусҳои ба СИПА воридшавандаро ба ду гурӯҳ ҷудо намудан мумкин аст:
 -автобус нава (аз ҷониби саноати автомобилсозӣ воридшаванда);
 -автобуси пас аз таъмири капиталӣ барқароргардида.

Раванди асосӣ ҳангоми ташақкул додани парки автобусҳо ворид кардани автобусҳои нава аст. Ба сифати варианти имконпазир воридшавӣ ба навосӣ ва рушд (ивазкунии автобуси шабеҳ, пурракунии оддӣ, пурракунии васеъ)-ро дохил кардан мумкин аст.

Аз эътибор соқит кардани автобусҳо, инчунин ворид кардани онҳо фишанги базавии тағйироти сифатӣ ва миқдорӣ тағйирёбии таркиби парки автобусҳо ва рушди он аст.

Блоки 2 сохторикунонии мақсадҳои ташаққули парки автобусҳо, иҷрои вазифаҳо дар системаи идоракунӣ доир ба ташаққулдиҳии парк ва дар объекти идоракунӣ, яъне парки автобусҳо ба шумор меравад.

Блоки 3 мурааттабсозии омилҳои муайянкунандаи раванди ташаққули парки автобусҳо ва ба тартиб овардани ҳамбастагӣ ва омилҳои зиёди муайянкунандаи раванди ташаққулдиҳии ПАИУ аст.

Блоки 4 параметрикунонии объект буда, пеш аз ҳама мурааттабсозии нишондиҳандаҳои миқдорӣ (техникӣ, истифодабарӣ, иқтисодӣ)-ро, ки объекти тадқиқоти СИПА-ро тавсиф медиҳад, дар бар мегирад. Дар ҷадвали 1 номгӯи нишондиҳандаҳои муҳими парки автобусҳо оварда шудааст. Ҳамаи нишондиҳандаҳоро метавон ба гурӯҳҳои зерин ҷудо намуд: нишондиҳандаҳои тавсифдиҳандаи ташаққули парки автобусҳо; нишондиҳандаҳои тавсифдиҳандаи параметрҳои ҳолати парки автобусҳо; нишондиҳандаҳои натиҷавии тавсифдиҳандаи параметрҳои амалисозии парки автобусҳо, инчунин нишондиҳандаҳои самаранокии рушди парки автобусҳо.

Ҷадвали 1 – Номгӯи нишондиҳандаҳои муҳими парки автобусҳо

| Синфи нишондиҳандаҳои таҳлилшаванда | Гурӯҳи нишондиҳандаҳо | Номгӯи нишондиҳандаҳо | Воҳиди ченак |
|---|------------------------------------|---|----------------|
| 1. Ташаққул додани парки автобусҳо | Интенсивноқӣ | Андозаи воридкунӣ ва соқитнамоии автобусҳо | адад |
| | | Кoeffитсиенти воридкунӣ ва соқитнамоии автобусҳо | - |
| | Арзишӣ | Сармоягузорӣ барои харидории автобусҳо | ҳаз. сомонӣ |
| 2. Ҳолати парки автобусҳо | Иқтидорӣ | Шумораи миёнаи рӯйхатии автобусҳо | адад |
| | | Ҳанҷиши умумии автобусҳо | ҷой |
| | | Ҳанҷиши миёнаи автобусҳо | ҷой |
| | Хусусиятҳои муқаррарӣ | Синни миёнаи автобусҳо | сол |
| | | Ҳашти автобусҳо аз оғози истифодабарӣ | км |
| | Таркиби парки автобусҳо | Сохтори парки автобусҳо аз рӯйи синф, аз рӯйи тамға | % |
| | | Сохтори муқаррарӣ | % |
| Арзишӣ | Арзиши умумии тавозунӣ | ҳаз/сомонӣ | |
| | Сармоягузорӣ ба воҳиди автобус-ҷой | сомонӣ/ҷой | |
| 3. Нишондиҳанда-ҳои натиҷавӣ: | Истифодабарӣ | Ҳашти миёнаи солонаи автобусҳо | ҳаз. км |
| | | Кoeffитсиенти сардиҳии автобусҳо ба хатсайр | - |
| | | Фонди миёнаи солонаи вақти қорӣ | соат |
| | Таъминноқӣ бо захираҳо | Шумораи ронандагон барои як автобус | нафар |
| | | Муҷаҳҳазии механикӣ | сомонӣ/наф. |
| | | Ҳиссаи ҳоси арзиши ҳадамоти асосии истеҳсоли | % |
| 3.1. Амалисозии парки автобусҳо | Ҳарочот барои истифодабарии парк | Ҳиссаи харочот барои як автобус-ҷой | сомонӣ |
| | | Ҳарочоти овардашуда барои ташаққулдиҳӣ ва амалисозии парк | сомонӣ-ҷой |
| | Таркиби парк | Тақсими автобусҳо аз рӯйи намуди фаъолият (қорбайъ ва соатбайъ) | - |
| | | Тақсими автобусҳо аз рӯйи намуди интиқол | - |
| 3.2. Нишондиҳанда-ҳои самаранокии тақрорёбии рушд | Истифодабарӣ | Қори миёнаи солонаи автобусҳо | мус. мус/км |
| | Иқтисодӣ | Даромад ба 1 автобус | сомонӣ/авт. |
| | | Ҳоида ба 1 автобус | сомонӣ/авт. |
| | | Натиҷадиҳии фонд, фондғунҷоиш, фоидаи қорӣ | сомонӣ/авт. |

Блоки 5 таҳлили тамоюл ва қонқиятҳои ташаққул додани паркро дар бар мегирад, ки натиҷаҳои таҳлил инҳо мебошанд:

-ошқор намудани ҷойҳои “танг” дар рушди ПАИУ, инчунин дар системаи идоракунӣ, ки сиёсати ташаққулдиҳии паркро муайян менамояд;

-муқаррар намудани тамоюлҳои рушди ПАИУ;
 -ошкор намудани қонуниятҳои ташаккулдиҳии ПАИУ.

Ба ақидаи мо, дар асоси ин натиҷаҳо метавон чорабиниҳоро доир ба такмилдиҳии рушди ПАИУ, беҳтар гардонидани раванди ташаккулёбии он, инчунин пешгуи рушди онро коркард намуд.

Блоки 6 пешгуи рушди ПАИУ буда, аз рӯи натиҷаи ин марҳила стратегияи рушди ПАИУ-ро дар асоси тамоюлҳои ташаккулёбии он таҳия намудан мумкин аст.

Блоки 7 ба самти муносибгардони рушди ПАИУ нигаронида шуда, натиҷаҳои бадастомада имкони интиҳоби стратегияи муносиби рушди ПАИУ-ро бо назардошти маҷмӯи омилҳои маҳдудкунанда, инчунин равандҳои воридшавӣ ва хориҷшавии автобусҳо ба/аз ПАИУ медиҳад.

Блоки 8 ба ҷойгирони муносиби ПАИУ дар минтақаи вобаста аст ва ин марҳила имкон медиҳад, ки схемаи оқилонаи ҷойгирони муассисаҳои нақлиёти автомобилӣ мусофирбар бо гирифтани нақшаи муносиби раванди интиқол ба даст оварда шавад; сатҳи самараноки консентратсияи истеҳсолот ва парки таркиби ҳаракаткунанда муайян карда шавад; модели оқилонаи вобастасозии хатсайро ба МНАМ ба даст оварда шавад; сохтори оқилонаи парки таркиби ҳаракаткунанда муайян карда шуда, таҳассус додани зерсохторҳои истеҳсолии оқилона асоснок гардонида шавад.

Хулоса

Парки автобусҳои истифодаи умум мувофиқи таҳлилҳо, пешгуиҳои овардашуда ва марҳилаҳои ҳалли масъалаҳои интиҳоби оқилонаи стратегияи рушди ПАИУ роҳҳои ҳалли масъалаҳои ҳалталаб ва мушкилоти ҷойдоштаро дарёфта метавонад. Самтҳои асосии роҳҳои ҳалли проблемаҳо ба таври назариявии баррасигардида асоси ташаккулдиҳӣ ва такмили ПАИУ буда метавонад.

Муқаррир: Юнусов М.Ю. – н.и.т., дотсени кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ» -и ДҶИИТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Большаков А.М., Кравченко Н.А., Черникова С.Л. Повышения качества обслуживания пассажиров и эффективность работы автобусов. М. Транспорт, 1982. – 106 с.
2. Бронштейн Я.Т. Перспективы развития транспорта Таджикской ССР. Душанбе, Ирфон, 1973. – 210 с.
3. Макконнелл, К.Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю. – В 2 т.: пер. с англ. – Т. 1. – М., 1996. – 974 с.
4. Раджабов Р.К., Аликариев С.А. Рациональное размещение предприятий пассажирского автобусного транспорта в Таджикистане. Обзор инф. Душанбе, 1986. – 35 с.
5. Сангинов О.К. Проблема развития пассажирского автомобильного транспорта в горных районах Республики Таджикистан// Актуальные проблемы современной науки – М.: 2002. -С.407- 409.
6. Юнусов Ф.М. Муносибати системаи дар омӯзиш ва баланд бардоштани самаранокии кори нақлиёти автомобилӣ мусофирбар//Паёми политехникӣ. Баҳши Таҳқиқоти муҳандисӣ. №1 (61), 2023. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2023. – С. 162-167.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-AUTHORS BACKGROUND

| TJ | RU | EN |
|--|--|--|
| Юнусов Фаридун Маъруфович | Юнусов Фаридун Маъруфович | Yunusov Faridun Marufovich |
| Номзади илмҳои иқтисодӣ | Кандидат экономических наук | Candidate of Economical Sciences |
| Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон | Международный университет туризма и предпринимательство Таджикистана | International University of tourism and entrepreneurship of Tajikistan |
| fariduny@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Рачабов Абдуҳалим Абдурахимович | Раджабов Абдуҳалим Абдурахимович | Radjabov Abduhalim Abdurahimovich |
| Номзади илмҳои иқтисодӣ | Кандидат экономических наук | Candidate of Economical Sciences |
| Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон | Международный университет туризма и предпринимательство Таджикистана | International University of tourism and entrepreneurship of Tajikistan |
| raa_16.12.1978@mail.ru | | |

СОХТМОН ВА МЕЪМОРИЙ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК 624.131.3

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ОТКОСА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ЗНАЧЕНИИ СЦЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

¹ О.К. Комилов, ² Т.А. Негматов, ² А.А. Рахманов

¹Таджикский национальный университет

² Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук
Таджикистана

В статье рассматривается методика аналитического и численного расчета устойчивости откосов и склонов, сложенных слоями глинистых грунтов с изменяющимися значениями сцепления по глубине.

Приведена расчетная схема, последовательность расчета и методика определения наиболее вероятнейшей круглоцилиндрической поверхности скольжения в случае многослойного массива. Рассмотрена методика приведения многослойного массива грунтов к квазиоднородному. Получены зависимости для определения удерживающих и сдвигающих сил и значение коэффициента устойчивости оползневого массива.

Приведена программа расчета и пример численного решения задачи устойчивости склона, сложенного различными глинистыми грунтами при изменяющемся значении сцепления по глубине массива.

Ключевые слова: откос, прочность грунта, сцепление, угол трения, удельный вес грунта, поверхность скольжения, момент сил, коэффициент устойчивости откоса.

ҲИСОБ КАРДАНИ УСТУВОРИИ НИШЕБИ БИСЁРҚАБАТА ҲАНГОМИ ТАҒИРЁБАНДА БУДАНИ ЧАСПИШИ ХОК

О.К. Комилов, Т.А. Негматов, А.А. Рахманов

Дар мақола усули таҳияшудаи назариявӣ ва амалии ҳисобкунии устувории нишебоҳо ва доманаҳои аз қабатҳои гуногуни хокҳои гилин иборатбуда, бо назардошти тағйирёбии часпиши хок аз рӯи чуқурӣ баррасӣ мешавад.

Нақшаи ҳисоб, пайдарпаии ҳисобҳо ва усули сохтани сатҳи лағжиши доирашакли эҳтимолноктарини цилиндрӣ барои хокҳои бисёрқабата баррасӣ карда мешавад. Усули овардани хоки бисёрқабата ба хоки якҷинса оварда шудааст. Вобастагиро барои ҳисоб кардани моменти қувваҳои нигоҳдоранда, талақунандаи амалқунанда ва коэффитсиенти устувории нишеб ба даст оварда шудаанд. Барномаи компютери ҳисоб ва мисоли адабии ҳалли масъалаи устувории нишеб, ки аз қабатҳои гуногуни хокҳои гилин иборат аст ва часпиши хокҳо бо чуқурӣ тағйир меёбанд, оварда шудааст.

Калидвожаҳо: нишеб, мустаҳкамии хок, часпиши хок, кунҷи соиш, вазни хоси хок, сатҳи лағжиши, моменти қувваҳо, коэффитсиенти устувории нишеб.

CALCULATION OF STABILITY OF A MULTILAYER SLOPE WITH VARIABLE SOIL COSH

O.K. Komilov, T.A. Negmatov, A.A. Rakhmanov

The paper deals with the methodology of analytical and numerical calculation of slope stability and slopes composed of layers of clay soils with varying values of cohesion by depth.

The calculation scheme, the sequence of calculation and the technique of determination of the most probable circular cylindrical sliding surface in the case of a multilayer array are given. The technique of reduction of a multilayer soil mass to a quasi-homogeneous one is considered. Dependencies for determination of restraining and shear forces and value of stability coefficient of landslide soil mass are obtained.

A calculation programme and a numerical example solution of the problem of slope stability composed of different clay soils at changing values of cohesion along the depth of the soil mass are given.

Keywords: slope, soil strength, cohesion, friction angle, specific weight of soil, sliding surface, moment of forces, slope stability coefficient.

Введение

Существующие методы расчета устойчивости откосов и склонов предусматривают, как правило, наличие однородного массива грунтов. Однако, достаточно часто встречаются массивы, представленные неоднородными слоями грунтов, что необходимо учитывать при расчетах.

В настоящей статье рассмотрим методику расчета устойчивости откоса или склона с учетом вышеуказанного фактора, а также изменения сцепления грунтов по глубине массива.

Как известно, методы расчета устойчивости откосов и склонов базируются на теории предельного равновесия грунтов, объясняемой теорией прочности Кулона [1,4,7,9], согласно которой «... предельное сопротивление связных грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального давления».

С другой стороны, в грунтах предельное сопротивление сдвигу можно рассматривать как сопротивление сцеплению между минеральными частицами прямо пропорциональное действующему нормальному давлению. Если рассматривать процесс устойчивости откосов с данной точки зрения, то данный процесс будет зависеть от изменяющейся величины сцепления всех слоев грунта, составляющих рассматриваемый массив.

Постановка задачи

Рассмотрим многослойный грунтовый массив, состоящий из 3-х различных слоев, залегающих по глубине и отличающихся друг от друга. Каждый из слоев грунта при этом будет характеризоваться своим графиком предельного сопротивления сдвигу, характеризуемым углом внутреннего трения (φ_i) и величиной сцепления (c_i). Построим график сопротивления сдвигу последовательно для всех грунтов по глубине массива (рис.1).

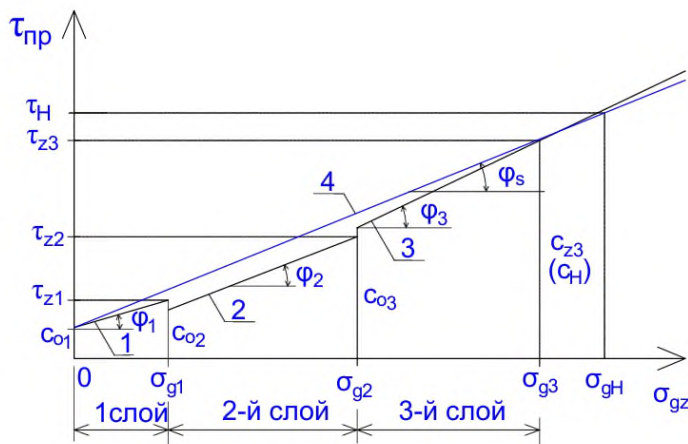


Рисунок 1– График предельного сопротивления сдвигу квазиоднородного массива грунтов

Теория

Так как все слои грунта в массиве работают как одно целое, то и массив, в целом, можно представить как квазиоднородный, с характерными для него средневзвешенными прочностными параметрами (c и φ).

Величина угла внутреннего трения грунтов массива будет равна средневзвешенному значению, определяемому по зависимости [5,6]

$$\varphi_s = \frac{\varphi_1 h_1 + \varphi_2 h_2 + \varphi_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (1)$$

При построении графика сопротивления сдвигу квазиоднородного массива величина удельного сцепления (c_o) принимается равной для первого от поверхности слоя грунта.

Приведем массив, приведенный на рис.1 к квазиоднородному.

Величина собственного веса грунтов (σ_{gz}) по глубине (z) массива в случае квазиоднородного грунта, определится согласно зависимости

$$\sigma_{gz} = \gamma^{sr} \cdot z, \quad (2)$$

где γ^{sr} – объемный вес грунта в квазиоднородном массиве, принимаемый равным

$$\gamma^{sr} = \frac{\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i}{H} \quad (3)$$

Величина предельного сопротивления сдвигу ($\tau_{H\sigma}$), численно равная величине изменяющегося сцепления ($c_{H\sigma}$) по глубине массива H , будет равна

$$\tau_{H\sigma}(c_{H\sigma}) = \sigma_{gH} \cdot \text{tg } \varphi_s + c_o, \quad (4)$$

где: $\tau_{H\sigma} = \tau_{прH}$ – величина предельного сопротивления сдвигу на глубине H при действии собственного веса вышележащих слоев грунта, равного σ_{gH} ;

$c_{H\sigma}$ – величина переменного сцепления в квазиоднородном массиве на глубине H при действующей гравитационной нагрузке σ_{gH} ;

σ_{gH} – давление от собственного веса грунта в квазиоднородном массиве на глубине H ;

c_o – величина удельного сцепления первого от поверхности земли слоя грунта.

Расчетная схема откоса, в соответствии с предлагаемой методикой расчета приведена на рис.2.

