

ISSN 2520-2227

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

2 (70) 2025



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Инженерные исследования

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Engineering studies

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҲҚИҚОТҲОИ МУҲАНДИСӢ

ISSN
2520-2227

2(70)
2025



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

Маҷалла ба рӯйхати нашрияҳои тақризии КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, КОА-и назди Вазорати таҳсилоти олии, илм ва инноватсияҳои Ҷумҳурии Узбекистон ва равияи металлургияи он ба рӯйхати нашрияҳои 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.

№ 409/МҶ-97 аз 09 апрели соли 2025

Индекси обуна 77762

РАВИАИ ИЛМИИ МАҶАЛЛА	НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА	SCIENTIFIC DIRECTION
05.14.00 Энергетика 05.16.00 Металлургия ва маводишиносӣ 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
САРМУҲАРРИР

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА
д.и.и, 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. ҚАСОБОВ

н.и.т., дотсент
А.Қ. ҚИРҒИЗОВ
н.и.т., и.в. дотсент

И.Н. ҒАНИЕВ
академики АМИТ, д.и.х., профессор

Ҳ.О. ОДИНАЗОДА
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

Т.Қ. ЧУРАЕВ
д.и.х., профессор

М.М. ҲАҚДОД
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

А.Б. БАДАЛОВ
узви вобастаи АМИТ, д.и.х., профессор

А.С. САЙДАЛИЗОДА
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

Қ.Н. НИЗОМОВ
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

И. ҚАЛАНДАРБЕКОВ
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

Қ.Ҳ. САИДЗОДА
д.и.т., профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ
д.и.т., профессор (Ҷумҳурии Ўзбекистон)

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.Д. ДЖУРАЕВ
д.х.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.САЙДАЛИЗОДА
д.т.н., доцент

В.В.СИЛЬЯНОВ
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. МУКИМОВ
доктор архитектуры, профессор

Дж.Х. САИДЗОДА
д.т.н., профессор

Р.Ҳ. РАСУЛОВ
д.т.н., профессор (Республика Узбекистан)

Н.М. ХАСАНОВ
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	6
<i><u>ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДОЁМКОСТЬ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ.....</u></i>	<i><u>6</u></i>
¹ А.Д. Ахророва, ² Д.Р. Гарибмамадов	6
<i><u>ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ</u></i>	<i><u>14</u></i>
А.К. Киргизов, С.Р. Ниёзӣ, С.У.Довудов.....	14
<i><u>АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В.....</u></i>	<i><u>21</u></i>
<i><u>ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.....</u></i>	<i><u>21</u></i>
С.У. Довудов.....	21
<i><u>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА НА ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....</u></i>	<i><u>33</u></i>
¹ Ш.Дж. Джурозода, ² Р.А. Рахимов, ² У.У. Косимов.....	33
<i><u>АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ БИПОЛЯРНЫХ И УНИПОЛЯРНЫХ ИНВЕРТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ</u></i>	<i><u>38</u></i>
С.У. Довудов, Б.Н. Шарифов, А.Я. Абдурахмонов, С.Р. Ниёзи	38
<i><u>ТАҲҚИҚИ РЕҶАИ ҒАЙРИСИНОСИДАЛӢ ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ БАРОИ БАҲОДИҲИИ БА ВУҶУД ОМАДАНИ ҲОДИСАИ РЕЗОНАНС.....</u></i>	<i><u>47</u></i>
¹ Ш.Ҷ. Ҷурозода, ² З.Ҷ. Ҳабибуллозода, ² М.К. Ҷаборов, ² С.Т. Исмоилов	47
<i><u>К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ</u></i>	<i><u>59</u></i>
Л.С. Касобов	59
МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE.....	63
<i><u>ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ФАЗЫ В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ БЕРИЛЛИЯ.....</u></i>	<i><u>63</u></i>
Т.Д. Джуроев, М.И. Халимова, И.Ш. Муслимов, Э.Р. Газизова, Фаридуни Шокир.....	63
<i><u>ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛУДРАГОЦЕННЫХ И ПОДДЕЛОЧНЫХ КАМНЕЙ</u></i>	<i><u>67</u></i>
Ф.Б. Холов, И. Мирзоалиев, Т.А. Ходжаев	67
<i><u>ВЛИЯНИЕ ГАЛЛИЯ НА ПОТЕНЦИАЛ КОРРОЗИИ ЦИНКА, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl</u></i>	<i><u>79</u></i>
И.Н. Ганиев, Г.М. Атоев, Р.Д. Исмонов, П.Н. Абдухоликова, М.А. Умаров.....	79
<i><u>ТАСИРИ ВИСМУТ БА ГАРМИҒУНҶОИШИ ХОСИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИ НАВӢИ АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3</u></i>	<i><u>84</u></i>
О.Ш. Давлатов, И.Н. Ганиев, Ҳ.О. Одиназода, С.С. Раҷабалиев.....	84
ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY	90
<i><u>ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ</u></i>	<i><u>90</u></i>
<i><u>УГЛЕЙ ФОН-ЯГНОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ</u></i>	<i><u>90</u></i>
¹ З.Х. Гайбуллаева, ² Т.Х. Гадоев, ¹ Б.И. Асроров, ¹ Г.Г. Шодиев, ² Ф.М. Рахимов	90
<i><u>ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ В ГОМОГЕННОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ Mn(II)-Mn(IV)-CH₃COOH-C₂H₅OH.....</u></i>	<i><u>96</u></i>
Э.Ф. Файзуллозода ¹ , Дж.А. Давлатшоева ¹ , М. Рахимова ¹ , Г.Б. Бобоназарзода ² , Ф. Мираминзода ²	96
НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT	104
<i><u>МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИЛ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ.....</u></i>	<i><u>104</u></i>
<i><u>ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ НА УКЛОНЕ</u></i>	<i><u>104</u></i>