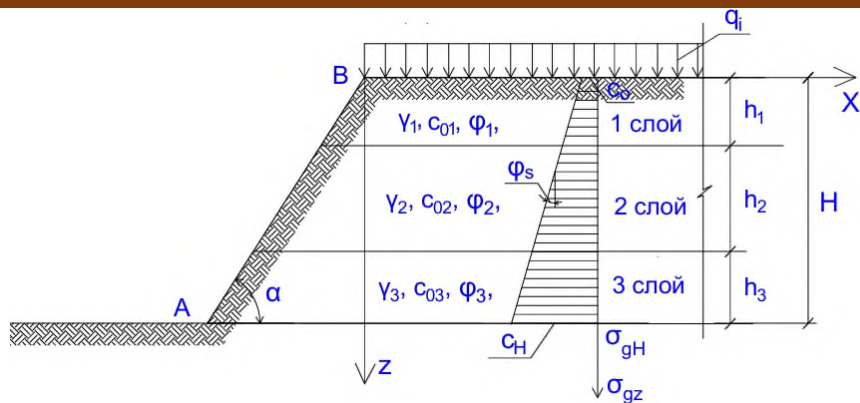


Рисунок 2 – Расчетная схема для расчета устойчивости откоса с изменяющимся сцеплением грунта по глубине массива

При действии на верхней поверхности откоса дополнительной равномерно распределенной нагрузки (q_i), расчетная схема примет вид, представленный на рис.3 [12].

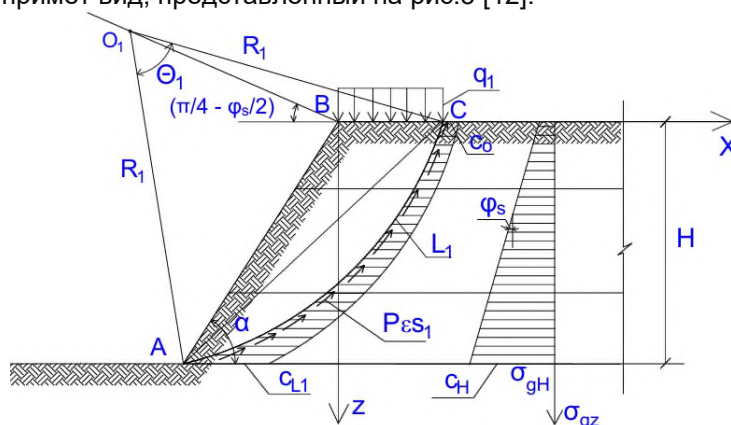


Рисунок 3 – Расчетная схема построения круглоцилиндрической поверхности скольжения при изменяющемся сцеплении по глубине массива, где: O_1, O_2, O_3 - центры поверхностей скольжения, определяемых по существующим методикам расчета, H - высота откоса, R_1 и L_1 - соответственно радиус и длина дуги наивероятнейшей поверхности скольжения с центром в точке O_1 .

Устойчивость откоса будем рассчитывать по методу круглоцилиндрической поверхности скольжения (метод Петерсона, 1916 г.), при этом, сама линия наивероятнейших центров поверхностей скольжения, по аналогии с [2,3,4,8], будет приниматься на прямую, проведенной под углом $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2})$ к верхней горизонтальной поверхности откоса. Рассматриваемый откос составляет угол (α) к горизонту, и его высота равна (H), как показано на рис.4.

Проведем из точки A перпендикуляр до пересечения с верхней горизонтальной поверхностью откоса. При этом получим отрезок DB , равный

$$DB = H \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) = H \cdot \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) . \quad (5)$$

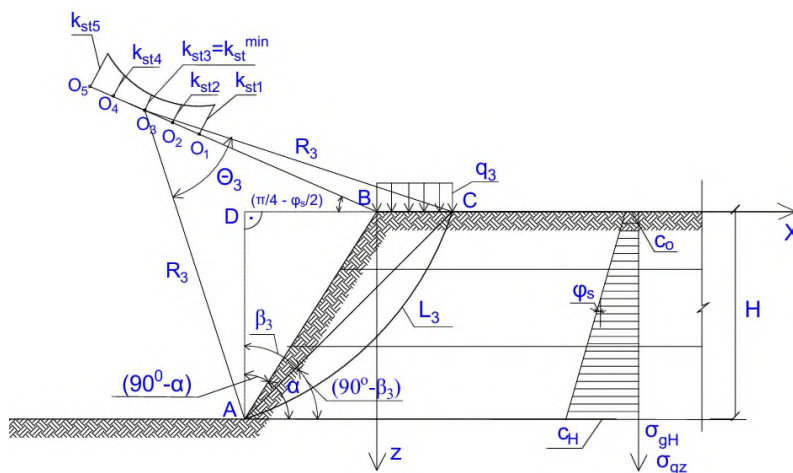


Рисунок 4 – Определение наивероятной поверхности скольжения склона для поверхности скольжения с центром в точке O_3

Длина поверхности скольжения (L), (дуга \overline{AC}) будет равна

$$\overline{AC} = L = \frac{\pi R_1 \cdot \theta^0}{180^0} = 0,01745 \cdot R_1 \cdot \theta^0, \quad (6)$$

где R – значение радиуса круглоцилиндрической поверхности скольжения;

θ^0 – значение центрального угла дуги \overline{AC} .

При этом длина отрезка (хорды) AC , соединяющей границы дуги \overline{AC} (L_1) определится по формуле:

$$AC = 2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}. \quad (7)$$

При расчете устойчивости строится первая круглоцилиндрическая поверхность скольжения с центром в точке O_1 , принимаемая на линии, проведенной под углом $\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2}\right)$ к горизонту и отстоящей от точки B на расстоянии $(0,25 - 0,4) \cdot H$.

Значение косинуса угла β_1 на рис.1 определится из ΔADC :

$$\cos \beta_1 = \frac{AD}{AC} = \frac{H}{(2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2})}, \quad (8)$$

откуда угол β будет равен

$$\beta_1 = \arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \quad (9)$$

Отрезок DC определится из зависимости

$$DC = AD \cdot \operatorname{tg} \beta_1 = H \cdot \operatorname{tg} \left[\arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \right] \quad (10)$$

Площадь оползневого массива (S_{ABCL}), в соответствии с выполненными построениями, будет равна (рис.1):

$$S_{ABCL} = S_{ADC} + S_{ACL} - S_{ADB}, \quad (11)$$

где: (S_{ADC}) – площадь треугольника ADC , равная

$$S_{ADC} = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \operatorname{tg} \left[\arccos \left(\frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) \right]; \quad (12)$$

S_{ACL} – площадь сегмента ACL , равная

$$S_{ACL} = \frac{1}{2} \cdot R_1^2 \cdot \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^0} - \sin \theta_1^0 \right); \quad (13)$$

S_{ADB} – площадь треугольника ADB , равная

$$S_{ADB} = \frac{1}{2} H^2 \cdot \operatorname{tg}(90^0 - \alpha). \quad (14)$$

Подставив (11) – (13) в (10) и после преобразований получим:

$$S_{ABCL} = \frac{1}{2} \left\{ H^2 \left[\operatorname{tg} \left(\arccos \frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) - \operatorname{tg}(90^0 - \alpha) \right] + \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^0} - \sin \theta_1^0 \right) \cdot R_1^2 \right\}. \quad (15)$$

Объем оползневого массива (V_{ABCL}), численно равен площади (S_{ABCL}) умноженной на 1 погонный метр ширины оползня:

$$V_{ABCL} = S_{ABCL} \cdot 1 \text{ пог. м.} \quad (16)$$

По величине средневзвешенного значения объемного веса квазиоднородного грунта (γ^{sr}), определяемого по зависимости (3), с учетом зависимостей (15) и (16), определим вес оползневого массива (P_{gi}), который согласно рис.5 будет равен:

$$P_{gi} = \frac{1}{2} \cdot \gamma^{sr} \left\{ H^2 \left[\operatorname{tg} \left(\arccos \frac{H}{2R_1 \cdot \sin \frac{\theta_1}{2}} \right) - \operatorname{tg}(90^0 - \alpha) \right] + \left(\frac{\pi \theta_1^0}{180^0} - \sin \theta_1^0 \right) \cdot R_1^2 \right\} \quad (17)$$

При условиях $k_{sti} \geq k_{st}^{min}$ устойчивость откоса относительно выбираемых центров вращения O_i будет обеспечена.

Численное решение задачи устойчивости откоса

Для численного решения задачи рассмотрен откос, состоящий из трех слоев грунта природного залегания со следующими физическими показателями (характеристиками):

1-й слой – супесь: мощность слоя $h_1 = 3,00$ м, сцепление на поверхности земли $c_{01} = 0,017$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi_1 = 29^\circ$, плотность грунта $\gamma_1 = 17$ кН/м³;

2-й слой – суглинок: мощность слоя $h_2 = 2,50$ м, сцепление на поверхности слоя $c_{02} = 0,037$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi_2 = 25^\circ$, плотность грунта $\gamma_2 = 18,2$ кН/м³;

3-й слой – глина: мощность слоя $h_3 = 4,00$ м, сцепление на поверхности слоя $c_{03} = 0,057$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi_3 = 18^\circ$, плотность грунта $\gamma_3 = 19,2$ кН/м³.

Расчетный угол откоса к горизонту – $\alpha = 60^\circ$; поверхности земли ниже и выше откоса – горизонтальные; к верхней поверхности откоса, приложена равномерно распределенная нагрузка $q = 200$ КПа.

Для выполнения расчета написана программа на программном комплексе Mathcad 15 (текст программы и полученные результаты расчета приведены ниже). Программа состоит из ряда отдельных подпрограмм-функций, в которых определяются численные значения, входящих в расчет параметров: координат x_i и y_i центров O_i круглоцилиндрических поверхностей скольжения в принятых осях x, y ; радиусы R_i ; координаты x_{Ci} точек C_i рассчитываемых поверхностей скольжения; центральные углы θ_i ; углы β_i , принимаемые между хордами AC рассчитываемых поверхностей скольжения и линией горизонта; длины L рассчитываемых поверхностей скольжения (от точек C_i до точки A (рис. 5).

В программе по значениям найденных параметров вычисляются: собственный вес оползневого массива P_{gi} ; значения дополнительно приложенной к оползневому массиву вертикальной (сдвигающей) нагрузки P_{qi} и, соответственно, коэффициент устойчивости откоса k_{sti} (в программе обозначена как k_s). Причем, коэффициент устойчивости откоса, и все входящие в формулу параметры вычисляются последовательно для 5-ти точек, равностоящих друг от друга на расстоянии 0,3H (м), а первая точка на расстоянии 0,4H на прямой, проведенной под углом $(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2})$ к верхней горизонтальной поверхности откоса. В последующем, из полученных значений коэффициентов устойчивости рассчитываемых поверхностей скольжения определяется точка с наименьшим (минимальным) значением k_{st}^{min} (в программе - k_s).

Далее, для линии, перпендикулярной к начальной прямой, также для 5-ти точек повторяется расчет по определению k_{st}^{min} . Для уточнения значения k_{st}^{min} , получения более точных координат центра круглоцилиндрической поверхности скольжения и других расчетных параметров, а также проверки численной сходимости результатов, процедура повторяется несколько раз.

Программа и результаты расчета

$$\begin{aligned}
 & \text{ORIGIN} := 1 \\
 & n := 3 \quad \alpha_{gr} := 60 \quad \varphi_{gr} := \begin{pmatrix} 29 \\ 25 \\ 21 \end{pmatrix} \quad c_0 := 0.017 \quad \gamma := \begin{pmatrix} 17 \\ 18.2 \\ 19.1 \end{pmatrix} \quad h := \begin{pmatrix} 3 \\ 2.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \varphi := \frac{\pi}{180} \cdot \varphi_{gr} \quad \alpha := \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_{gr} \\
 & \quad \quad \quad qi := 200 \\
 & H := \sum_{i=1}^n h_i \quad \varphi_s := \frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i h_i)}{H} \quad \gamma_s := \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_i h_i)}{H} \quad zA := H \quad xA := -H \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \quad zC := 0 \\
 & \nu := \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_s}{2} \quad i := 1..5 \quad x_i := -(i \cdot 0.3 + 0.1) H \quad z_i := x_i \cdot \tan(\nu) \quad Rr(i, x, z) := \sqrt{(x_i - xA)^2 + (z_i - zA)^2} \\
 & R_i := Rr(i, x, z) \quad xr(i, x, z, R) := x_i + \sqrt{R_i^2 - (z_i - zC)^2} \quad xC_i := xr(i, x, z, R) \quad \beta_r(i, xC) := \text{atan}\left(\frac{zA}{xC_i - xA}\right) \\
 & \quad \quad \quad \beta_i := \beta_r(i, xC) \\
 & \theta_r(i, x, z, xC) := 2 \cdot \text{asin}\left[\frac{\sqrt{(xA - xC_i)^2 + (zA - zC)^2}}{2 \sqrt{(x_i - xA)^2 + (z_i - zA)^2}}\right] \quad \theta_i := \theta_r(i, x, z, xC) \quad Lr(i, R, \theta) := R_i \theta_i \quad L_i := Lr(i, R, \theta)
 \end{aligned}$$

$$kst(i, R, \beta, \theta, L) := \left| \begin{array}{l} Pgi \leftarrow \frac{\gamma^S}{2} \left[H^2 \left(\tan \left(\arccos \left(\frac{H}{2 R_i \sin \left(\frac{\theta_i}{2} \right)} \right) \right) - \tan \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right) + (R_i)^2 (\theta_i - \sin(\theta_i)) \right] \\ Pqi \leftarrow qi \left[H \left(\tan \left(\arccos \left(\frac{H}{2 R_i \sin \left(\frac{\theta_i}{2} \right)} \right) \right) - \tan \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right) \right] \\ kst_i \leftarrow \frac{(Pgi + Pqi) \cos(\beta_i) \tan(\varphi_s) + L_i \left(c_0 + \frac{\gamma^S}{2} L_i \tan(\varphi_s) \right)}{(Pgi + Pqi) \sin(\beta_i)} \end{array} \right.$$

$$ks_j := kst(i, R, \beta, \theta, L) \quad z1(x, z, ks) := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..4 \\ kstmin \leftarrow ks_{j+1}, k \leftarrow j + 1 \text{ if } ks_j - ks_{j+1} \geq 0 \\ z1 \leftarrow z_k, z2 \leftarrow x_k \cdot \tan \left(\nu - \frac{\pi}{2} \right) \\ z1 \leftarrow z1 - z2 \\ (z1 \ k) \end{array} \right. \quad ks = \begin{pmatrix} 1.4546 \\ 1.3427 \\ 1.2926 \\ 1.2786 \\ 1.286 \end{pmatrix}$$

$$z1(x, z, ks) = (-27.1611 \ 4) \quad z11 := z1(x, z, ks)_{1,1} \quad z11 = -27.1611 \quad k := z1(x, z, ks)_{1,2} \quad k = 4$$

$$ks_k = 1.2786 \quad x_k = -12.35 \quad z_k = -7.9318 \quad R_k = 18.7349 \quad \theta_k = 0.7585 \quad xC_k = 4.623 \quad L_k = 14.2097$$

$$j := 1..5 \quad x_j := -(j \cdot 0.3 + 0.1) H \quad z_j := x_j \cdot \tan \left(\nu - \frac{\pi}{2} \right) + z11 \quad R_j := Rr(j, x, z) \quad ks = \begin{pmatrix} 2.4465 \\ 1.9247 \\ 1.5103 \\ 1.2786 \\ 2.3296 \end{pmatrix}$$

$$xC_j := xr(j, x, z, R) \quad \beta_j := \beta r(j, xC) \quad \theta_j := \theta r(j, x, z, xC) \quad L_j := Lr(j, R, \theta) \quad ks_j := kst(j, R, \beta, \theta, L) \quad ks =$$

$$+ \quad z0(x, z, ks) := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..4 \\ kstmin \leftarrow ks_{j+1}, k \leftarrow j + 1 \text{ if } ks_j - ks_{j+1} \geq 0 \\ z1 \leftarrow z_k, z2 \leftarrow x_k \cdot \tan(\nu) \\ z1 \leftarrow z1 - z2 \\ (z1 \ k) \end{array} \right.$$

$$z0(x, z, ks) = (0 \ 4) \quad z11 := z0(x, z, ks)_{1,1} \quad z11 = 0 \quad k := z0(x, z, ks)_{1,2} \quad k = 4$$

$$ks_k = 1.2786 \quad x_k = -12.35 \quad z_k = -7.9318 \quad R_k = 18.7349 \quad \theta_k = 0.7585 \quad xC_k = 4.623 \quad L_k = 14.2097$$

$$j := 1..5 \quad x_j := -(j \cdot 0.02 + 1.25) \cdot H \quad z_j := x_j \cdot \tan(\nu) + z11 \quad R_j := Rr(j, x, z) \quad ks = \begin{pmatrix} 1.27887 \\ 1.27868 \\ 1.27858 \\ 1.27858 \\ 1.27866 \end{pmatrix}$$

$$xC_j := xr(j, x, z, R) \quad \beta_j := \beta r(j, xC) \quad \theta_j := \theta r(j, x, z, xC) \quad L_j := Lr(j, R, \theta) \quad ks_j := kst(j, R, \beta, \theta, L) \quad ks =$$

$$z1(x, z, ks) = (-27.7879 \ 4) \quad z11 := z1(x, z, ks)_{1,1} \quad z11 = -27.7879 \quad k := z1(x, z, ks)_{1,2} \quad k = 4$$

$$ks_k = 1.2786 \quad x_k = -12.635 \quad z_k = -8.1148 \quad R_k = 19.0107 \quad \theta_k = 0.7442 \quad xC_k = 4.5567 \quad L_k = 14.1475$$

$$j := 1..5 \quad x_j := -(j \cdot 0.01 + 1.32) \cdot H \quad z_j := x_j \cdot \tan \left(\nu - \frac{\pi}{2} \right) + z11 \quad R_j := Rr(j, x, z) \quad ks = \begin{pmatrix} 1.27858 \\ 1.27733 \\ 1.27674 \\ 1.27688 \\ 1.27779 \end{pmatrix}$$

$$xC_j := xr(j, x, z, R) \quad \beta_j := \beta r(j, xC) \quad \theta_j := \theta r(j, x, z, xC) \quad L_j := Lr(j, R, \theta) \quad ks_j := kst(j, R, \beta, \theta, L) \quad ks =$$

$$z0(x, z, ks) = (0.4179 \ 3) \quad z11 := z0(x, z, ks)_{1,1} \quad z11 = 0.4179 \quad k := z0(x, z, ks)_{1,2} \quad k = 3$$

$$ks_k = 1.2767 \quad x_k = -12.825 \quad z_k = -7.819 \quad R_k = 18.8102 \quad \theta_k = 0.7412 \quad xC_k = 4.2831 \quad L_k = 13.9428$$

$$\begin{aligned}
 j &:= 1..5 & x_j &:= -(j \cdot 0.005 + 1.22) \cdot H & z_j &:= x_j \cdot \tan(\nu) + z_{11} & R_j &:= Rr(j, x, z) \\
 xC_j &:= xr(j, x, z, R) & \beta_j &:= \beta r(j, xC) & \theta_j &:= \theta r(j, x, z, xC) & L_j &:= Lr(j, R, \theta) & ks_j &:= kst(j, R, \beta, \theta, L) & ks = \\
 z1(x, z, ks) &= (-25.3852 \quad 3) & z_{11} &:= z1(x, z, ks)_{1,1} & z_{11} &= -25.3852 & k &:= z1(x, z, ks)_{1,2} & k = 3 \\
 ks_k &= 1.2752 & x_k &= -11.7325 & z_k &= -7.1173 & R_k &= 17.753 & \theta_k &= 0.7987 & xC_k &= 4.5313 & L_k &= 14.1787
 \end{aligned}
 \begin{pmatrix} 1.27521 \\ 1.2752 \\ 1.27519 \\ 1.2752 \\ 1.27521 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 j &:= 1..5 & x_j &:= -(j \cdot 0.001 + 1.255)H & z_j &:= x_j \cdot \tan\left(\nu - \frac{\pi}{2}\right) + z_{11} & R_j &:= Rr(j, x, z) \\
 xC_j &:= xr(j, x, z, R) & \beta_j &:= \beta r(j, xC) & \theta_j &:= \theta r(j, x, z, xC) & L_j &:= Lr(j, R, \theta) & ks_j &:= kst(j, R, \beta, \theta, L) & ks = \\
 z0(x, z, ks) &= (0.8984 \quad 3) & z_{11} &:= z0(x, z, ks)_{1,1} & z_{11} &= 0.8984 & k &:= z0(x, z, ks)_{1,2} & k = 3 \\
 ks_k &= 1.2732 & x_k &= -11.951 & z_k &= -6.7771 & R_k &= 17.5144 & \theta_k &= 0.7953 & xC_k &= 4.1991 & L_k &= 13.93
 \end{aligned}
 \begin{pmatrix} 1.273229 \\ 1.27322 \\ 1.273219 \\ 1.273227 \\ 1.273243 \end{pmatrix}$$

Выводы

1) При расчете устойчивости откоса, многослойный массив грунтов приводится к квазиоднородному с определением средневзвешенных значений углов внутреннего трения (φ_s) и объемного веса (γ^{sr}) грунтов, слагающих массив.