Р.А. Давлатшоев.....	104
<u>МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДИТЕЛЬ –АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВАДС) И ВОДИТЕЛЬ –ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВЭДС).....</u>	110
¹ А.М. Умирзоков, ² А.А. Алланазаров, ¹ А.Л. Бердиев.....	110
<u>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА</u>	114
Дж.А. Бердиев, Р.Х. Сайрахмонов, С.С. Умаров.....	114
<u>АНАЛИЗ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И СТРУКТУРЫ АВТОПАРКА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН В 2019–2024 ГОДАХ.....</u>	122
Р.А. Давлатшоев, Ф.И. Джобиров, А.Н. Насризода.....	122
СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE.....	129
<u>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ</u>	129
Д.Н. Низомов ¹ , О.Р. Нуманов ² М.Ш. Набизода ²	129
<u>ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ВОПРОСАХ РАЗВИТИЯ БАЗОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ДУШАНБЕ</u>	136
Ш.И. Рахматуллозода	136
<u>ТАҲҚИҚОТҲОИ НАЗАРИЯВӢ ОИД БА ЭНЕРГИЯСАМАРАНОКИИ БОЛОҶӢШҲОИ БИНОҲОИ ШАҲРВАНДӢ</u>	140
А.С. Асрорзода, Р.М. Шокиров, Н.М. Каримов.....	140
<u>ТАМОҶУЛИ РУШД ВА ҲАМБАСТАГИИ МЕЪМОРӢ БО НАМУДҲОИ ДИГАРИ САНЪАТИ ФАЗОҶӢ ДАР ҚАЛАМРАВИ ЭРОН.....</u>	147
Ҷ.Ш. Ғанизода	147
<u>АЛОҚАМАНДИИ МЕЪМОРӢ ВА АКУСТИКА</u>	153
Н.Н. Ҳасанов, Р.Х. Пирматов, Б.С. Ашурзода	153
<u>АСОСҲОИ ИЛМИИ ЛОИҲАКАШИИ ГАРМИМУҲОФИЗӢ ВА САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ БИНОҲО</u>	159
Д.Ғ.Сафарзода.....	159
<u>ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ЛОЖНОГО СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА</u>	166
А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода, М.Р. Джуракулов, А.М. Абдуганиев	166
<u>МЕТОДЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ</u>	171
Н.О. Олимова.....	171
<u>МАФҲУМҲОИ АСОСИИ ТАҲСИЛОТИ ФАРОГИР</u>	178
А.Р. Муминов, Н.Н. Ҳасанов, Д.Ғ.Сафарзода	178
<u>ОМИЛҲОИ БА ТАШАККУЛИ РУШДИ СИНТЕЗИ САНЪАТ ДАР МЕЪМОРӢ ТАЪСИРКУНАНДА</u>	183
Ҷ.Ш. Ғанизода	183
<u>АМПЛИТУДНЫЕ СПЕКТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ</u>	188
Д.Н. Низомов ¹ , И.И. Каландарбеков ² , И.К. Каландарбеков ²	188
<u>МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ</u>	195
М.Ш. Набизода.....	195
<u>ВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА КРЕПЛЕНИЯ И БЕТОННАЯ ОБЛИЦОВКА.....</u>	200
<u>В ЗОНЕ РАЗЛОМА ИОНАШ ТОННЕЛЯ СТ-3 РОГУНСКОЙ ГЭС</u>	200
¹ Н.М. Хасанзода, ² М.Х. Мехрубонов, ¹ М.С Ахмаджонов, ¹ Х.Д. Музафаров	200
<u>ТАЪМИНИ ГАРМИИ СОКИНОНИ ДЕҲОТ АЗ СИСТЕМАҲОИ МУСТАҚИЛИ ТАЪМИНОТИ ГАРМӢ ВА САМАРАНОКИИ ОНҲО</u>	205
Т.Р. Холмуратов	205