2) Для квазиоднородного массива строится обобщенный (интегральный) график предельного сопротивления сдвигу. При этом величина удельного сцепления грунта (c_0) на верхней горизонтальной поверхности откоса принимается соответствующей для первого от поверхности слоя, а значение угла внутреннего трения для квазиоднородного массива принимается равным его средневзвешенному значению (φ_s). Увеличивающееся значение сцепления (c_z) обусловлено увеличивающимся собственным весом грунта (σ_{gz}) по глубине массива.

3) Величина моментов удерживающих (M_{sr1}) и сдвигающих (M_{sa1}) сил принимается для оползневого квазиоднородного массива в целом, без деления на вертикальные блоки.

4) Учет изменяющегося значения сцепления грунта (c_z) по глубине квазиоднородного массива приводит к увеличению момента удерживающих сил (M_{sri}), что, в целом, повышает устойчивость массива.

5) Результаты численного расчета показали, что наивероятной поверхностью скольжения будет поверхность с центром в точке Оз, с полученным значением коэффициента устойчивости $k_{st}^{min} = 1,273219$.

Рецензент: Хасанов Н.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ЛПТУ им. ақад. М.С.Осими.

Литература

1. Гольдштейн М.Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. [Текст] / М.Н. Гольдштейн, С.Г. Кушнер, М.И. Шевченко. -Киев: Будивельник, 1977.- 208 с.
2. Тейлор Д. Основы механики грунтов [Текст]. –Москва: Госстройиздат, 1960.- 598 с.
3. Терцаги К. Теория механики грунтов [Текст]. –Москва: Госстройиздат, 1961.- 507 с.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов. Учебник. 4-е изд., перераб. и доп. [Текст]. -Москва: Госстройиздат, 1963. - 636 с.
5. Рахманов А.А. Консолидация слабых водонасыщенных глинистых грунтов при изменяющейся во времени высоте массива. [Текст] // В сб. Политехнический вестник. Сер. Инженерные исследования, 2023. № 3 (63). -Душанбе: ТТУ им. М.С.Осими, 2023.- С. 154-161.
6. Рахманов А.А. Консолидация массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов во времени. [Текст] // Сб. трудов Междун. научно-практ. конф. «Современные достижения и актуальные проблемы в науках о земле». - Душанбе: ТНУ, 2024. - С. 344 – 349.
7. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник. [Текст] / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартиросян, С.Н. Чернышов. -Москва: Издательство АСВ, 1994. -527 с.
8. Харр М.Е. Основы теоретической механики грунтов. [Текст]. –Москва: Стройиздат, 1971. -320 с.
9. Тер-Мартиросян З.Г. Механика грунтов. [Текст]. -Москва: Изд. АСВ, 2009.- 553 с.
10. Негматов Т.А. К расчету фундаментных плит на случайно-неоднородном основании комбинированного типа. [Текст] /Т.А. Негматов, А.Д. Рахмонов. //Вестник Таджикского технического университета. 2012. №1 (17). - Душанбе: ТТУ им. М.С.Осими, 2012. С. 84-86.

11. Негматов Т.А. Сравнение расчетных положений строительных норм и правил стран ЦА по сейсмостойкому строительству. [Текст] // Политехнический вестник. Сер. Инженерные исследования. 2024. №3 (67). -Душанбе: ТТУ им. М.С.Осими, 2024. С. 55-62.

12. Чеботарев Г.П. Механика грунтов, основания и земляные сооружения. [Текст]. –Москва: Стройиздат, 1968.- 616 с.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|---|---|
| Комилов Одина Комилович доктори илмҳои техники, профессор | Комилов Одина Комилович доктор технических наук, профессор | Komilov Odina Komilovich doctor of technical sciences, professor |
| Донишгоҳи миллии Тоҷикистон | Таджикский национальный университет | Tajik National University |
| TJ | RU | EN |
| Негматов Темур Олимович номзади илмҳои техники, дотсент | Негматов Темур Алимович кандидат технических наук, доцент | Negmatov Temur Alimovich candidate of technical sciences, associate professor |
| Институти геология, сохтмони бо заминчунбӣ тововар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана | Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| teneal7@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Рахманов Азим Абдуллаевич номзади илмҳои техники, дотсент | Рахманов Азим Абдуллаевич кандидат технических наук, доцент | Rakhmanov Azim Abdullaevich candidate of technical sciences, associate professor |
| Институти геология, сохтмони бо заминчунбӣ тововар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана | Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| r.azim55@mail.ru | | |

ВЛИЯНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕШАННЫХ ЦЕМЕНТОВ

А.А. Акрамов, А.М. Абдуганиев, Я.Г. Назиров, А.К. Муминов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведены результаты влияния минеральных добавок из трепела, аргиллита, золы и доменного шлака на прочность бетона, путем термической обработки этих добавок при относительно не высоких температурах, приводящих к структурным изменениям в составе бетона.

Ключевые слова: трепел, аргиллит, зола, шлак, бетон, прочность, цемент.

ТАЪСИРИ ИЛОВАҲОИ МИНЕРАЛИИ СИЛИКАТИ АЛЮМИНИЙ ДАР ИСТЕҲСОЛИ СЕМЕНТҲОИ ОМЕХТА

А.А. Акрамов, А.М. Абдуганиев, Я.Г. Назиров, А.К. Муминов

Дар мақола натиҷаҳои таъсири иловаҳои маъдани трепели, санги хокистар, хокистар ва шлаки домна ба мустаҳкамии бетон тавассути коркарди гармии ин иловаҳо дар ҳарорати нисбатан паст оварда шудааст, ки боиси тағйироти сохтори таркиби бетон мегардад.

Калидвожаҳо: трепел, аргиллит, хокистар, шлак, бетон, мустаҳкамӣ, семент.

INFLUENCE OF ALUMINUM SILICATE MINERAL ADDITIVES IN THE PRODUCTION OF MIXED CEMENTS

A.A. Akramov, A.M. Abduganiev, Ya.G. Nazirov, A.K. Muminov

The article presents the results of the influence of mineral additives from tripoli, mudstone, ash and blast furnace slag on the strength of concrete, through heat treatment of these additives at relatively low temperatures, leading to structural changes in the composition of concrete.

Key words: tripoli, argillite, ash, slag, concrete, strength, cement.

Введение

Цементная отрасль является одной из основополагающих в строительной индустрии, так как при производстве цемента расходуется огромное количество энергии, а также природных ресурсов. Для того, чтобы снизить эти расходы, последнее время всё больше стараются, внедряют новейшие инновационные технологии. [1-2]. Одним из таких методов, которое является наиболее эффективным – это введение активных минеральных добавок в состав цемента с уменьшением содержания клинкера. [3-4, 6-19]. В данном исследовании рассматриваются перспективы использования алюмосиликатных добавок, которые являются побочными продуктами местного производства и обладают гидравлическими свойствами.

Поставленная цель данной работы заключается в изучении возможного применения в состав композитных вяжущих малоактивных природой и искусственной минеральной добавки, и разработке методов увеличения их активности.

Материалы и методы исследования

При проведении научных исследований применялись минеральные добавки предоставленных предприятиями ООО «Хуаксин Гаюр - цемент» и ООО «Мохир - цемент». Химический состав этих минеральных добавок приведены в таблице 1 [11].

Таблица 1 – Химический состав минеральных добавок.

| Материал | Содержание, % | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-----------------|------------------|-------------------|-------|
| | ППШ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | Сумма |
| Трепел | 6,93 | 75,94 | 7,81 | 5,03 | 0,91 | 1,13 | 0,08 | 1,31 | 0,25 | 99,91 |
| Аргиллит коричневый | 4,23 | 66,09 | 13,22 | 6,47 | 1,64 | 3,04 | 0,04 | 0,85 | 3,30 | 99,67 |
| Аргиллит серый | 4,05 | 56,31 | 14,34 | 8,31 | 6,56 | 4,75 | 0,29 | 1,42 | 2,48 | 99,8 |
| Зола Фон- Ягноба | 2,69 | 59,73 | 27,36 | 5,17 | 1,63 | 0,58 | 0,03 | 0,61 | 0,41 | 99,39 |
| Зола Шуробода | 5,4 | 45,88 | 24,37 | 11,35 | 2,08 | 0,54 | 1,22 | 0,62 | 0,11 | 91,68 |
| Шлак доменный | - | 35,53 | 8,61 | 0,84 | 39,67 | 11,51 | 1,37 | 0,48 | 0,40 | 98,4 |
| Шлак конвертный | 1,7 | 1,86 | 3,85 | 4,87 | 0,30 | 5,39 | 0,13 | - | - | 98,1 |

От минералогического состава, от типов химических связей и от физического состояния компонентов минеральной добавки зависит её гидравлическая активность, особенно при взаимодействии их с оксидом кальция.

Используя программу Crystallographica Search-Match и метод рентгенофазного анализа был определен фазовый состав этих добавок. На рисунке 1 приведены эти рентгенограммы.

Исследования возможного повышения активности этих минеральных добавок проводилось путём их термической обработки при относительно низких температурах, что приводило к структурным изменениям в составе материала.

Было установлено, что если обжигать минеральную добавку до 600 °С, то можно получить во первых разделение каолинита ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) в аргиллитах с появлением метакеолина ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), во вторых появление дегидратации $Ca(OH)_2$ поверхности кремнезема, также природных гидратов в трепеле, в третьих, в конвертируемом шлаке происходит дегидратация гидроксида кальция и в четвертых происходит плавление стеклофазы доменного шлака. При более высокой температуре (до 900 °С) в доменном шлаке происходит кристаллизация минералов: мервинита ($3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$), окерманита ($2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$) и геленита ($2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$).

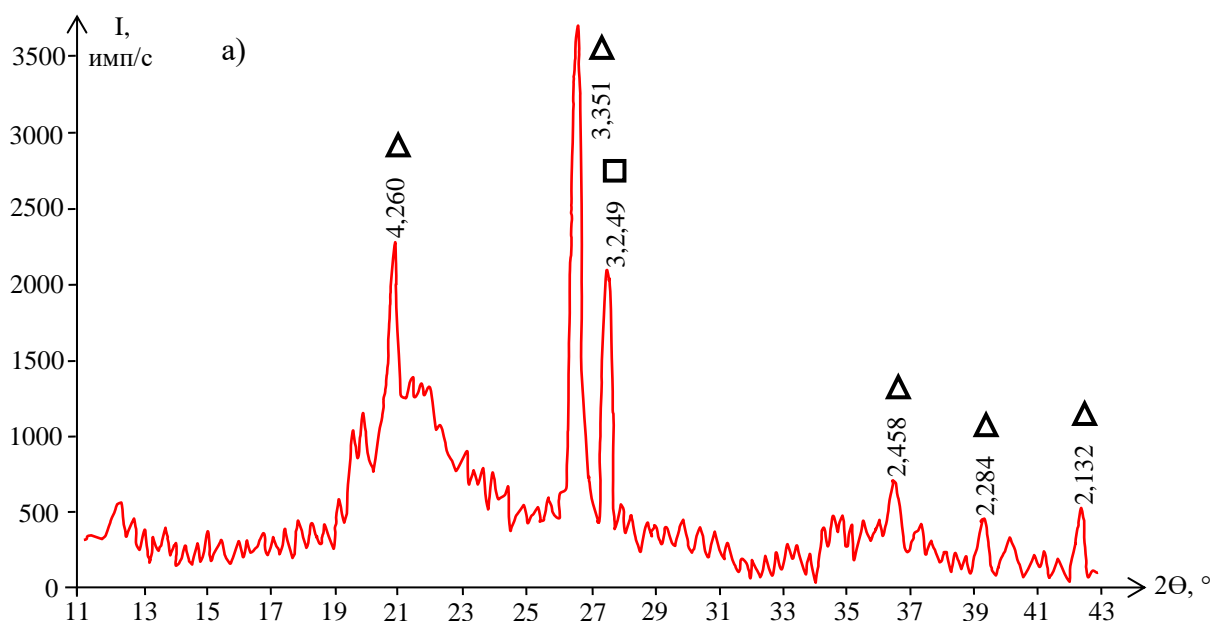
Разными методиками определяли активность исходной и термообработанной исследуемой минеральной добавки:

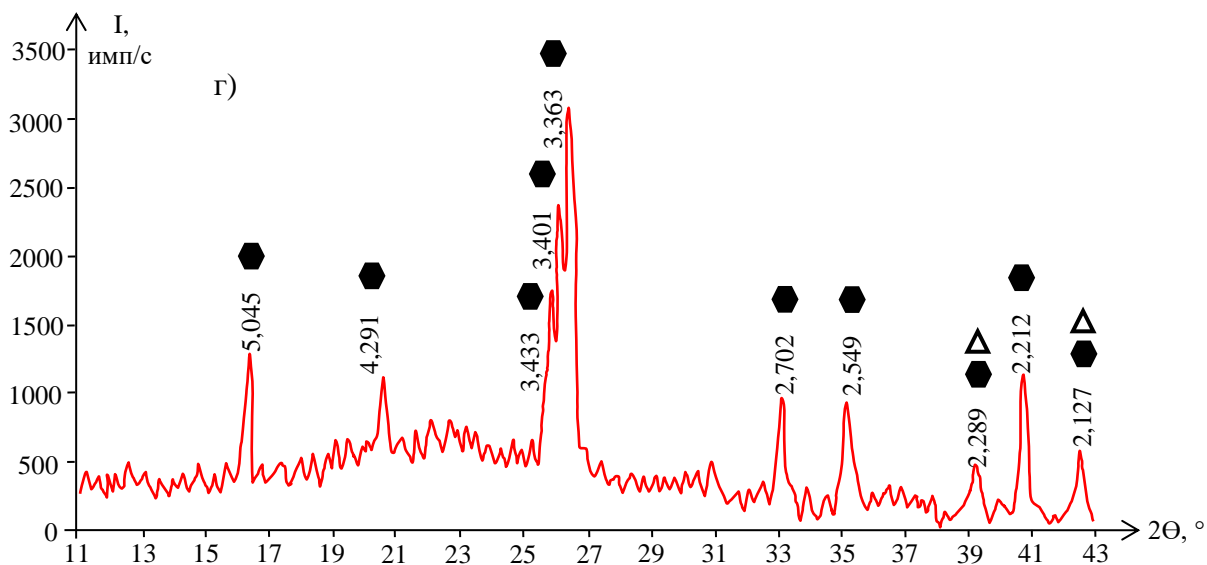
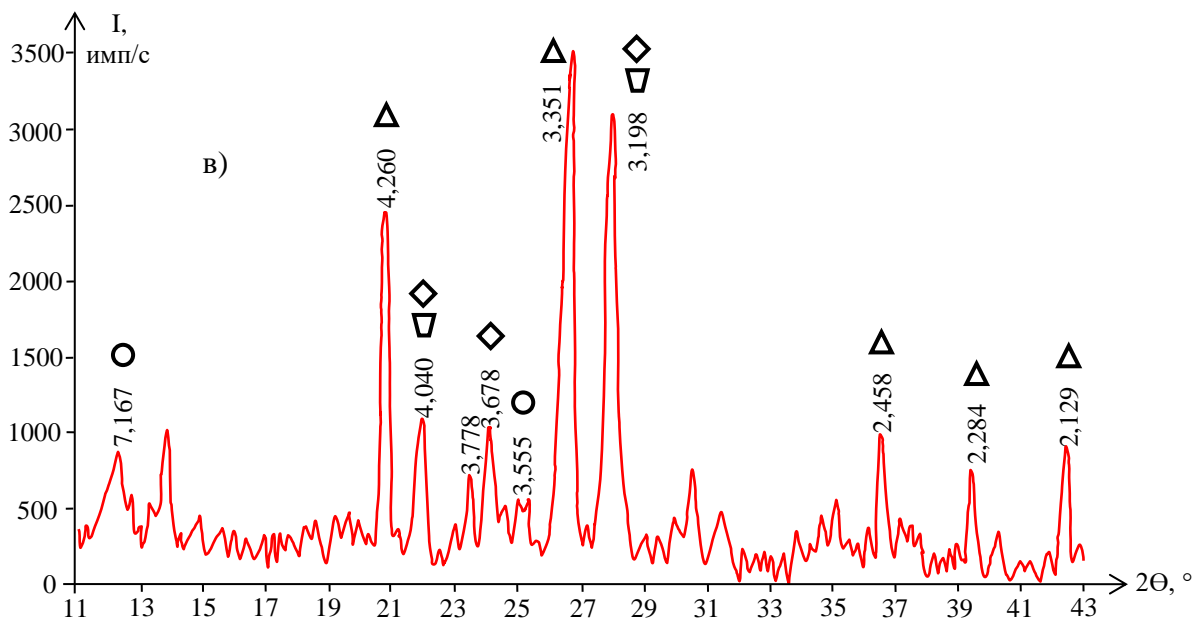
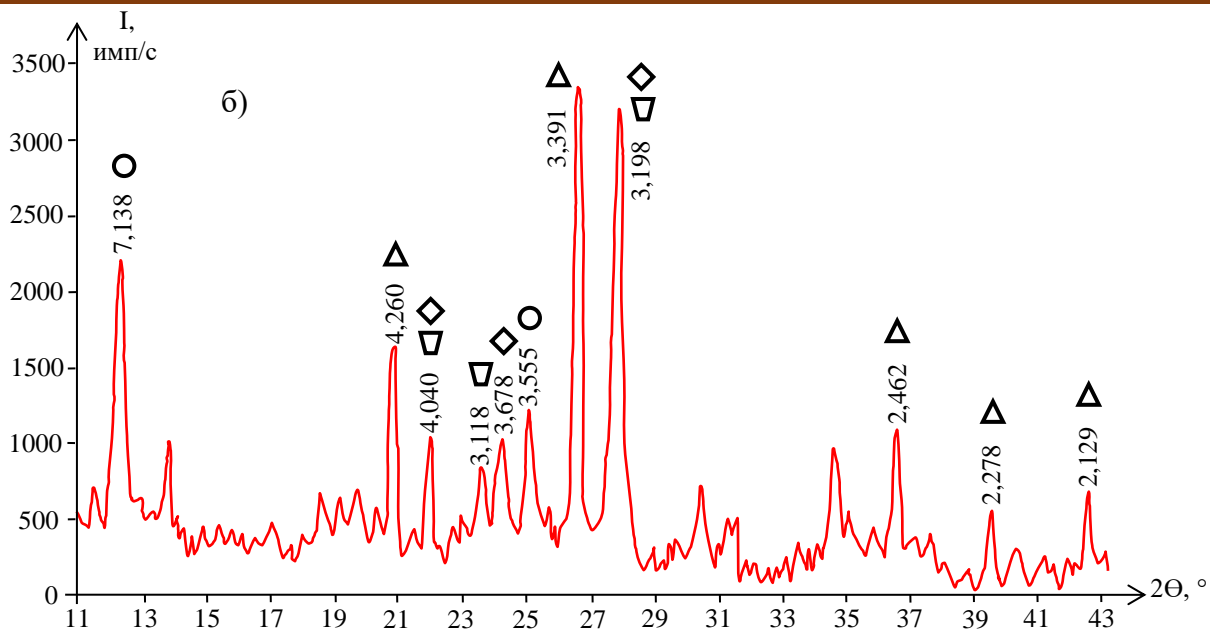
1) методом ускоренного поглощения извести из насыщенного известкового раствора с концентрацией CaO 1,2 г/л;