<u>МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ.....</u>	<u>212</u>
<u>В ЗОНЕ РАЗЛОМА ИОНАХШ ТОННЕЛЯ СТ-3 РОГУНСКОЙ ГЭС</u>	<u>212</u>
¹ М.Х. Мехрубонов, ² А.М. Алимардонов, ² Н.М. Хасанзода.....	212
<u>ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ ДЕРИВАЦИОННОГО ТОННЕЛЯ ДТ-4 РОГУНСКОЙ ГЭС</u>	<u>218</u>
М.Х. Саидов	218
<u>САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ БИНОҲО ҲАМЧУН ОМИЛИ УСТУВОРИИ ЭКОЛОГӢ.....</u>	<u>222</u>
П.С. Хуҷаев, Ҷ.И. Исматуллозода, Н.А. Сулаймонова	222

УДК: 621.311:620.9

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРИРОДОЁМКОСТЬ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРАНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

¹А.Д. Ахророва, ²Д.Р. Гарибмамадов

¹Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

² Университет прикладных наук Ханзе, Гронинген, Нидерланды

Природоемкость производства электроэнергии служит важным индикатором для разработки экономически эффективных и экологически безопасных энергетических объектов. В условиях изменения климата и растущих требований по снижению углеродных выбросов расчет и анализ этого показателя становится особенно актуальным для перехода на более устойчивые и чистые источники энергии. В статье приведены результаты оценки природоемкости различных типов электрических станций. Приведены результаты исследования природоемкости энергетической инфраструктуры и обоснованы рекомендации по повышению ее устойчивости и энергетической безопасности стран Центральной Азии.

Ключевые слова: электрическая энергия, природные ресурсы, выработка, показатель, климат, изменение, природоемкость, энергетическая безопасность.

АМАНИЯТИ ЭНЕРГЕТИКӢ ВА ИҚТИДОРИ ЗАХИРАҲОИ ТАБИИ: ТАҲЛИЛИ ИСТЕҲСОЛИ ҚУВВАИ БАРҚ ДАР МАМЛАКАТҲОИ ОСИЁИ МИЕНА

А.Д. Ахророва, Д.Р. Гарибмамадов

Табиатмасрафии истеҳсоли нерӯи барқ яке аз нишондиҳандаҳои муҳими таҳия ва татбиқи иншооти энергетикӣ иқтисодӣ самаранок ва аз ҷиҳати экологӣ беҳатар ба шумор меравад. Дар шароити тағйирёбии иқлим ва баландшавии талабот ба коҳиши партовҳои карбон, ҳисоб ва таҳлили ин нишондиҳанда аҳамияти махсус пайдо мекунад — ҳамчун омили калидӣ барои гузариш ба манбаҳои устувор ва тозаи энергия. Дар мақола натиҷаҳои арзёбии табиатмасрафии намудҳои гуногуни нерӯгоҳҳо пешниҳод гардидаанд. Ҳамзамон, натиҷаҳои омӯзиши табиатмасрафии инфрасохтори энергетикӣ низ оварда шудаанд ва тавсияҳо ҷиҳати таҳкими устуворӣ ва амнияти энергетикӣ кишварҳои Осӣи Марказӣ асоснок шудаанд.

Калидвожаҳо: нерӯи барқ, захираҳои табиӣ, истеҳсол, нишондиҳанда, иқлим, тағйирот, табиатмасрафӣ, амнияти энергетикӣ.

ENERGY SECURITY AND ENVIRONMENTAL INTENSITY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF POWER GENERATION IN CENTRAL ASIA

A.D. Ahrorova, D. R. Garibmamadov

The natural resource intensity of electricity generation serves as an important indicator for the development of economically efficient and environmentally safe energy facilities. In the context of climate change and increasing demands for carbon emission reductions, the calculation and analysis of this indicator become especially relevant for the transition to more sustainable and cleaner energy sources. This paper presents the results of an assessment of the natural resource intensity of various types of power plants. It also includes findings on the resource intensity of energy infrastructure and provides recommendations for enhancing the resilience and energy security of Central Asian countries.

Keywords: electricity, natural resources, generation, indicator, climate, change, resource intensity, energy security.

Введение

Современные тенденции трансформации энергетического сектора обуславливают необходимость комплексной оценки эффективности производства электроэнергии не только с позиций экономических и технических показателей, но и с учётом степени воздействия на природную среду. В этой связи особую актуальность приобретает применение интегральных индикаторов, таких как природоёмкость, отражающая совокупный объём потребления природных ресурсов (вода, земля, минеральное сырьё и др.) на единицу выработанной электрической энергии.

Несмотря на очевидную значимость данного показателя, его использование в научных исследованиях и в прикладной практике оценки устойчивости энергетических систем остаётся ограниченным. В существующих работах, как правило, акцент смещён в сторону анализа энергоэффективности, углеродоёмкости и экономической рентабельности, в то время как многокомпонентная природоёмкость рассматривается эпизодически либо в рамках отдельных аспектов (например, водоёмкость генерации).

Особенно недостаточной является степень разработки указанной проблематики применительно к странам Центральной Азии (ЦА), энергетические системы которых характеризуются высокой зависимостью от природных ресурсов и значительной долей традиционной генерации. В то же время, регион сталкивается с возрастающими вызовами в сфере энергетической безопасности, что требует пересмотра существующих подходов к оценке устойчивости и надёжности энергоснабжения с учётом экологических и ресурсных ограничений.

Отсутствие систематизированных исследований, направленных на выявление взаимосвязи между уровнем природоёмкости электроэнергетики и устойчивостью функционирования национальных энергосистем, ограничивает возможность обоснованного выбора приоритетных направлений энергетической политики. В этой связи существует объективная научная и практическая потребность в разработке подходов к комплексной оценке природоёмкости и её влияния на энергетическую безопасность стран региона.

В данной статье предпринимается попытка комплексной оценки природоёмкости различных типов электростанций в странах ЦА с последующим анализом её влияния на ключевые аспекты энергетической безопасности региона.

Методы исследования

В рамках настоящего исследования были использованы количественные и качественные методы анализа, направленные на всестороннюю оценку природоёмкости производства электроэнергии и выявление её взаимосвязи с показателями энергетической безопасности в странах ЦА.

Основным методическим инструментом выступил расчёт интегрального показателя природоёмкости генерации электроэнергии, основанный на агрегировании информации о потреблении природных ресурсов (водные, земельные, топливные и другие компоненты) в расчёте на единицу выработанной электрической энергии. Такой подход позволил осуществить сопоставление природоёмкости различных типов электростанций (тепловых, гидроэлектростанций, объектов ВИЭ) в рамках выбранных национальных энергетических систем. Для обеспечения корректности и сопоставимости результатов применялся метод сравнительного анализа, позволивший выявить структурные различия между странами региона по уровню природоёмкости электроэнергетики. Это дало возможность оценить как технологические, так и ресурсно-географические особенности энергетических систем стран ЦА. Дополнительно был использован нормативный и системный подход, направленный на интерпретацию полученных результатов с позиции устойчивости и энергетической безопасности. Данный метод обеспечил связь между расчётными данными и стратегическими приоритетами в энергетике.

Визуализация и структурирование данных осуществлялись с использованием графико-аналитических методов, включая построение сравнительных диаграмм, таблиц и обобщающих схем. Это способствовало наглядному представлению различий и тенденций в ресурсной нагрузке энергетических систем региона. На заключительном этапе исследования применялся экспертно-аналитический подход при формулировании рекомендаций по учёту природоёмкости в процессе разработки национальных энергетических стратегий с целью повышения устойчивости и уровня энергобезопасности.

Основными аргументами использования приведенного выше инструментария оценки являются:

Устойчивость энергетической системы. Природоёмкость производства электроэнергии показывает, сколько природных ресурсов (например, воды, угля, газа, металлов) и природных экосистем тратится для выработки энергии. Она становится важным инструментом для оценки устойчивости энергетических систем, особенно с учетом стремления к снижению углеродного следа и минимизации воздействия на природу.

Снижение углеродных выбросов. Традиционные способы производства электроэнергии, такие как угольные и газовые электростанции, имеют высокую природоёмкость. Их работа требует значительных природных ресурсов и приводит к существенным выбросам углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов. С учетом изменений климата, актуальность снижения выбросов продуктов сгорания органического топлива становится все более очевидной. Энергетика, основанная на возобновляемых источниках (солнечная, ветровая, гидроэнергетика), имеет гораздо более низкую природоёмкость, что способствует снижению углеродного следа.

Изменение климата. Изменение климата напрямую связано с увеличением выбросов парниковых газов, в том числе через производство энергии. Для борьбы с этим необходим переход на более чистые и экологически безопасные источники энергии. Оценка природоёмкости инвестиционных проектов позволяет оценить и сократить негативное воздействие своей энергетической инфраструктуры на климат.

Рациональное использование природных ресурсов. Расчет природоёмкости способствует повышению эффективности использования природных ресурсов, снижать нагрузку на окружающую среду. В условиях ограниченности ресурсов, в том числе в условиях глобальных изменений климата, оценка природоёмкости становится инструментом для разработки и внедрения более эффективных, устойчивых и экологически чистых технологий в энергетике.