2) испытанием на прочность по активности, согласно ГОСТу 25094-94 “Добавки активные минеральные для цементов”.

Обсуждение

Два метода использовались при оценке активности минеральных добавок: ускоренный метод поглощения извести и испытания на активность по прочности согласно ГОСТ 25094-94. Результаты испытаний выявили некоторые противоречия, связанные с различиями в методиках. Наиболее точные данные, приближенные к реальным, можно получить при испытании гидравлической активности цементов с минеральными добавками в течении 28-дневном возрасте.





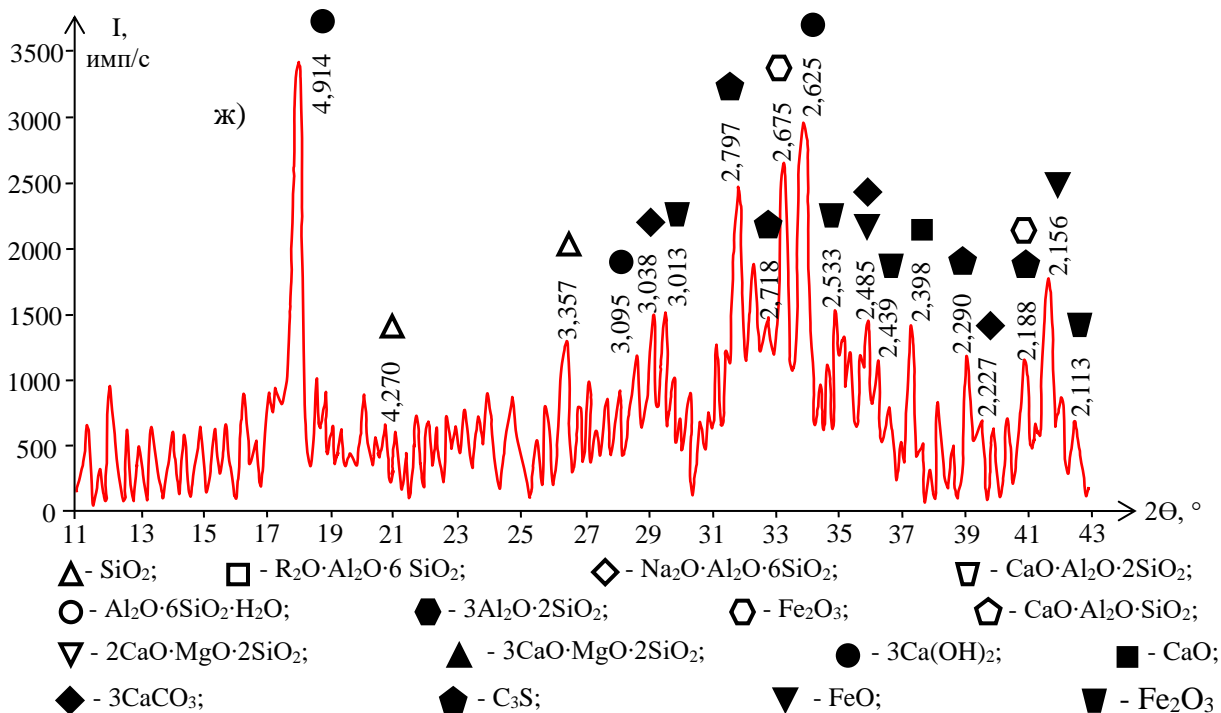
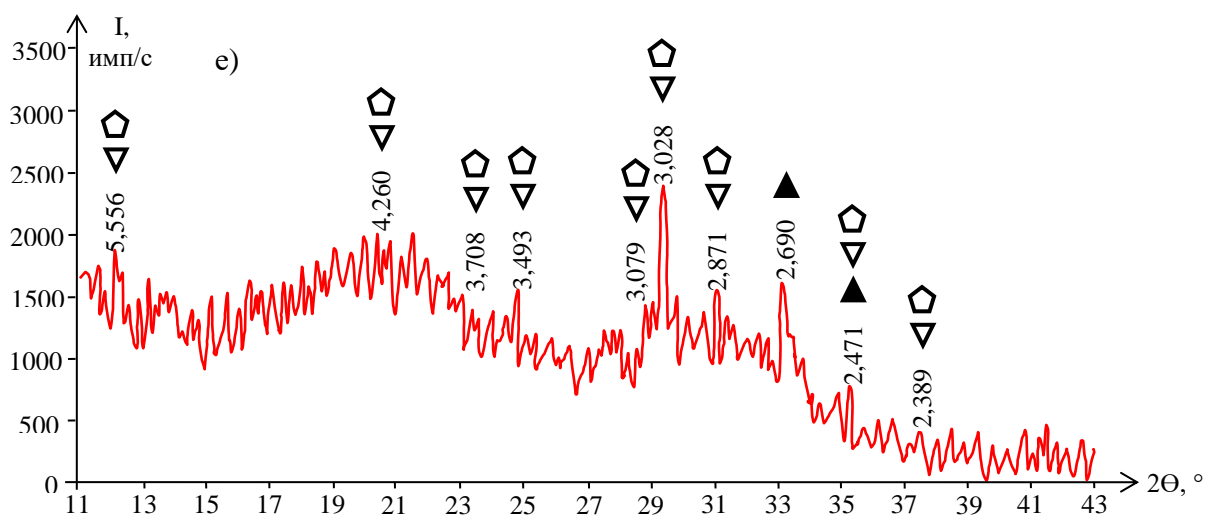
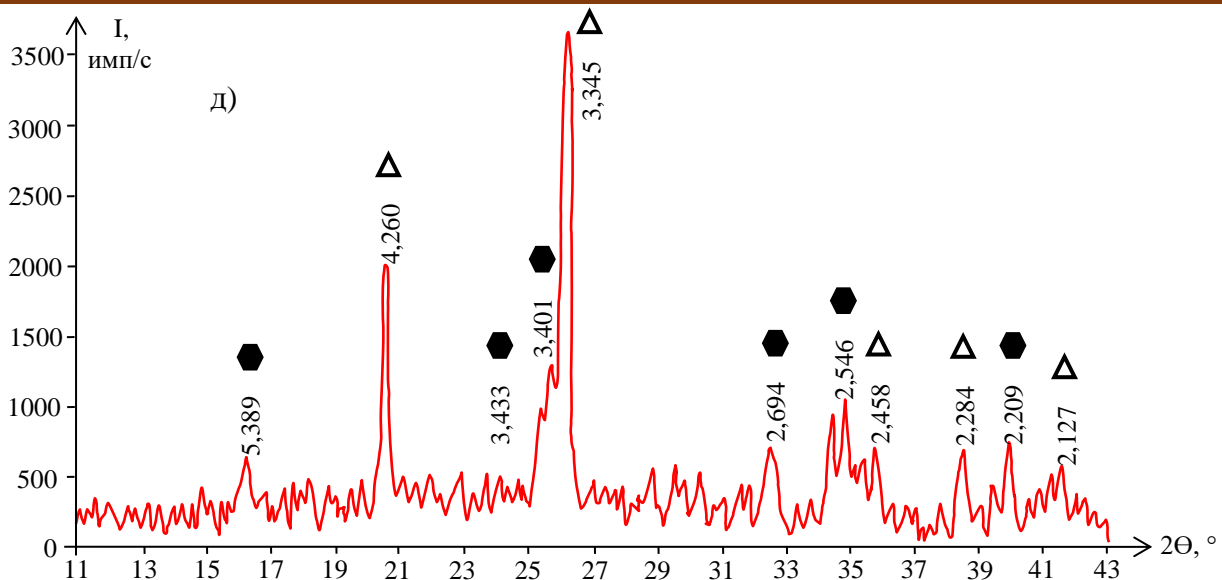


Рисунок 1 – Рентгенограммы исследуемых минеральных добавок:

а) трепел; б) серый аргиллит; в) коричневый аргиллит; г) зола-унос Фон-Ягнобского месторождения; д) зола-унос Шуроободского месторождения; е) шлак доменный НЛМК; ж) шлак конвертерный НЛМК.

Испытания на сравнения прочностных характеристик проводили на цементных образцах, изготовленных из цемента марки ЦЕМ I / 425 Н предприятия ООО «Хуаксин Гаюр - цемент» и ООО «Мохир - цемент» и образцах содержащих 20% минеральной добавки.

На малых образцах с размерами 1,41×1,41 см [5] проводили механические испытания из цементного теста с нормальной густотой и В/Ц = 0,28. Увеличивая В/Ц до 0,5 с добавкой трепела получили нормальную густоту цементного теста.

Результаты испытаний гидравлической активности цементных образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний гидравлической активности цементных образцов

| Цементные образцы | Предел прочности при сжатии, МПа | | |
|--|----------------------------------|-------|--------|
| | 2 сут | 7 сут | 28 сут |
| Контрольный цемент | 8,9 | 34,8 | 56,3 |
| Цем.+20 % Трепел | 6,9 | 21,5 | 39,2 |
| Цем.+20 % Трепел (600°C) | 4,7 | 18,2 | 31,5 |
| Цем.+20 % Аргиллит серый | 5,9 | 28,4 | 48,9 |
| Цем.+20 % Аргиллит серый (600°C) | 9,1 | 31,2 | 63,8 |
| Цем.+20 % Аргиллит коричневый | 9,3 | 39,9 | 55,7 |
| Цем.+20 % Аргаргиллит коричневый (600°C) | 4,9 | 30,5 | 50,7 |
| Цем.+20 % Зола Фон-Ягноба | 3,3 | 17,4 | 38,1 |
| Цем.+20 % Зола Шуробода | 8,7 | 37,3 | 63 |
| Цем.+20 % Шлак доменный | 5,2 | 28 | 60,3 |
| Цем.+20 % Шлак доменный (600°C) | 7,7 | 25,9 | 39,1 |
| Цем.+20 % Шлак доменный (900°C) | 8,1 | 8,8 | 53,9 |
| Цем.+20 % Шлак доменный (900°C) | 8,8 | 35,3 | 55,3 |
| Цем.+20 % Шлак конвертерный | 4,5 | 23,8 | 52,1 |
| Цем.+20 % Шлак конвертерный (600°C) | 9,5 | 37,4 | 59,2 |

Из таблицы видно, что наилучшим показателем прочности в 28-ми суточном возрасте при замене 20 % цемента минеральной добавкой являются цементы, содержащие серый аргиллит термомодифицированный 63,8 МПа; аргиллит коричневый 55,7 МПа; золу Фон-Ягноба 63 МПа; шлак доменный 60,3 МПа; шлак конвертерный исходный 52,1 МПа и термомодифицированный 59,2 МПа.

Выводы

Установлен положительный эффект повышения гидравлической активности минеральных добавок, заключающийся в их термической обработке, при условии образования новой активной фазы. Образование метакаолина в аргиллите сером, освобождение дополнительного СаО действующего как активизатор твердения на конвертерный шлак, образование в доменном шлаке геленита, окерманита и мервинита активных в присутствии цемента и Са(ОН)2 приводит к повышению гидравлической активности портландцемента.

Испытания показали, что использование аргиллитов Зиддийского месторождения как минеральной добавки к портландцементу является наиболее эффективным. Благодаря высокому содержанию кремнезема коричневый аргиллит, не требует дополнительной активации и демонстрирует хорошие результаты в ранние сроки твердения. Термическая обработка серого аргиллита при температуре 600 °С повышает его активность, что способствует улучшению прочностных характеристик цемента.

Дальнейшие исследования по использованию малоактивных алюмосиликатных минеральных добавок, в частности аргиллитов, необходимо проводить в направлении увеличения количества вводимых минеральных добавок, как исходных, так и термообработанных.

Рецензент: Умарзода У.Х. – к.т.н., доцент, первый заместитель председателя Комитета по Архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература

1. Коновалов В.М. Влияние условий введения минерализатора на термомодифицированные портландцементные смеси / Коновалов В.М., Чекулаев В.Г., Гликин Д.М. // Сбор. докл. Междунар. конф. «Научные технологии и инновации». – Белгород, 2014. Ч.1. С. 145-149.
2. Коновалов В.М. Термомодифицирование портландцементной сырьевой смеси / Коновалов В.М., Акуликина М.А., Перескок С.А. // Цемент и его применение. 2009. № 5. С. 102-105.
3. Фельдраппе Ф. Разработка новых цементов типа СЕМ X на основе молотого гранулированного доменного шлака, золы-уноса и портландцементного клинкера / Фельдраппе Ф., Эренберг А. // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 34-39.
4. Мальквори Дж. Пуццолановый портландцемент / Мальквори Дж. // Четвертый Международный конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1964. С. 576-585.
5. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. / Бутт Ю.М., Тимашев В.В. М.: Высшая школа, 1973. 504 с.
6. Шарифов А. Повышения прочности и снижения водопоглощения гипсобетона минерально-химическими добавками. / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х. // Журнал «Технологии бетона», серия 1-2 (№66-67), Москва: «Композит», 2012.
7. Шарифов А. Повышение прочности и коррозионно-стойкости цементосодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника. / Шарифов А., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Доклады АН Республики Таджикистан, Т.59, №5-6-, Душанбе: «Дониш», 2016. – С. 248-252.
8. Нозимова М.И. Влияние рН среды на кинетику выделения экстрагируемых веществ состава листьев и опилок чинара. / Нозимова М.И., Улукханов Ал.А., Улукханов Аз.А., Шарифов А., Акрамов А.А. // Доклады АН Республики Таджикистан, Т.59, №11-12, Душанбе: «Дониш», 2016. – С. 520-523.

9. Шарифов А. Растительное сырьё для получения эффективных органических модификаторов вяжущих веществ. / Шарифов А., Улукханов Ал.А., Субхонов Д.К., Шодиев Г.Г., Акрамов А.А. // Доклады АН Республики Таджикистан. Т.60, №5-6, Душанбе: «Дониш», 2017. – С. 259-263.

10. Шарифов А. Цементные растворы с комплексными добавками на основе подмыльного щелока. / Шарифов А., Шарипов Ф.Б., Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(40). Душанбе. 2017. – С. 75-79.

11. Шарифов А. Влияние кремнезёмсодержащего минерального наполнителя цемента на химический и фазовый составы цементного камня в бетоне. / Шарифов А., Акрамов А.А., Саидов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе. 2018. – С. 101–104.

12. Шарифов А. Коррозионностойкость бетона на цементе с кремнезёмсодержащим минеральным наполнителем. / Шарифов А. Акрамов А.А., Саидов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42). Душанбе. 2018. – С. 121–125.

13. Шарифов А. Низкомарочный керамзитобетон с воздухововлекающей химической добавкой. / Шарифов А., Шарипов Ф.Б., Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 3(42). Душанбе. 2018. – С. 70–74.

14. Шарифов А. Эффекты микронаполняющих минеральных добавок в бетоне. / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х., Хокиев М.К., Ахмедов М.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(49). Душанбе. 2020. – С. 150–154.

15. Шарифов А. Эффекты суперпластификаторов в бетонной смеси. / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х., Хокиев М.К., Ахмедов М.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(49). Душанбе. 2020. – С. 139–142

16. Шарифов А. Модифицирование цемента золой угля Фан-Ягнобского месторождения для повышения прочности бетона. / Шарифов А., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К., Ахмедов М.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(57). Душанбе. 2022. – С. 157–163.

17. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.

18. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфодерритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.

19. Абдуганиев А.М. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия. / Абдуганиев А.М., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 255-260.

**МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – AUTHORS
BACKGROUND**

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич | Акрамов Авазжон Абдуллоевич | Akramov Avazjon Abdulloevich |
| Номзади илмҳои техникӣ, дотсент | Кандидат технических наук, доцент | Candidate of technical sciences, assistant professor |
| Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi |
| E-mail: akramov.avaz@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Абдуганиев Абдумачид Мамасодиқович муаллими калон | Абдуганиев Абдумаджид Мамасодиқович Старший преподаватель | Abduganiev Abdumadzhid Mamasodikovich senior lecturer |
| Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi |
| TJ | RU | EN |
| Назирова Яҳё Гиёҳевич | Назирова Яхё Гиёҳевич | Nazirova Yahyo Giyokhevich |
| Номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсент | Кандидат технических наук, и.о. доцент | Candidate of technical sciences, assistant professor |
| Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi |
| TJ | RU | EN |
| Муминов Абдуҳаким Каримович | Муминов Абдуҳаким Каримович | Muminov Abdukhakim Karimovich |
| Номзади илмҳои техникӣ, муаллими калон | Кандидат технических наук, муаллими калон | Candidate of technical sciences, senior lecturer |
| Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi |

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И.К. Каландарбеков, У.М. Махмадиев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена выбору материала для модельных конструкций из мелкозернистого бетона. Рассматривается выбор материала для испытаний железобетонной балки с геометрическими размерами ($a=300\text{мм}$, $h=500\text{мм}$, $l=6000\text{мм}$) в масштабе 1:4, с определённым проектным классом бетона, который наиболее точно отражает напряжённо-деформированное состояние натурной конструкции с применением теории подобия. На основе литературного анализа показано, что ключевыми показателями оценки напряжённо-деформированного состояния конструкции на основе моделирования являются модуль деформации и коэффициента Пуассона. Представлены результаты подбора состава мелкозернистого бетона для модели железобетонной балки, а также определены начальный модуль деформации и другие физико-механические свойства полученного бетона. Для измерения начального модуля деформации при испытании бетонной призмы разработана специальная металлическая рамка, которая обеспечивала получение достоверных результатов при исследовании поведения бетона под нагрузкой. Приведены диаграммы зависимости напряжений от относительных деформаций мелкозернистого бетона под действием статической кратковременной нагрузки.

Ключевые слова: железобетонная балка, модельная конструкция, натурная конструкция, эксперимент, напряжённо-деформированное состояние, коэффициент Пуассона, начальный модуль деформации, мелкозернистый бетон, теория подобия.

ИСТИФОДАИ БЕТОНИ МАЙДАДОНА ҲАНГОМИ МОДЕЛСОЗИИ ФИЗИКИИ КОНСТРУКСИЯҶОИ ОҶАНУБЕТОНӢ

И.Қ. Қаландарбеков, У.М. Маҳмадиев

Мақола барои интиҳоби масолеҳи модели конструкцияҳо аз бетони майдадона баҳшида шудааст. Дар мақолаи мазкур интиҳоби масолеҳ барои санҷиши болори оҳанубетонӣ бо андозаҳои геометрии ($a=300\text{мм}$, $h=500\text{мм}$, $l=6000\text{мм}$) дар микёси (1:4) бо бетони синфи лоиҳавии муайян, ки ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирӣи конструкцияи аслро бо истифода аз назарияи монандӣ дақиқ инъикос мекунад, баррасӣ мешавад. Таҳлили адабиётҳо нишон дод, ки нишондиҳандаҳои калидии арзёбии ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирӣи конструкция дар асоси моделсозӣ ин модули чандирӣ ва зарбии Пуассон мебошанд. Натиҷаҳои интиҳоби таркиби бетони майдадона барои модели болори оҳанубетонӣ пешниҳод шуда, инчунин модули ибтидоии чандирӣ ва дигар хосиятҳои физикии механикии бетони ҳосилшуда муайян карда шудааст. Барои муайян намудани модули чандирӣи ибтидоии бетон ҳангоми санҷиши призмаи бетонӣ рамкаи махсуси металлӣ коркар карда шуд, ки ҳангоми омӯзиши рафтори бетон таҳти таъсири бори статикӣ натиҷаҳои бозғимдро таъмин намуд. Дар мақола диаграммаҳои вобастагии шиддатҳо аз деформатсияҳои нисбии бетони майдадона таҳти таъсири бори статикӣ кӯтоҳмуддат оварда шудааст.

Калидвожаҳо: болори оҳанубетонӣ, конструкцияи моделӣ, конструкцияи аслӣ, таҷриба, ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирӣ, зарбии Пуассон, модули чандирӣи ибтидоӣ, бетони майдадона, назарияи монандӣ.

APPLICATION OF FINE-GRAINED CONCRETE IN PHYSICAL MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

I.K. Kalandarbekov, U.M. Mahmadiyev

The article is devoted to the choice of material for model structures made of fine-grained concrete. We consider the choice of material for testing a reinforced concrete beam with geometric dimensions ($a=300\text{mm}$, $h=500\text{mm}$, $l=6000\text{mm}$) on a scale of 1:4, with a specific design class of concrete, which most accurately reflects the stress-strain state of the full-scale structure using the theory of similarity. Based on literature analysis, it is shown that the key indicators for assessing the stress-strain state of a structure based on modeling are the deformation modulus and Poisson's ratio. The results of selecting the composition of fine-grained concrete for a reinforced concrete beam model are presented, and the initial deformation modulus and other physical and mechanical properties of the resulting concrete are determined. To measure the initial deformation modulus when testing a concrete prism, a special metal frame was developed, which ensured that reliable results were obtained when studying the behavior of concrete under load. Diagrams are presented of the dependence of stresses on relative deformations of fine-grained concrete under the influence of a static short-term load.

Keywords: reinforced concrete beam, model structure, prototype structure, experiment, strain stressed state, Poisson's ratio, initial modulus of elasticity, fine-grained concrete, theory of similarity.

Введение

В последние годы в Республике Таджикистан развивается строительство высотных жилых домов с использованием монолитных железобетонных конструкций. Основным продуктом является бетон, а основными компонентами являются цемент, песок, щебень, и вода, которые добываются из отечественных источников, а исследование характеристик бетона считается одной из актуальных задач. Исследование железобетонных конструкций в натуральных размерах требует значительный трудозатрат и финансовых вложений. В связи с этим, возможно проведение испытаний на моделях с сохранением определенных геометрических пропорций, что осуществляется с помощью теории подобия. На основании полученных данных можно прогнозировать поведение конструкций в натурном масштабе.

Для адекватной оценки работоспособности натуральных конструкций требуется исследование материалов, применённых в масштабной модели, с последующим согласованием их характеристик с свойствами материалов оригинальной конструкции.

Одной из ключевых задач при проведении испытаний железобетонных конструкций на масштабных моделях является определение оптимального масштаба модели и подбор соответствующих материалов. Размер модели определяется условиями проведения эксперимента, возможностями

испытательного оборудования и применяемых приспособлений. Испытания проводятся в пределах упругости материала либо до достижения предельного состояния конструкции, вплоть до её разрушения.

Изучение литературы показало, что при испытаниях железобетонных конструкций на этапе упругой работы рекомендуется использовать материалы из гипса, пластика и цементного раствора. Как известно, бетон - анизотропный искусственно - каменный материал, состоящий из щебня, песка, цемента и воды количество каждого из которых в составе бетона изменяет его напряженно-деформированное состояние. Полная стадия работа бетона под нагрузкой характеризуется модулем упругости и коэффициента поперечной деформации бетона (коэффициента Пуассона).

Для оценки работоспособности натуральных конструкций на должном уровне важно провести анализ материалов, применяемых в модели, и определить степень соответствия при одинаковых коэффициентах подобия.

Несмотря на достигнутый прогресс в конструктивном проектировании, многие аспекты, касающиеся свойств строительных материалов, а также грунтов и оснований, остаются недостаточно изученными. Поведение конструктивного бетона в различных условиях окружающей среды до сих пор исследовано не в полной мере. Взаимосвязь между напряжением и деформацией чаще всего определяется на основе кратковременных одноосных испытаний, тогда как материалы в реальных конструкциях испытывают сложную зависимость, изменяющуюся со временем, и подвергаются множеству видов деформаций и резким колебаниям напряжений.

О тождественности материалов в механическом смысле и критериях тождественности приведены в работе [1], наиболее достоверный путь, при современном уровне знаний, является установление тождественности материалов в механическом смысле на основе прямого эксперимента. Два материал считается тождественным в механическом смысле, если для изготовленных из них любых одинаковых опытных образцов, при любом заданном законе загрузки, соотношения между деформациями и напряжениями остаются одинаковыми.

Результаты существующего большого количества теоретических исследований в области моделирования строительных конструкций, полученные на основе разнообразных исходных предпосылок, могут быть применены к решению практических задач лишь при условии установления минимального количества механических признаков материала, указывающих на возможность применения теории подобия с достаточной точностью. Например, для корректного применения теории упругости достаточно знать модуль упругости, коэффициент Пуассона и предел пропорциональности.

Подбор состав бетона для модельных конструкций

Подбор состав бетона модельных конструкции выполнено согласно [2], и руководству по подбору состава тяжелого бетона [3]. Состав бетона включает следующие компоненты: цемент марки М500, песок фракции 2,5–5 мм, щебень фракции 5–10 мм и вода.

Согласно [2] базовая норма расхода цемента для бетонных и железобетонных конструкций марки М500 для бетона класс В20 с учетом переходного коэффициента 0,88 от марки цемента от М400 на М500 составляет 281,6кг, а водоцементное отношение необходимо принять $C/V \approx (320 \cdot 0,88 \cdot 1,08) / 230 = 1,3223$.

1. Согласно таблице 21, [2] расход портландцемента марки М400 на 1м³ бетона класса В20 составляет 320 кг/м³.

2. Расход воды на 1 м³ бетона класса В20, по табл.14 руководству по подбору состава тяжелого бетона [3] при осадке конуса 12-16см и крупности щебня до 10мм составляет 230 л/м³.

Установив значение водоцементного отношения (C/V) для бетона класса В20 при условиях нормального твердения, равное 1,3223 проводим расчет состава на 1м³ бетона:

А) По таблице 14 [3] принимаем расход воды $V=230$ л/м³.

Б) Определяем расход цемента:

$$C_{\text{цемент}} = 230 \times 1,3223 = 304,13 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (1)$$

В) Определяем расход заполнителей в бетоне:

$$Ш_{\text{щебень}} + П_{\text{песок}} = \gamma_b - (C + V) = 2500 - (304,13 + 230) = 1965,87 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (2)$$

где γ_b -плотности чистого тяжелого бетона без учета арматуры $\gamma_b=2500$ кг/м³.

Г) По таблице 21 [3] принимаем значение r , по линейной интерполяции при крупности щебня 10 мм и расход цемента - 300 кг/м³, $r=0,43$, при расходе цемента 400 кг/м³, $r=0,4$. Согласно результатом расчета по формуле (1) коэффициент r принимаем равное 0,4288.

$$П = (Ш + П) \times r = 1965,87 \times 0,4288 = 842,96 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (3)$$

Д) Рассчитываем содержание щебня в бетоне как разность массы заполнителей и массы песка:

$$Ш = (Ш + П) - П = 1965,87 - 842,96 = 1122,91 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (4)$$

Е) Записываем номинальный состав бетона (на сухих заполнителях) в уплотненном состоянии на 1 м^3 в таблице 1:

Таблица 1 – Расход материалов для бетона класса В20 на 1 м^3

| № | Наименование компонентов бетона на 1 м^3 | | | |
|---|--|-----------|------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Цемент, кг | Песок, кг | Щебень, кг | Вода, л |
| 2 | 304,13 | 842,96 | 1122,91 | 230 |

Материалы и методика испытания бетонных кубов и призм на осевое сжатие

В лабораторных условиях в металлических формах из подобранной бетонной смеси были изготовлены образцы-кубы с ребром 100 мм для контроля прочности бетона и призмы размером $100 \times 100 \times 400$ мм для определения его модуля упругости, коэффициента Пуассона и предельных деформаций. Всего было изготовлено 3 кубов и 3 призм. Уплотнение бетона осуществлялось с учетом требования межгосударственным стандартом [4]. Испытания были проведены через 28 суток после их изготовления в лаборатории «Строительные материалы, изделия и конструкции» Государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт «Строительство и архитектура». Лаборатория соответствует требованиям национальной системы сертификации Республики Таджикистан по испытательным лабораториям согласно [5]. Данная лаборатория аккредитована и зарегистрирована в государственном реестре национальной системы сертификации Республики Таджикистан от 29 августа 2023 года за № ТЈ 762.37100.02.055-2023.

Порядок испытания и схема разрушения бетонных кубов приведены на рисунке 1, а результаты испытаний бетонных кубов, приведённые к базовым значениям, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов кубов

| № | Масса, г | Размеры кубика $a \times b \times h$, мм | Разрушающая нагрузка, кН | $\alpha=0,95$ | Прочность R, МПа | Класс бетона |
|---|----------|---|--------------------------|---------------|------------------|--------------|
| 1 | 2282 | 100x100x100 | 281.5 | 267.4 | 26.74 | В20 |
| 2 | 2258 | 100x100x100 | 282.5 | 268.4 | 26.84 | |
| 3 | 2298 | 100x100x100 | 287.1 | 272.7 | 27.27 | |
| 4 | 2256 | 100x100x100 | 265.9 | 252.6 | 25.26 | |
| Среднее значение прочности, МПа | | | | | 26.52 | |
| Среднее значение прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$ | | | | | 270.3 | |
| Средняя плотность, $\text{кг}/\text{см}^3$ | | | | | 2273.5 | |



Рисунок 1 – Испытание бетонных кубов (1-гидравлический пресс маркой ПГМ-500МГ4А, 2- разрушения бетонных кубов в момент проведения эксперимента, 3- характер разрушения серии 4-х бетонных кубов)

После определения фактического класса прочности бетона были проведены статические испытания бетонных призм для определения призмной прочности, предельных деформаций, модуля упругости и коэффициента Пуассона. На боковую грань каждой бетонной призмы были установлены механические и электронные датчики измерения деформации с ценой деления 0.001мм и тензорезисторы. Тензорезисторы приклеены с помощью клея типа Akfix-705. Место приклейки тензорезисторы обработаны наждачной бумагой и ацетоном. Испытания проводились статическим нагружением в соответствии с [6] в научно-производственной лаборатории кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими.

В соответствии с требованиями пункта 4.1 [6] призмную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона следует определить на образцах-призмах квадратного сечения или цилиндрах круглого сечения с отношением высоты к ширине (диаметру), равным 4. При этом ширина или диаметр может составлять 70, 100, 150, 200 или 300 мм. Базовый размер образца -150×150×600 мм.

Для измерения деформаций следует применять индикаторы по [7], обеспечивающие измерение деформаций с точностью не ниже 0.001мм. Допускается использовать проводниковые тензорезисторы по [8], наклеиваемые на поверхность бетона. При проведении испытаний образец нагружают ступенями по 10% его прочности, с выдержкой по 4–5 минут на каждой ступени и по завершении каждой выдержки проводятся измерения деформаций.

Модуль упругости E_b для каждого образца при уровне нагрузки - 30 % от разрушающей определяется по формуле (5):

$$E_b = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}} \quad (5)$$

где $\sigma_1 = F_1 / A$ - приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30% от разрушающей;

F_1 - соответствующее приращение внешней нагрузки;

ε_{1y} - приращение относительной продольной деформации образца, соответствующие уровню нагрузки $F_1 = 0.3 \cdot F_p$.

Стенд для испытания бетонной призмы с указанием приборов и датчиков представлен на рисунке 2.

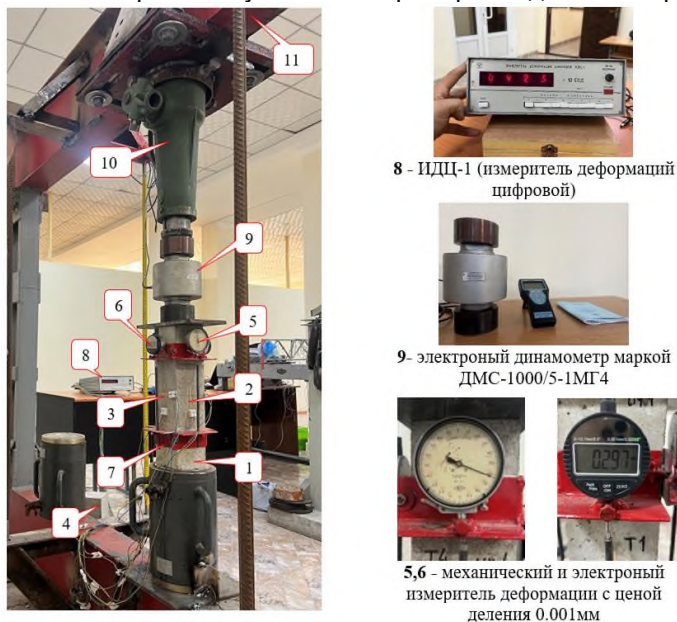


Рисунок 2 – Стенд для испытания бетонной призмы

1 – бетонная призма размером 100x100x400 мм, 2, 3 – тензорезисторы для измерения фибровых продольных и поперечных деформаций типа ПКБ с базой 50мм, 4 – призма с наклеенной компенсационной тензорезистор, 5 – механический измеритель деформации с ценой деления 0.001мм, 6 – электронный измеритель деформации с ценой деления 0.001мм, 7 – разработанная металлическая рамка для измерения продольной деформации бетонной призмы, 8 – ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой), 9 – электронный динамометр маркой ДМС-1000/5-1МГ4, 10 – винтовой механический домкрат грузоподъемностью 50 т, 11 – стенд для испытания строительных конструкций.

На рисунке 3 представлены диаграммы деформирования трёх образцов бетонных призм (П-1, П-2 и П-3), аппроксимированные с использованием полиномиальной функции, основанной на экспериментальных данных. Усреднённая диаграмма деформирования, отображающая средние значения для бетонных призм, представлена на рисунке 4.