Учет климатических рисков. Влияние изменения климата на энергетическую инфраструктуру также влияет на природоёмкость. Например, изменение гидрологического цикла может повлиять на обеспеченность водой ГЭС и, соответственно, на выработку электроэнергии, увеличить частоту экстремальных погодных явлений, что может повлиять на стабильность энергоснабжения. Учет этого фактора природоёмкости особенно важен при проектировании и эксплуатации энергетических объектов.

Результаты и их обсуждение

Природоёмкость становится ключевым индикатором устойчивости генерации, особенно в условиях климатической неопределённости. В таблице 1 приведена укрупненная сравнительная оценка природоёмкости различных типов электростанций.

Для анализа проектов гидроэлектростанций (ГЭС) следует учитывать затраты воды (особенно в засушливых регионах), площадь затопления, потери биоразнообразия, для тепловых электрических станций (ТЭС) необходимо учитывать полный жизненный цикл топлива: добыча, транспорт, сжигание, для АЭС — включать затраты на добычу урана, обращение с отходами, дезактивацию, для солнечных и ветровых электростанций (СЭС и ВЭС) — обращать внимание на земельные площади и ресурсоёмкость оборудования (редкоземельные металлы и др.).

Таблица 1 - Укрупненная сравнительная оценка природоёмкости различных типов электростанций

Тип электростанции	Топливная природоёмкость, г/кВт·ч	Водоёмкость, л/кВт·ч	Землепользование, м ² ·год/МВт·ч
ТЭС (уголь)	300–400 г угля	~1.5–2 л	~0.2
ГЭС	~0	зависит от испарения: 50–250 л	~10–20
АЭС	~0	2–3 л	~1–2
СЭС (солнечные)	~0	~0	~20–40
ВЭС (ветровые)	~0	~0	~1–3

Источник: Составлено авторами.

Средний уровень углеродной интенсивности в мировом энергетическом секторе в 2023 году составил 480 г CO₂/кВт·ч, что является самым низким показателем за последние два десятилетия. Китай и Индия остаются крупнейшими эмиттерами CO₂ в энергетическом секторе, с углеродной интенсивностью 581 г CO₂/кВт·ч и 713 г CO₂/кВт·ч соответственно. Это связано с их значительной зависимостью от угольной энергетики. Норвегия демонстрирует наименьшую углеродную интенсивность среди крупных производителей электроэнергии, составляющую 30 г CO₂/кВт·ч, благодаря преобладанию гидроэнергетики в её энергетическом балансе. Польша имеет наивысшую углеродную интенсивность среди стран Европейского Союза, составляющую 662 г CO₂/кВт·ч, из-за преобладания угольной энергетики в её энергетическом балансе [1].

Страны Центральной Азии (ЦА) в значительной мере подвержены климатическим рискам. Проблема усугубляется ростом потребления энергетических ресурсов. Эффективность развития энергетической инфраструктуры в этих странах необходимо оценивать с точки зрения ее природоёмкости, что приобретает особую актуальность в условиях перехода к устойчивой энергетике. Энергетический ландшафт ЦА характеризуется значительными различиями между странами. Казахстан и Узбекистан обладают более диверсифицированной энергетической структурой, в то время как Таджикистан и Кыргызстан зависят от гидроэнергетики.

В таблице 2 представлены актуальные данные и анализ структуры производства электроэнергии в странах региона. Как видно из таблицы 2, производство электроэнергии в странах ЦА демонстрирует разнообразные тенденции, обусловленные различиями в ресурсной базе, инфраструктуре и стратегических приоритетах.

Таблица 2 - Производство электроэнергии в странах Центральной Азии (2021–2023 гг.)*

Страна	Производство электроэнергии, ТВт·ч	Установленная мощность, ГВт	Основной источник энергии
Казахстан	106,8 (2021)	18,99	ТЭС (уголь) — 87,7%
Узбекистан	66,5 (2020)	16,7	ТЭС (газ) — 92,5%
Таджикистан	19,8 (2020)	5,8	ГЭС — 91%
Кыргызстан	15,0 (2023)	3,2	ГЭС — 93%
Туркменистан	22,6 (2016)	7,0	ТЭС (газ) — 100%

*Примечание: данные по Туркменистану приведены за 2016 год; новые данные отсутствуют в открытых источниках.

Удельный вклад каждой страны в общее производство электроэнергии региона также не однозначный. В общем производстве электроэнергии в ЦА доля Казахстана составляет около 43%, Узбекистана - 27%, Таджикистана - 8%, Кыргызстана - 6%, Туркменистана - 9%. Остальные 7% могут быть обусловлены различиями в годах предоставления данных и статистическими погрешностями.