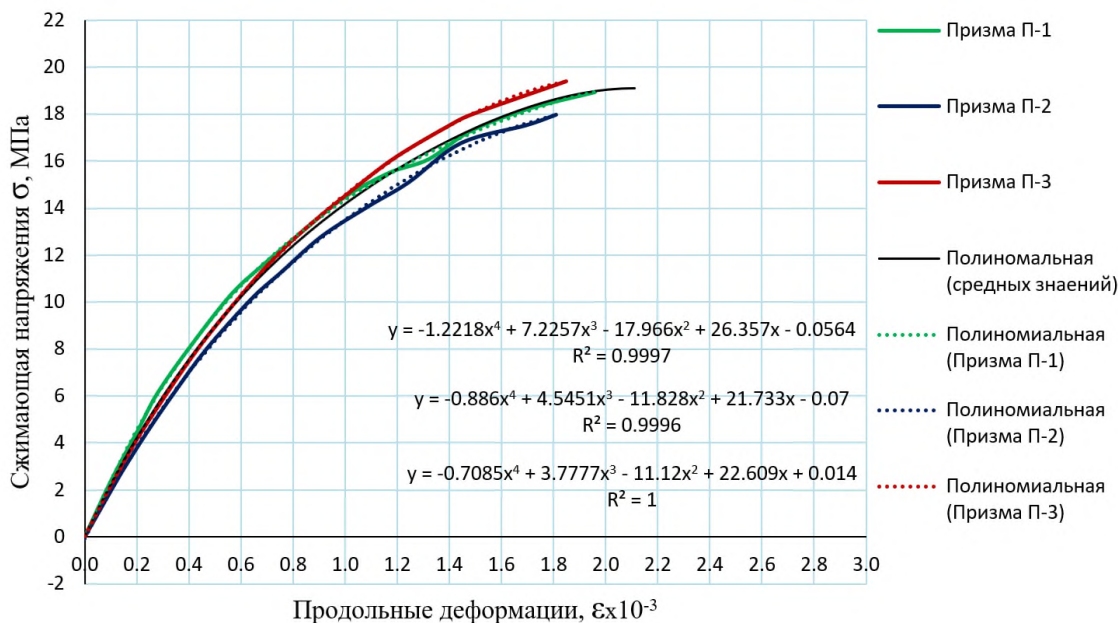


Рисунок 3 – Диаграмма деформирования бетонной призмы П-1, П-2 и П-3 с аппроксимирующими уравнениями

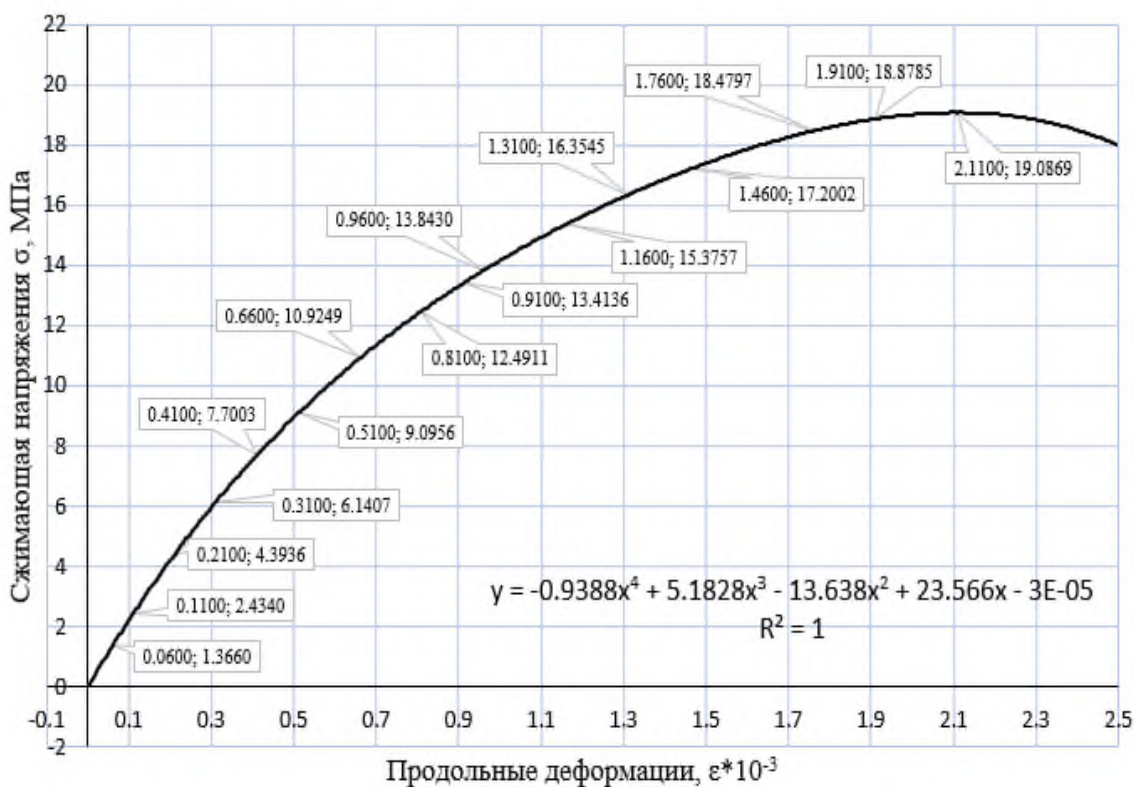


Рисунок 4 – Диаграмма деформирования усреднённых значений для бетонных призм П-1, П-2 и П-3, представленных с использованием усреднённых аппроксимирующих уравнений

Поскольку при испытании призм механические приборы фиксировали данные за 1–2 степени нагружения до их разрушения, замер предельной деформации в момент разрушения был невозможен. Для её определения применялся приближённый метод графической экстраполяции, при котором кривая деформирования, построенная по последнему замеру, плавно продолжалась до достижения напряжения, соответствующего разрушению.

Значения результаты испытаний образцов бетонных призм приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов бетонных призм

| № | Масса, г | Размеры призм $a \times b \times h$, мм | Разрушающая нагрузка, кН | $\alpha=0.95$ | Прочность R_b , МПа |
|---|----------|--|--------------------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 9195 | 100x100x400 | 194.47 | 184.74 | 18.47 |
| 2 | 9053 | 100x100x400 | 200.47 | 190.44 | 19.04 |
| 3 | 9305 | 100x100x400 | 202.96 | 192.81 | 19.28 |
| Среднее значение призмной прочности, МПа | | | | | 18.93 |
| Среднее значение призмной прочности, кг/см ² | | | | | 192.97 |
| Средняя плотность, кг/см ³ | | | | | 2296.08 |
| Среднее значение отношение R_b / R | | | | | 0.714 |

Экспериментальные значения модулей упругости, коэффициента Пуассона и предельных относительных деформаций, определённые с использованием описанной выше методики [6], представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Физико-механические свойства выбранного бетона

| № | Наименование | Показатель |
|---|--|----------------------|
| 1 | Среднее значение кубиковой прочности, МПа | 26.52 |
| 2 | Среднее значение призмной прочности, МПа | 18.93 |
| 3 | Среднее значение модуль деформации $E_b \cdot 10^3$, МПа | 20.35 |
| 4 | Среднее значение предельных относительных деформаций $\epsilon_{пр}$, отн. ед | $2.11 \cdot 10^{-3}$ |
| 5 | Среднее значение коэффициент Пуассона μ | 0.18 |

Из таблицы 4 следует, что подобранный бетон, согласно классификации, представленной в таблице 18 [9] и приложение IV [10], относится к группе Б мелкозернистых бетонов естественного твердения.

Дальнейшие исследования включают проектирование, изготовление и испытание моделей железобетонных балок в масштабе 1:4.

Вывод

Применённая методика подбора состава мелкозернистого бетона позволила точно получить качественных характеристик физико-механических свойств, установленных нормативными документами, для изготовления моделей железобетонных балок.

Экспериментальные исследования позволили определить физико-механические свойства мелкозернистого бетона, такие как модуль упругости и коэффициент Пуассона. Эти значения играют ключевую роль в оценке работы натуральных железобетонных балок на основе данных модельных испытаний, выполненных на основе теории подобия.

Анализ диаграмм деформирования усреднённых значений для бетонных призм, представленных с использованием аппроксимирующих уравнений, показывает, что подобранный бетон под нагрузкой работает по нелинейному закону деформирования. Данный показатель играет важную роль при оценке несущей способности натуральных конструкций, основанной на данных модельных испытаний и позволяет оценить поведение конструкции вплоть до стадии разрушения.

Рецензент: Зарифов С.С. – к.т.н., ст.преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство», ЛЭТИ им. академика М.С. Осими.

Литература

1. Назаров, А. Г., О механическом подобии твердых деформированных тел (к теории моделирования): Изд. Академии наук Армянской ССР, Ереван 1965. - 210с.
2. СНиП 82-02-95. Бетоны. Правила подбора состава. – М.: Минстрой России, 1995. – 48 с.
3. Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИЖБ СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 87 с.
4. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2018. – 28 с. (7 переиздание июнь 2018 года).
5. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий [Электронный ресурс]. URL: https://meganorm.ru/Data2/1/429_3782_4293782275.pdf.
6. ГОСТ 24452–2023. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data/819/81927.pdf>.

7. ГОСТ 9696-82. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294820/4294820739.pdf>.

8. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы общие технические условия [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294832/4294832051.pdf>.

9. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294854/4294854677.pdf>.

10. Байков В.Н. Железобетонные конструкции [Текст] / Байков В.Н., Сигалов Э.Е. // Общий курс. 5-е издание, переработанное и дополненное. Москва - Стройиздат, 1991. 767с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|--|--|
| Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович | Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович | Kalandarbekov Imomyorbek Kalandarbekovich |
| Доктори илмҳои техникӣ, профессор | Доктор технических наук, профессор | Doctor of Technical Sciences, professor |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осими | ТТУ имени академика Осими М.С. | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Махмадиев Усмонали Муродалиевич | Махмадиев Усмонали Муродалиевич | Mahmadiev Usmonali Murodalievich |
| Докторанти PhD | Докторант PhD | PhD student |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осими | ТТУ имени академика Осими М.С. | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: mahmadievu-21061997@mail.ru | | |

УДК 624.04

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИН МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Д.Н. Низомов, И.К.* Каландарбеков, Д.Дж.* Исвалиев, И.И.* Каландарбеков

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана

*Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье рассматривается решение динамической задачи изгиба плит с различными граничными условиями методом сосредоточенных деформаций (МСД). Исходя из математической модели исследуемого объекта, разработана компьютерная программа на языке Фортран. Получены результаты численного моделирования при различных разбиениях пластины на конечные элементы МСД. На основе численных экспериментов исследованы вопросы сходимости и точности результатов расчета.

Ключевые слова: изгиб пластины, конечный элемент, граничные условия, распределенная нагрузка, фиктивный шов, мгновенный импульс, колебания.

ҲАЛЛИ АДАДИИ МАСЪАЛАҶОИ ДИНАМИКИИ ТАХТАСАНГ БО МЕТОДИ МУТАМАРКАЗКУНОНИИ ДЕФОРМАТСИЯҶО

Ҷ.Н. Низомов, И.Қ. Қаландарбеков, Д.Ҷ. Исвалиев, И.И. Қаландарбеков

Дар мақола ҳалли масъалаҳои динамикии, қатшавии тахтасанги бо шартҳои гуногуни канорӣ бо методи мутамарказкунонии деформатсияҳо (ММД) дида баромада шудааст. Дар асоси модели математикии объекти таҳқиқшаванда, барномаи компютери ба забони Фортран коркард шудааст. Натиҷаи моделсозии ададӣ барои тақсмоти гуногуни тахтасанг бо элементҳои охириноки ММД ба даст оварда шудааст. Дар асоси таҷрибаҳои ададӣ, масъалаи наздиқшавӣ ва саҳеҳии натиҷаи ҳисобҳо таҳқиқ карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: хамшавӣ, элементҳои охиринок, шартҳои канорӣ, борҳои баробартақсимишуда, дарзи фиктивӣ, импульси лаҳзагӣ, лантисии.

NUMERICAL SOLUTION OF THE DYNAMIC PROBLEM OF PLATES BY THE CONCENTRATE STRAIN METHOD

D.N. Nizomov, I.Q. Qalandarbekov, D.J. Isvaliev, I.I. Qalandarbekov

The article discusses the solution of dynamic problems of bending slabs with various boundary conditions using the concentrated deformation method (CDM). Based on the mathematical model of the object under study, a computer program was developed in Fortran. The results of numerical modeling were obtained for various partitions of the plate into finite elements (CDM). Based on numerical experiments, the issues of convergence and accuracy of calculation results were investigated.

Keywords: bending, finite element, boundary conditions, distributed load, fictitious seam, instantaneous impulse, vibrations.

Введение.

В методе сосредоточенных деформаций [1] на первом этапе определяется вектор перемещений, а затем вычисляются внутренние усилия на гранях элементов. Особенность МСД заключается в том, что деформации изгиба, сдвига и кручения сосредотачиваются на гранях конечных элементов. Учёт податливости стыковых соединений в плите влияет на распределение нагрузки между вертикальными несущими конструкциями [2].

Метод исследования. Для анализа напряженно-деформированного состояния пластин применяется метод сосредоточенных деформаций. Целью исследования является дальнейшее развитие МСД применительно к решению динамических задач плит.

Уравнение движения

В соответствии с принципом Даламбера система дифференциальных уравнений движения дискретной расчетной модели пластинки без учета затухания представляется в виде:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{W}} + \mathbf{K}\mathbf{W} = \mathbf{P}(t), \quad (1)$$

где \mathbf{M} – диагональная матрица масс $3n$ -го порядка,

$\ddot{\mathbf{W}}$ – $3n$ - мерный вектор ускорений,

\mathbf{K} - матрица внешней жесткости,

$\mathbf{P}(t)$ - вектор-столбец заданной нагрузки.

Матрица масс и вектор ускорений имеют вид

$$\mathbf{M} = \text{diag}(I_{x1} I_{y1} m_{z1} | \dots | I_{xn} I_{yn} m_{zn}), \quad (2)$$

$$\ddot{\mathbf{W}} = (\ddot{\phi}_{x1} \ddot{\phi}_{y1} \ddot{w}_1 | \dots | \ddot{\phi}_{xn} \ddot{\phi}_{yn} \ddot{w}_n)^T, \quad (3)$$

где I_{xi}, I_{yi} - момент инерции прямоугольного конечного элемента относительно осей x и y соответственно, m_{zi} - сосредоточенная масса конечного элемента, $\ddot{\varphi}_{xi}, \ddot{\varphi}_{yi}, \ddot{w}_i$ - угловые и линейные ускорения.

Вектор внешних динамических нагрузок включает в себя сосредоточенные моменты M_{xi}, M_{yi} и вертикальные силы P_{zi}

$$\mathbf{P}(t) = (M_{x1} \ M_{y1} \ P_{z1} \ | \ \dots \ | \ M_{xn} \ M_{yn} \ P_{zn})^T. \quad (4)$$

Система дифференциальных уравнений вынужденных колебаний дискретной модели с учетом затухания имеет вид:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{W}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{W}} + \mathbf{K}\mathbf{W} = \mathbf{P}(t), \quad (5)$$

здесь \mathbf{D} - квадратная матрица затухания $3n$ -го порядка.

Численным интегрированием матричное уравнение (5) приводится к системе алгебраических уравнений

$$\mathbf{K}^* \mathbf{W}_{n+1} = \mathbf{P}_{n+1}^*, \quad (6)$$

где $\mathbf{K}^* = \mathbf{K} + \alpha_1^* \mathbf{M} + \beta_1^* \mathbf{D}$ - обобщенная матрица жесткости,

α_1, β_1 - коэффициенты аппроксимаций.

При представлении матрицы демпфирования пропорционально матрице масс и жесткости

$$\mathbf{D} = a_m \mathbf{M} + a_k \mathbf{K},$$

то обобщенная матрица внешней жесткости и вектор свободных членов представляется в форме:

$$\mathbf{K}^* = b_k \mathbf{K} + b_m \mathbf{M}, \quad \mathbf{P}_{n+1}^* = \mathbf{P}_{n+1} + \mathbf{M}\mathbf{a}_n^* + \mathbf{K}\mathbf{b}_n^*$$

$$b_k = 1 + a_k \beta_1^*, \quad b_m = \alpha_1^* + a_m \beta_1^*, \quad \alpha_1^* = \alpha_1 / \tau^2, \quad \alpha_2^* = \alpha_2 / \tau, \quad \beta_1^* = \beta_1 / \tau,$$

$$\mathbf{a}_n = \alpha_1^* \mathbf{V}_n + \alpha_2^* \dot{\mathbf{V}}_n + \alpha_3^* \ddot{\mathbf{V}}_n, \quad \mathbf{b}_n = \beta_1^* \mathbf{V}_n + \beta_2^* \dot{\mathbf{V}}_n + \tau \beta_3^* \ddot{\mathbf{V}}_n,$$

$$\mathbf{a}_n^* = \mathbf{a}_n + a_m \mathbf{b}_n, \quad \mathbf{b}_n^* = a_k \mathbf{b}_n,$$

где \mathbf{P}_{n+1} - вектор-столбец от заданной динамической нагрузки,

a_i, b_i - постоянные

Из решения (6) шаговым методом определяется напряженно-деформированное состояние пластины в зависимости от времени.

Результаты и обсуждения

Пример 1. Исследование устойчивости и сходимости численного решения динамической задачи пластин. В качестве первой тестовой задачи рассматривается квадратная пластина, шарнирно опертая по контуру, при действии равномерно распределенного мгновенного импульса S (т·с/м²). При действии мгновенного импульса начальные условия записываются в виде

$$w(x, y)|_{t=0} = 0, \quad \partial w / \partial t|_{t=0} = s/m, \quad (7)$$

где $m = \rho h$ - интенсивность равномерно распределенной массы на единицу площади в т·с²/м³.

Аналитическое решение этой задачи с учетом затухания ($\gamma = 0,05$) приводится в работе [3], где основная частота собственных колебаний, наибольших значений во времени перемещения и изгибающего момента равны:

$$\omega_1 = \frac{2\pi^2}{a^2} \sqrt{D/m}, \quad w_0 = \frac{sa^2}{2\pi^2 \sqrt{Dm}} \Phi_w(\alpha, \beta),$$

$$M_0 = \frac{s\sqrt{D/m}}{2\pi^2} \Phi_M(\alpha, \beta), \quad (8)$$

откуда следует, что при $\alpha = \beta = 0,5$, $\Phi_w(\alpha, \beta) = 1,79$, $\Phi_M(\alpha, \beta) = 35,6$, получаем

$$w_c = \frac{0,09068 \cdot sa^2}{\sqrt{Dm}}, \quad M_c = 1,8035 \cdot s\sqrt{D/m}. \quad (9)$$

Как отмечено в работе [3], ряды для Φ_w и Φ_M сходятся наиболее медленно именно для мгновенного импульса при прочих равных условиях. Поэтому результаты (9) можно считать приближенными. Результаты (безразмерные) численного решения без учета затухания по МСД, полученные на сетке 19×19 при $\tau = T_1 / 100$ шага по времени, представлены в табл. 1, где основной период собственных колебаний $T_1 = 2\pi/\omega_1$ при $a = 4$ м, $h = 0,2$ м, $E = 2 \cdot 10^6$ тс/м², $\mu = 0,3$.

Таблица 1 - Анализ устойчивости численного решения

| Перемещение и момент | Шаг интегрирования | | |
|----------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | $T_1 / 50$ | $T_1 / 100$ | $T_1 / 200$ |
| \bar{w}_c | 0,0947 | 0,0918 | 0,0841 |
| \bar{M}_c | 1,960 | 1,997 | 2,459 |

С целью анализа сходимости численного решения получены результаты при различных разбиениях квадратной пластинки (табл. 2) при шаге по времени $\tau = T_1 / 100$.