Гидроэнергетика более развита в странах с горным рельефом - Кыргызстане и Таджикистане. Это связано с тем, что горный рельеф позволяет строить плотины с глубокими водохранилищами и, соответственно, генерировать больше энергии на меньшей площади, что является благоприятным в плане природоёмкости сооружаемых гидроэлектростанций (ГЭС). В равнинных регионах для достижения аналогичной мощности требуется значительно больше земли и показатель природоёмкости ГЭС возрастает. По имеющимся оценкам, экономически обоснованный гидроэнергетический потенциал Таджикистана составляет 264 ТВт·ч, а Кыргызстана — 55 ТВт·ч. Преимуществами гидроэнергетики являются возобновляемость гидроэнергии, в основе которой лежит естественный цикл воды. Производство электроэнергии на ГЭС не сопровождается выбросами парниковых газов. Гидроэлектростанции имеют длительный срок службы и могут функционировать десятилетиями при надлежащем обслуживании.

Следует отметить, что гидроэнергетика, являясь основным компонентом энергосистем Кыргызстана и Таджикистана, несмотря на выраженные преимущества, имеет потенциальные риски, которые могут ухудшить показатели ее природоёмкости. Основными рисками являются:

- выраженная зависимость от климата: засухи и изменения климата могут существенно снизить производство электроэнергии на ГЭС;
- экологическое воздействие: строительство плотин может нарушать экосистемы, миграционные пути рыб и приводить к затоплению территорий;
- высокие начальные инвестиции: строительство ГЭС требует значительных по сравнению с ТЭС капитальных вложений.

В таблице 3 приведен сравнительный анализ показателя природоёмкости электрических станций стран ЦА. Наименьшую природоёмкость среди тепловых станций региона демонстрирует Узбекистан, что связано с реализацией программ повышения эффективности на газовых ТЭС. Гидроэнергетика в Кыргызстане и Таджикистане показывает более низкую природоёмкость, однако имеет тенденцию роста, обусловленную изменением климата и, как следствие, снижением водообеспеченности ГЭС.

Таблица 3 - Сравнительный анализ природоемкости по странам ЦА (условная модель)

Страна	Тип генерации	Тренд ППЕ 2010–2020	Комментарий
Кыргызстан	ГЭС	Умеренный рост из-за изменения климата	Повышение испарений
Таджикистан	ГЭС	Рост (0.05 → 0.065)	Растущая водоёмкость
Узбекистан	ТЭС	Снижение (0.22 → 0.17)	За счёт повышения КПД и снижения удельного топлива
Казахстан	ТЭС	Умеренное снижение	Частичная модернизация блоков

Выполненное исследование показало, что наименьший показатель природоемкости производства 1 кВт.час электроэнергии имеет место в Кыргызстане, что иллюстрируется данными таблицы 4.

Таблица 4 - Сравнительная природоемкость производства 1 кВт·ч электроэнергии в странах Центральной Азии

Страна	Тип генерации	Природоемкость, 2020 (ед./кВт·ч)	Комментарий
Узбекистан	ТЭС	0.142	За счёт повышения КПД, снижения удельного топлива и модернизации
Казахстан	ТЭС	0.162	Незначительное снижение нагрузки за счёт улучшений в ТЭС
Кыргызстан	ГЭС	0.062	Рост испарений воды из-за климатических изменений
Таджикистан	ГЭС	0.064	Возрастающая водоёмкость крупных водохранилищ

В таблице 5 приведены ключевые параметры, влияющие на природоемкость, экологическую устойчивость и экономическую целесообразность различных типов электростанций. Приведенные показатели могут быть использованы для сравнительной технико-экономической и технико-экологической оценки различных типов генерации.

Таблица 5 - Ключевые параметры для оценки природоемкости, экологической устойчивости и экономической целесообразности различных типов электростанций

Параметр	ГЭС	ТЭС (уголь)	ТЭС (газ)	АЭС	ВЭС	СЭС
Установленная мощность, МВт	100–3600	300–800	100–600	1000+	2–10 (малая), 100+ (большая)	1–10 (малая), 100+ (пром)
Годовая выработка, млн кВт·ч	300–15000	1500–5000	1000–4000	7000–9000	5–300	5–300
КПД, %	90–95	30–40	40–60	~33	—	—
Срок службы, лет	80–100	30–50	25–40	40–60	20–30	25–30
Землепользование, га/МВт						
Объем стройматериалов, тыс.т/МВт	10–30	3–5	2–4	10–15	0,5–1	0,8–1,5
Условная природоемкость, усл. ед./кВт·ч	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-7} - 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
CO ₂ -выбросы, г/кВт·ч	0	800–1000	400–500	0 (при работе)	0	0
Отходы (опасные/радиоактивные)	Нет	Зола, шлак, CO ₂	CO ₂	Ядерные отходы	Нет	Нет
Риски для экосистем	Высокие (затопления)	Высокие (загрязнение)	Средние	Потенциально критические	Низкие	Средние (отчуждение земли)
Инвестиционные затраты, млн \$/МВт	2–4	1.2–2	0.8–1.5	4–6	1.2–2	1–1.5

Источник: Составлено авторами.

В таблице 5 показатель «Условная природоёмкость» (в усл. ед./кВт·ч) — это интегральный показатель, отражающий, какой объем природных ресурсов расходуется на производство 1 кВт·ч электроэнергии, с учетом: занимаемой территории, изъятых материалов, потреблённой воды, воздействия на экосистемы и др. ресурсов.

Обобщенная формула расчета природоёмкости R:

$$R = \sum_{i=0}^n (P_i \cdot K_i) / W \quad (1)$$

где:

- P_i — объем использования i -го природного ресурса,
- K_i — коэффициент природной ценности (или ущерба от использования) ресурса,
- W — годовая выработка электрической энергии, кВт·ч
- R — интегральный показатель природоёмкости, усл. ед./кВт·ч.

Ключевые технико-экономические и технико-экологические параметры различных типов электростанций иллюстрируются графиком, приведенным на рисунке 1. Чем ближе линия к внешнему краю — тем лучше показатель природоёмкости.

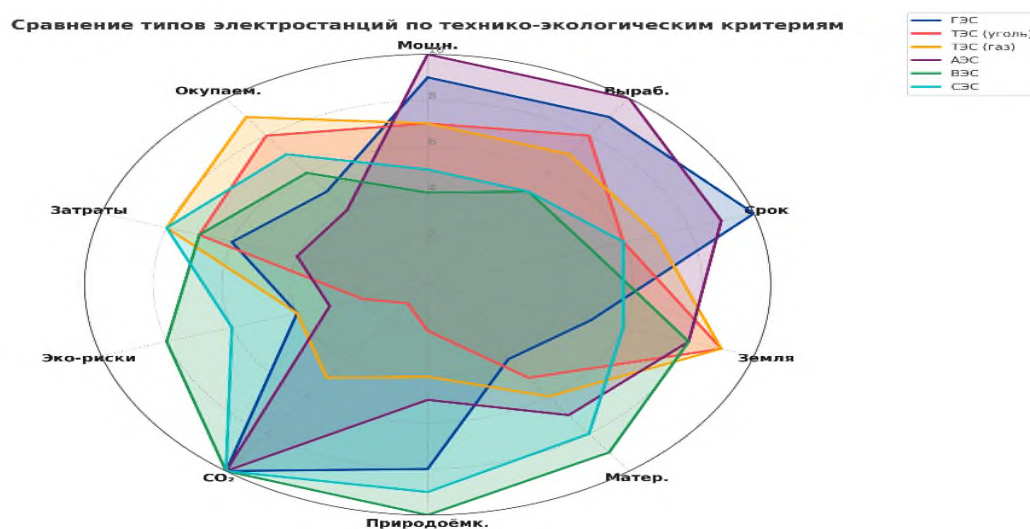


Рисунок 1 – Сравнительный график ключевых технико-экономических и технико-экологических параметров различных типов электростанций

На рисунке 2 показана агрегированная (взвешенная) оценка различных типов электростанций с учётом значимости каждого критерия.



Рисунок 2 - Агрегированная оценка показателя природоёмкости различных типов электрических станций

Как видно из графика 2, наиболее сбалансированными по экологическим и экономическим параметрам являются ветровые электростанции и солнечные электростанции. ГЭС и АЭС демонстрируют высокую мощность и долговечность, но уступают по природоёмкости и рискам. Тепловые электростанции (ТЭС) на угле и природном газе наименее устойчивы с точки зрения природных и климатических последствий.

Интегральный показатель природоёмкости различных типов генерирующих установок рассчитывается с помощью весовых коэффициентов использования различных ресурсов. Значение весового коэффициента каждого ресурса принимается в зависимости от его значимости в стране. Весовыми коэффициентами можно варьировать в зависимости от целей исследования. Например, в регионе с ограниченными водными ресурсами их весовой коэффициент принимается равным 0,3. В регионах с высокой плотностью населения весовой коэффициент по земле может быть принят равным 0,2. В случае использования на ТЭС импортного топлива его весовой коэффициент принимается равным 0,25. Для редких материалов (ресурсов) весовой коэффициент равен 0,25. По выбросам CO₂ (углеродный след) при условии приверженности к прогрессивной климатической политике весовой коэффициент принимается равным 0,1.

Расчеты показывают, что минимальный интегральный показатель природоёмкости характерен для ветровых и солнечных электростанций, особенно при отсутствии аккумуляторов. ГЭС и АЭС устойчивы, однако у гидроэнергетики водозависимость критична при изменении климата. ТЭС на органическом топливе демонстрируют наибольшую природоёмкость, особенно по углеродному следу и ресурсам.