Таблица 2 - Анализ сходимости численного решения

| Перемещение и момент | Сетка разбиения пластины | | |
|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | 19×19 | 21×21 | 25×25 |
| \bar{w} | 0,0918 | 0,0929 | 0,0928 |
| \bar{M}_c | 1,997 | 1,750 | 1,403 |

Из вышеприведенных результатов следует, что со сгущением сетки как по пространственным координатам, так и по времени результаты приближаются к определенным значениям.

Действие мгновенного импульса приводит к колебательному процессу, где проявляются высокочастотные формы, особенно в изменении изгибающего момента (рис.1).

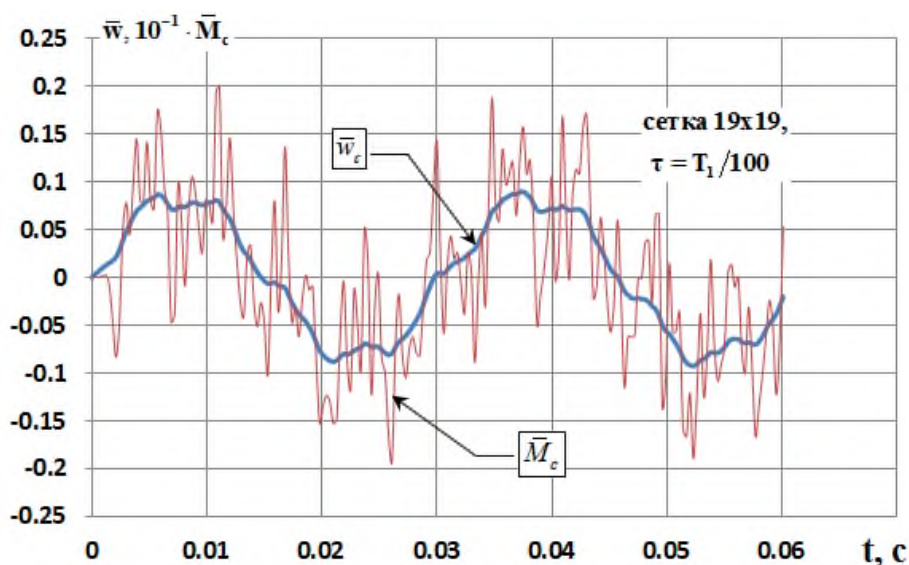


Рисунок 1 - Изменение прогиба и изгибающего момента во времени в центре квадратной пластинки, шарнирно опертой по контуру

Пример 2. В качестве второй тестовой задачи рассматривается квадратная пластина, защемленная по всему контуру при действии равномерно распределенного мгновенного импульса. Задача по определению частот и форм свободных колебаний защемленной по контуру прямоугольной пластины не имеет теоретического решения и может быть решена приближенными методами. В случае

квадратной пластины с данными, как в примере 1, применение метода Рэлея-Ритца дает приближенное значение для основной частоты собственных колебаний

$$\omega_1 = 36,0\sqrt{D/m}/a^2 = 381,5\text{ с}^{-1}, \quad T_1 = 2\pi/\omega_1 = 0,01647\text{ с}. \quad (10)$$

Приближенные значения прогиба и изгибающего момента в центре пластины, изгибающего момента в середине контура от действия равномерно распределенного импульса интенсивностью δ определяются формулами [3]:

$$\begin{aligned} w_c &= 2,12 \cdot sa^2/36\sqrt{Dm} = 0,0589 \cdot sa^2/\sqrt{Dm}, \\ M_c &= 83,7 \cdot s\sqrt{D/m}/36 = 2,325 \cdot s\sqrt{D/m}, \\ M_o &= -109 \cdot s\sqrt{D/m}/36 = -3,027 \cdot s\sqrt{D/m}. \end{aligned} \quad (11)$$

Численное решение данной задачи по МСД на сетке 19×19 при $\tau = T_1/100$, без учета затухания, приводит к следующим результатам (рис.2):

$$\bar{w}_c = 0,0636, \quad \bar{M}_c = 2,556, \quad \bar{M}_o = -3,176, \quad (12)$$

где \bar{w}_c, \bar{M}_c – безразмерные перемещение и изгибающий момент в центре пластины, \bar{M}_o – безразмерный изгибающий момент в середине контура пластины.

Сопоставление показывает, что результаты численного решения достаточно близки к результатам приближенного аналитического решения. На рис.2. показаны графики изменения прогиба и изгибающих моментов в пластине, защемленной по контуру, от действия равномерно распределенного мгновенного импульса.

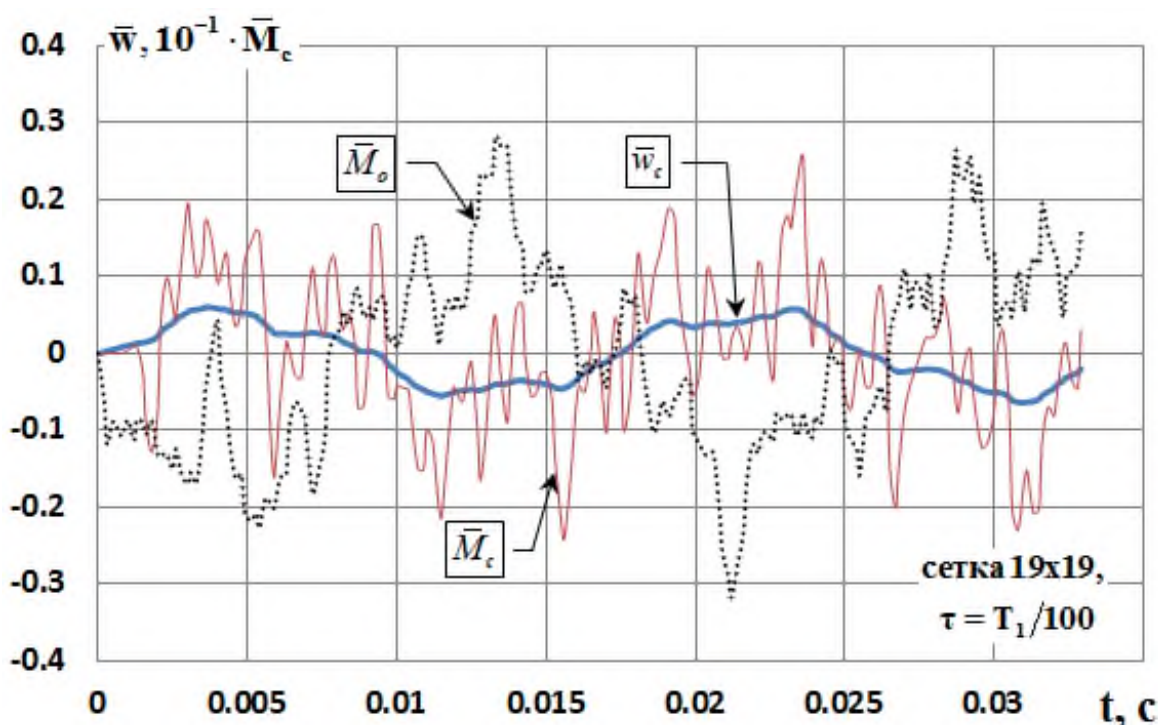


Рисунок 2 - Изменение прогиба и изгибающих моментов во времени в квадратной пластине, защемленной по контуру

Из графика \bar{w}_c следует, что период основного тона свободных колебаний пластины, полученный по МСД, на 7% отличается от аналитического решения (11).

Вывод

Из полученных результатов следует, что разработанный алгоритм и компьютерная программа позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние пластин методом сосредоточенных деформаций от динамической нагрузки. Сравнение результатов подтверждает их достоверность.

Рецензент: Саидов Р.Ф. — к.т.н., и.о. доцента кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций, - Душанбе: «Дониш», 2015 – 436 с.
2. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.И., Каландарбеков И. Об учёте податливости стыковых соединений в расчётах элементов многоэтажных зданий// Научный журнал. Политехнический вестник, Серия инженерные исследования, - Душанбе, №2(54) – 2021 . – С.137-142.
3. Сорокин Е.С. Инструкция по расчету перекрытий на импульсивные нагрузки, - М.: Стройиздат, 1966. – 134 с.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Низомов Чаҳонгир Низомович | Низомов Джаҳонгир Низомович | Nizomov Djahongir Nizomovich |
| Д.и.т., профессор, узви вобастаи АМИТ | Д.т.н., профессор, член-корр. НАНТ | D. t. s., Professor, corr-member NAST |
| Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмология | Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии | Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology NAST |
| E-mail: tiees@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович | Каландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович | Qalandarbekov Imomyorbek Qalandarbekovich |
| Д.и.т., профессор | д.т.н., профессор | D.t.s., Professor |
| 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 |
| E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Исвалиев Далерҷон Ҷураҳонович | Исвалиев Далерджон Джурахонович | Isvaliev Dalerjon Djurakhonovich |
| - | - | - |
| 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 |
| E-mail: disvaliev@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович | Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович | Qalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich |
| Н.и.т. | к.т.н. | C.t.s. |
| 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 |
| E-mail: iftikhor791@mail.ru | | |

УДК: 666.9

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

А.А. Акрамов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведены исследования сырьевой смеси из мела, глины и откорректированного сырьевого шлама предварительно термическим воздействием (ПТВ) при различных температурах. Выявлено, что при таком способе можно получить цементы с высокими показателями механической прочности (81,2 и 79,4 МПа), что на 22-25% выше прочности без добавочного, контрольного цемента.

Ключевые слова: цемент, клинкер, мел, глина, шлам, обжиг, минерализатор.

ТАЪСИРИ ФАЪОЛИЯТИ ТЕРМОХИМИЯВИИ КОМПОНЕНТҶОИ АШӢИ ХОМ БА ПРОТССЕССИ ТАЪСИСИ МИНЕРАЛҶО ВА ХУСИЯТҶОИ ЦЕМЕНТ

А.А. Акрамов

Дар мақола таҳқиқоти омехтаи ашӣи хом аз бӯр, гил ва лойи ашӣи хоми тасҳехшуда тавассути коркарди пеш аз гармӣ (КПГ) дар ҳароратҳои гуногун оварда шудааст. Муайян карда шуд, ки бо ин усул сементҳои дорои сифати мустаҳкамии баланди механики (81,2 ва 79,4 МПа) ба даст овардан мумкин аст, ки ин назар ба мустаҳкамии сементи контролии бе илова 22-25 % зиёд аст.

Калидвожаҳо: семент, клинкер, бӯр, гил, лой, сӯзонии, минерализатор.

INFLUENCE OF THERMOCHEMICAL ACTIVATION OF RAW MATERIAL COMPONENTS ON THE PROCESSES OF MINERAL FORMATION AND PROPERTIES OF CEMENT

А.А. Akramov

The article presents studies of a raw material mixture of chalk, clay and adjusted raw material sludge by pre-thermal treatment (PTH) at various temperatures. It was revealed that with this method it is possible to obtain cements with high mechanical strength (81.2 and 79.4 MPa), which is 22-25% higher than the strength without additional, control cement.

Key words: cement, clinker, chalk, clay, sludge, roasting, mineralizer.

Введение

Производство цемента относится к материалоемким отраслям промышленности. Одним из наиболее распространенных способов экономии топлива является применение минерализаторов – добавок, вводимых в количестве 1-3 масс. %, независимо от фазового состояния, которые не входят в конечный состав синтезируемого вещества, а только своим присутствием, действуя физически или химически, участвуя в ряде промежуточных реакций, способствуют протеканию физико-химического процесса, способствующих ускорению реакций образования минералов клинкера [1, 2]. Реализация эффекта термомодификации сырья в цементной промышленности осуществляется путем установки керамического теплообменника [3, 4].

Материалы и методы исследования

Для выполнения работы использовались сырьевые материалы Яванского цементного завода: мел и глина, а так же откорректированный сырьевой шлам. В качестве минерализатора применяется CaF₂ технический. Химический состав мела, глины и шлама представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав, %

| Сырьё | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | R ₂ O | ППП | Сумма |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|------------------|---------|--------|
| Мел | 1,87 | 0,43 | 0,18 | 54,33 | 0,23 | 0,02 | 0,13 | 42,8 | 99,99 |
| Глина | 66,72 | 11,47 | 4,72 | 2,89 | 1,26 | 0,11 | 2,48 | 8,92 | 8,47 |
| Fe ₂ O ₃ | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| Шлам | 14,21 | 3,36 | 2,79 | 43,06 | 0,43 | 0,09 | 0,49 | 36 | 100,00 |
| n=2,1 | | | | p=1,2 | | | | КН=0,92 | |

С целью моделирования дискретного температурного воздействия на часть сырьевой смеси при ее рециркуляции в лопастном керамическом теплообменнике, до 30% смеси предварительно обжигалась при различных температурах. Затем смешивалась с исходной смесью и окончательный обжиг проводился при 1400 °С. Выполнение работы проводилось по предварительно составленному плану, представленному на рисунке 1.

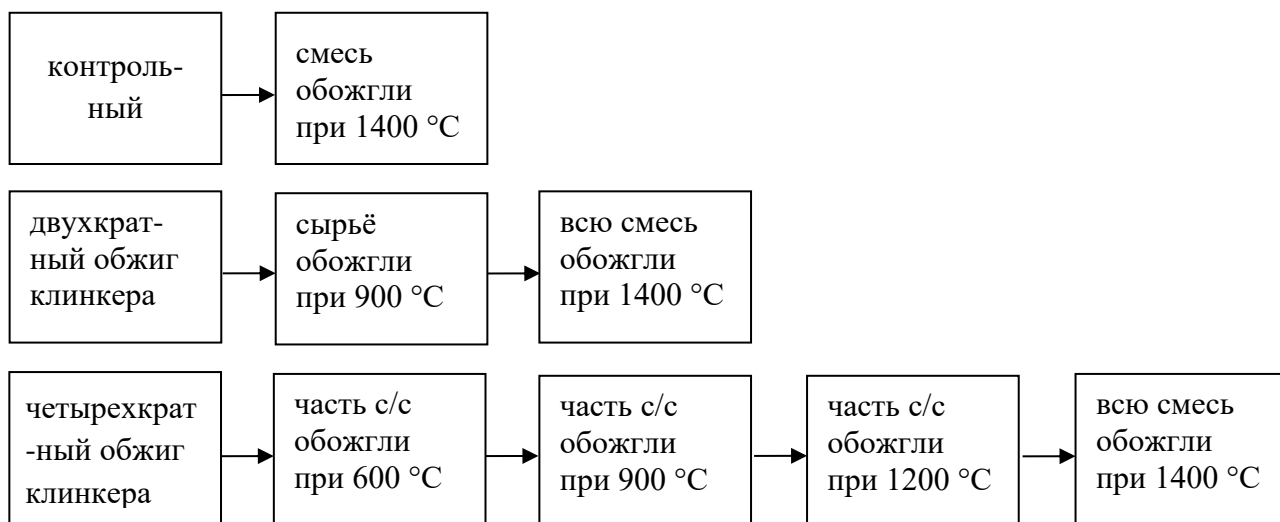
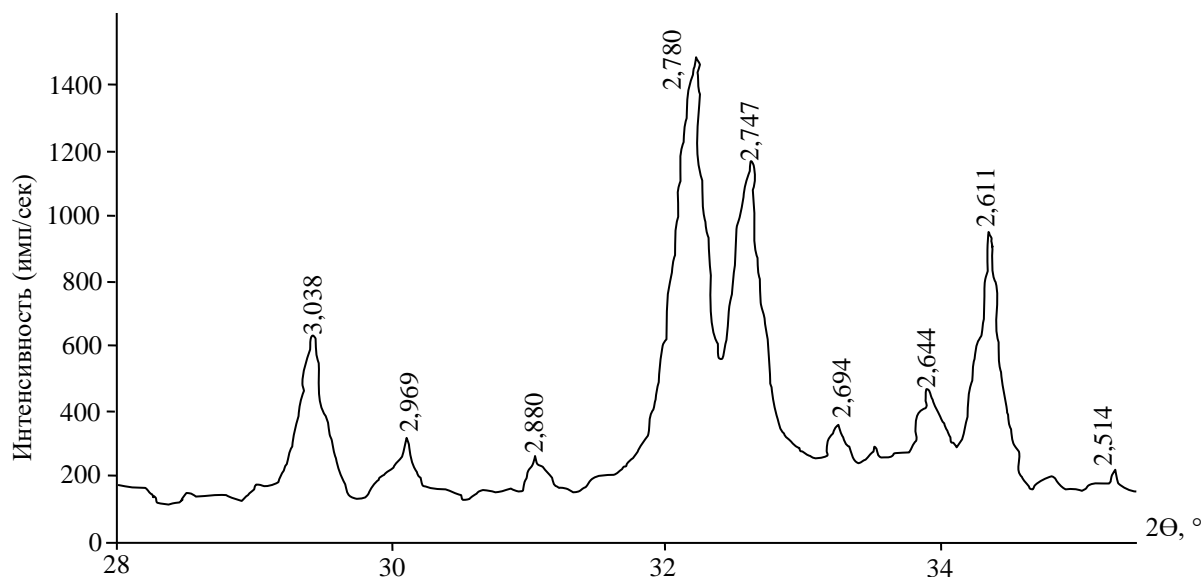


Рисунок 1 – Схема обжигов клинкера

Предварительное термическое воздействие (ПТВ) проводилась как отдельных компонентов так и части сырьевой смеси. Серия клинкеров с двухкратным обжигом состоит из трех смесей с ПТВ глины и таких же смесей с ПТВ мела при температурах 600°C, 900°C и 1200°C выдержка 15 минут. При проведении четырехкратного обжига сырьевая смесь в количестве 30% обжигалась при 600°C, после чего смешивалась с исходной сырьевой смесью, аналогично проводились обжиги части сырья при температурах 900°C и 1200°C. Дополнительно проводились опыты с ПТВ 50 и 100% сырьевой смеси.

Сырьевые смеси обжигали в силитовой печи при температуре 1400°C с выдержкой 40 минут, контрольный образец не подвергался предварительному термическому воздействию (ПТВ).

a)



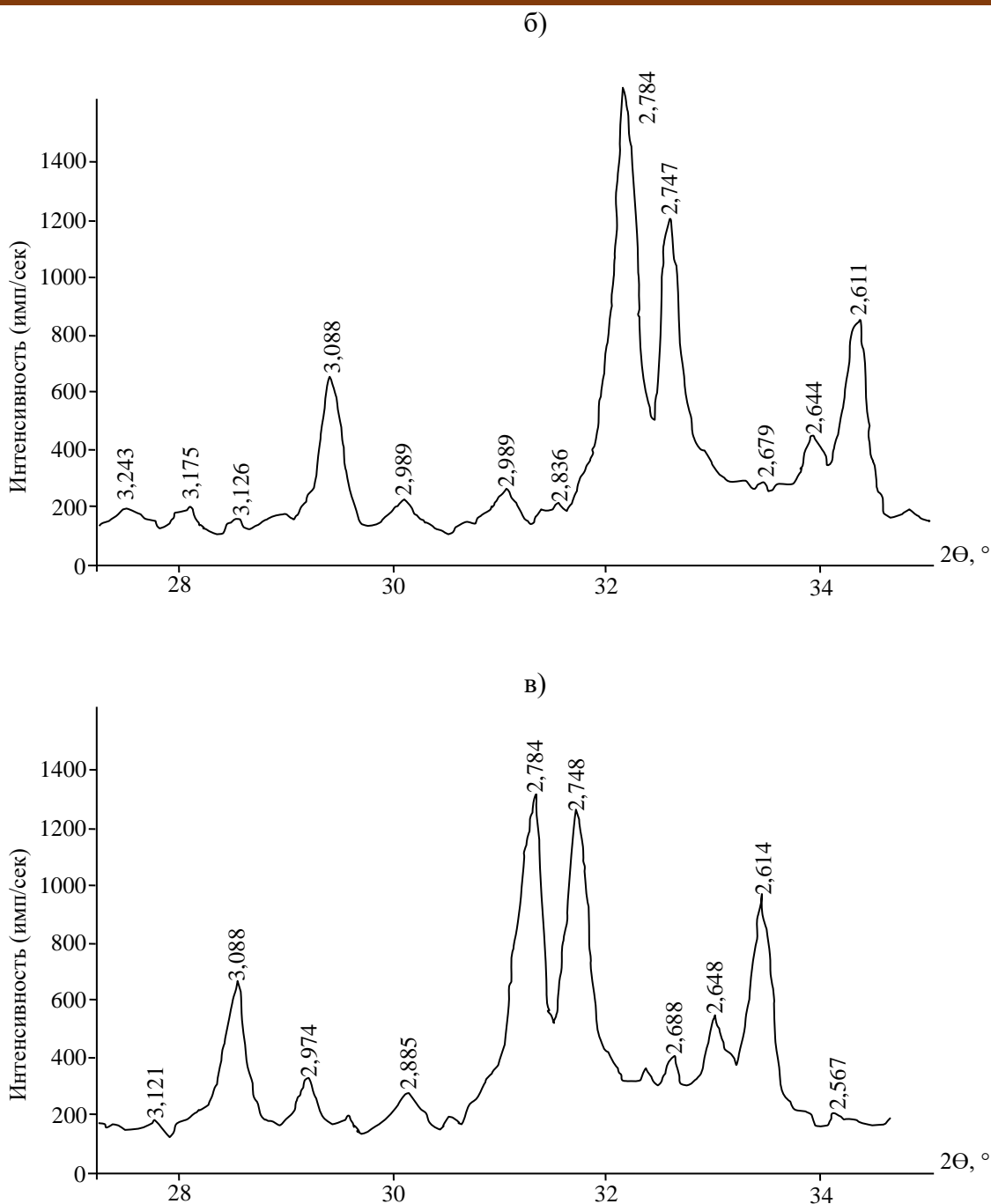


Рисунок 2 – Дифрактограммы клинкеров с глиной термообработанной при температуре: а) 600 °С; б) 900 °С; в) 1200 °С.

Обсуждение

Определение фазового состава опытных клинкеров с предварительно термообработанной глиной (рис. 2) показало, что ПТВ при температуре 900 °С клинкер имеет наиболее интенсивные характеристические пики алита ($d = 3,03; 2,784; 1,76 \text{ \AA}$) и белита ($d=2,88; 2,748; 2,18 \text{ \AA}$), и четырехкальциевого алюмоферрита ($d=7,314; 2,648; 1,929 \text{ \AA}$), ПТВ при 1200°С формирует фазы C_3A и C_6A_2F (2.69 и 2,637Å соответственно). На рисунке 3 представлена микроструктура клинкеров. За счет повторных обжигов, наблюдается увеличение доли более мелких кристаллов алита, что обеспечивает при этом высокую интенсивность набора прочности цементного камня.

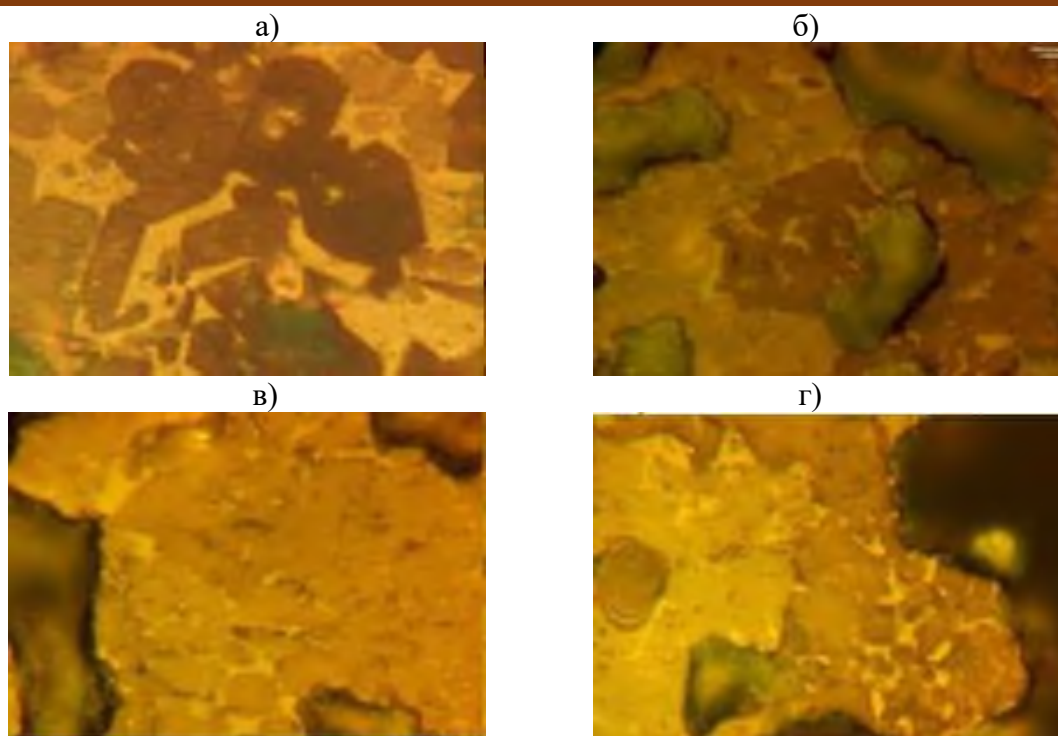
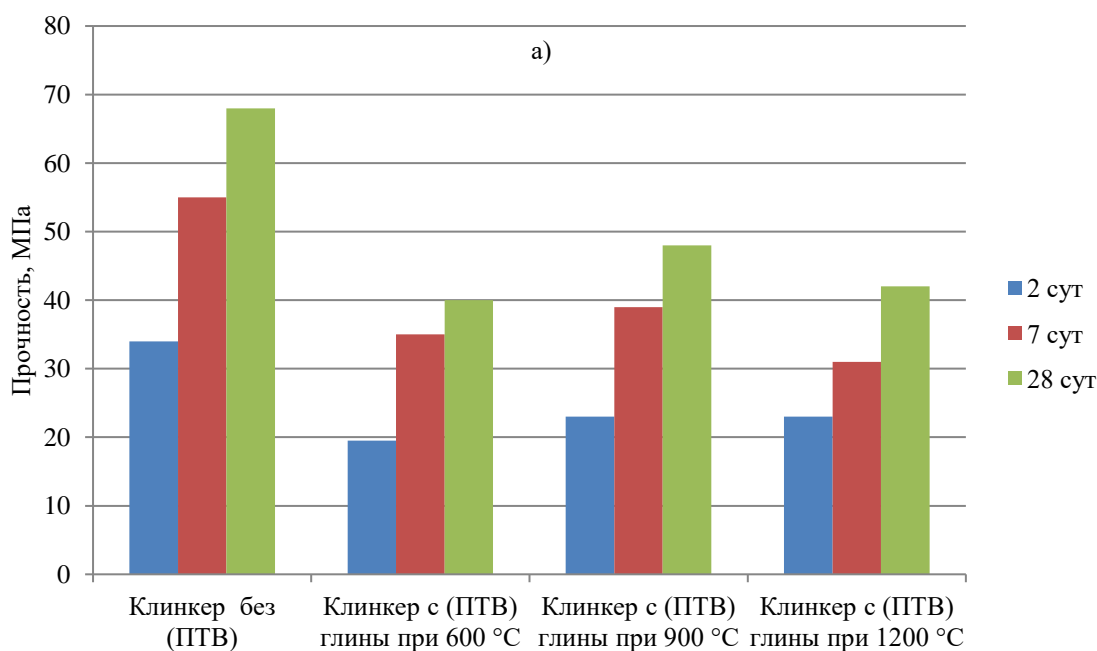


Рисунок 3 – Микрофотографии клинкеров: а) клинкер без (ПТВ); б) клинкер с (ПТВ) глины при 600°C; в) клинкер с (ПТВ) глины при 900°C; г) клинкер с (ПТВ) глины при 1200°C

Результаты микроскопического анализа показывают, что во всех клинкерах подвергнутых предварительным обжигам, наблюдается увеличение алитовой фазы до 30%, с 57 до 75. Увеличение алитовой фазы наблюдается в спеках четырехкратного обжига с 30%-ной модификацией сырьевой смеси. Исследования термического воздействия на мел и глину показали, что наибольший эффект достигается при температуре ПТВ 900 °C (рис 4). Проведение раздельного обжига мела и глины не целесообразно с технической точки зрения. Эффективнее производить термомодификацию сырьевой смеси. ПТВ сырьевой смеси в количестве 30, 50 и 100% сравнивалась с воздействием минерализатора CaF₂ (рис.5). На основании прочностных характеристик можно сделать вывод, что физико-химические свойства полученных образцов напрямую зависят от способа обжига исходных сырьевых материалов.



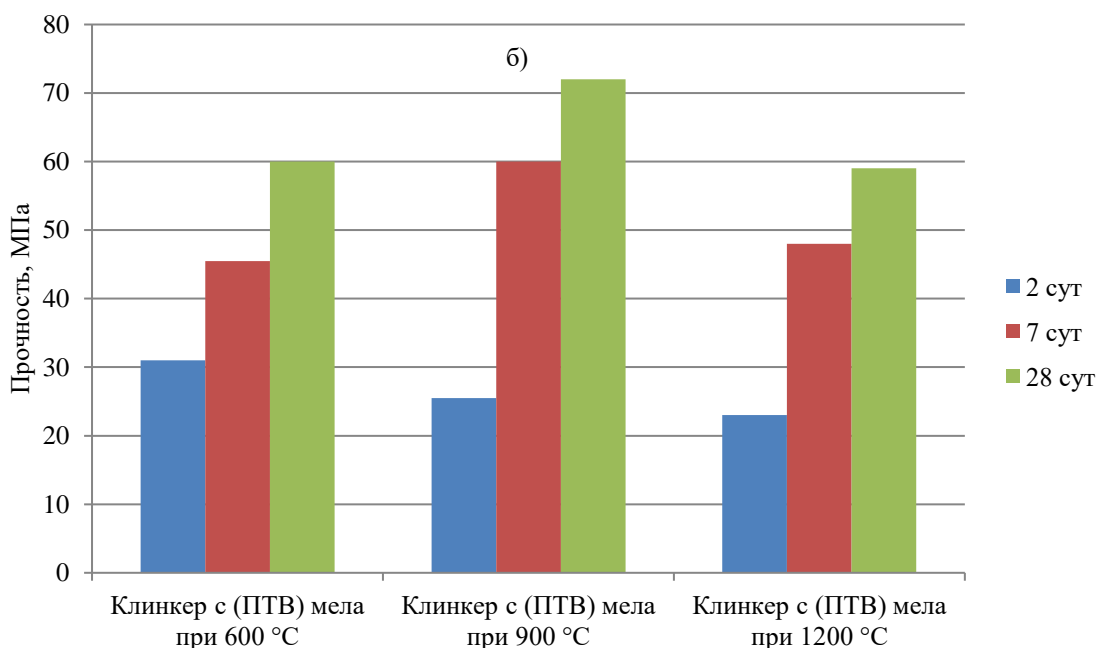


Рисунок 4 – Прочности цементного камня с ПТВ: а)глины; б)мела

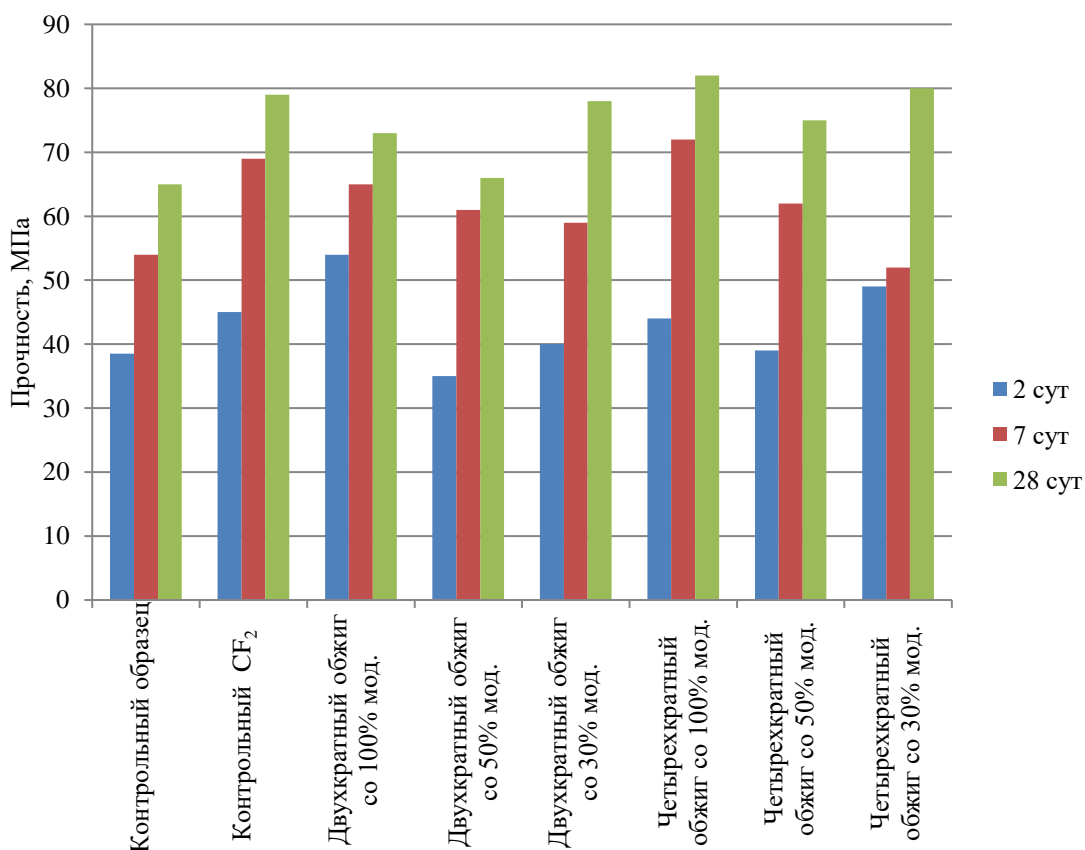


Рисунок 5 – Прочности цементного камня с ПТВ сырьевой смеси

Выводы

Образцы, полученные из цемента с применением CaF₂, имеют высокие показатели механической прочности (81,2 и 79,4 МПа), что на 22-25% выше прочности без добавочного, контрольного цемента, однако плавиковый шпат является достаточно дорогим сырьем, поэтому в качестве альтернативы можно использовать двухкратный и четырехкратный обжиг сырьевой смеси без ввода CaF₂. Образцы заформованные из такого цемента имеют механическую прочность 73,1-82,5МПа, что фактически не уступает показателям цемента полученного с применением плавикового шпата.

Теплообменник – изменение условий термического воздействия (ПТВ), является довольно эффективным технологическим приемом, позволяющим увеличить гидравлическую активность портландцементного клинкера и может рассматриваться, с технической точки зрения, как энергосберегающая технология.

Рецензент: Умарзода У.Х. – к.т.н., доцент, первый заместитель председателя Комитета по Архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература:

1. Коновалов В.М., Акуликина М.А., Перескок С.А. Термомодифицирование портландцементной сырьевой смеси // Цемент и его применение. 2009. № 5. С. 102-105.
2. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1973. 504 с.
3. Коновалов В.М. Влияние условий термовоздействия на морфологию и свойства извести / Материалы международного конгресса Производителей Цементов. Белгород, 2008. С. 35-36.
4. Осокин А.П., Кривооборотцев Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М.: Стройиздат, 1993. 328 с.
5. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.
6. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфоферритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.
7. Абдуганиев А.М. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия. / Абдуганиев А.М., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 255-260.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – AUTHORS BACKGROUND

| TJ | RU | EN |
|---|--|---|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич | Акрамов Авазжон Абдуллоевич | Akramov Avazjon Abdulloevich |
| Номзади илмҳои техникӣ, дотсент | Кандидат технических наук, доцент | Candidate of technical sciences, assistant professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Соҳтмони 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 |
| E-mail: akramov.avaz@mail.ru | | |

**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 (AUTHORS' BACKGROUND) | 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.

TJ

RU

EN

Ному насаб, ФИО, Name

Дараџа ва унвони илмӣ, Степень и должность,

Title²

Ташкилот, Организация, Organization

e-mail

ORCID³ Id

Телефон

| | |
|--|---|
| <p>КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)</p> | <p>Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой. Пример: 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. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи</p> |
| <p>ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS).</p> | <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). Пример данного раздела: 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</p> |
| <p>ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора)</p> | |
| <p>БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)</p> | <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> |
| <p>ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING)</p> | <p>Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.</p> |
| <p>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION)</p> | <p>В этом разделе могут быть помещены: 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. Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе). Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладах на конференциях и семинарах.</p> |

5. Требования к оформлению статей

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.

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 , организации 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: | М.М. Якубова |
| Мухаррири матни тоҷикӣ: | Муаллифон |
| Мухаррири матни англисӣ: | Муаллифон |
| Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ: | М.А. Иззатуллоев |

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Редактор русского текста: | М.М. Якубова |
| Редактор таджикского текста: | Авторская редакция |
| Редактор английского текста: | Авторская редакция |
| Компьютерный дизайн и верстка: | М.А. Иззатуллоев |

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10^А
Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раҷабовых, 10^А

Ба чоп 25.12.2024 имзо шуд. Ба матбаа 28.12.2024 супорида шуд.
Чопи офсетӣ. Қоғози 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