Результаты расчетов интегрального показателя природоёмкости электрических станций стран Центральной Азии, выполненных на основе доступных данных, приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Интегральный показатель природоёмкости электрических станций в странах Центральной Азии

Тип станции	Таджикистан	Узбекистан	Казахстан	Туркменистан	Кыргызстан
ГЭС	0.420	0.395	0.285	0.350	0.430
ТЭС (уголь)	0.540	0.580	0.715	0.675	0.505
АЭС	0.260	0.270	0.320	0.305	0.250
СЭС	0.175	0.180	0.225	0.200	0.165
ВЭС	0.155	0.165	0.210	0.195	0.150

Источник: Рассчитано авторами по данным МЭА.

Данные таблицы 6 свидетельствуют о том, что наименьший интегральный показатель природоёмкости характерен для ВЭС и СЭС во всех странах региона. Ветровые и солнечные электростанции обладают наименьшей природоёмкостью по совокупным затратам ресурсов. Особенно это выражено в Таджикистане и Кыргызстане, где из-за существующих рисков по доступу к воде и горного рельефа приоритет ВЭС и СЭС в энергетической политике оправдан. ГЭС в Таджикистане и Кыргызстане имеют умеренный интегральный показатель природоёмкости. Вместе с тем несмотря на высокий водный след, ГЭС в этих странах остаются устойчивыми, так как весовые коэффициенты топлива и углеродного следа — минимальны. Основное воздействие на гидроэнергетику оказывает ее водоёмкость, однако вода является местным возобновляемым ресурсом и в ближайшей перспективе ограничения по доступу к ней не будут явно выраженными.

Угольные ТЭС являются наиболее природоёмкими в Казахстане и Туркменистане. Казахстан с его ресурсами угля и нефти всё ещё сильно зависит от ископаемых источников и это отражается на интегральном показателе природоёмкости. Узбекистан и Туркменистан также демонстрируют высокую природоёмкость ТЭС, что указывает на выраженную зависимость от топлива и выбросов CO₂. АЭС вследствие низкого углеродного следа и умеренных материальных затрат, использования значительного количества материалов и земли (при строительстве) имеет средний уровень природоёмкости во всех странах региона.

Ниже приведена последовательность расчета природоёмкости ГЭС и принятия решения о целесообразности ее сооружения с учетом потребления и трансформации природных ресурсов, которая предусматривает следующие этапы:

1. Подготовка исходных данных: мощность ГЭС (установленная, среднегодовая), объем производства электроэнергии, площадь затопления, объем строительных материалов, водоёмкость оборудования, срок службы станции.
2. Оценка потребления природных ресурсов: земельные ресурсы (га), водные ресурсы (м³), минеральные ресурсы (тонны),
3. Перевод ресурсов в эквиваленты природоёмкости: нормативные коэффициенты (например, га/кВт·ч, м³/кВт·ч), применение коэффициентов пересчета.
4. Расчет суммарной природоёмкости: Природоёмкость = Σ (использованные ресурсы × коэффициенты перевода) / произведенная энергия, усл.ед./ кВт·ч.
5. Нормализация и сравнение: приведение к 1 кВт·ч или 1 ГВт·ч, сравнение с другими видами генерации (например, ТЭС, СЭС, ВЭС).
6. Анализ результатов и выводы: эффективность, возможности для оптимизации.

Приведенный алгоритм положен в основу оценочных расчетов природоёмкости строящейся в Таджикистане Рогунской ГЭС установленной мощностью 3600 мВт. Результаты расчетов показали, что природоёмкость

(суммарная природная стоимость) этой ГЭС составляет 13758 усл. ед. Природоемкость 1 кВт·часа электрической энергии Рогунской ГЭС при годовой выработке 13,3 млрд кВт·ч составляет $1.035 \cdot 10^{-6}$ усл. ед. / кВт· час. Сравнительный анализ показывает, что это очень низкий показатель, особенно по сравнению с ТЭС. Гидроэнергетика традиционно считается относительно "благоприятной" к климату, хотя и оказывает сильное воздействие на экосистемы через затопление земель и изменение речных экосистем. Однако последнее в условиях горного рельефа менее значимо.

Исследования показывают на выраженную связь интегрального показателя природоемкости с энергетической безопасностью страны, устойчивостью ее энергетической системы. Чем выше интегральный показатель природоемкости — тем выше природная нагрузка и ниже устойчивость энергетической системы. Риски энергетической безопасности страны связаны с ее ресурсной уязвимостью, климатической и экономической устойчивостью, технической и технологической адаптивностью. Если производство электроэнергии требует больших объемов воды, топлива или земли, страна становится уязвимой от ограниченных ресурсов, нестабильности поставок топлива, сезонного характера доступности первичных энергоресурсов, изменения климата. Это снижает энергетическую безопасность, что характерно для такого вододефицитного региона, как Центральная Азия. Например, ГЭС с высоким интегральным показателем природоемкости в условиях интенсивного таяния ледников теряют стабильность выработки. Высокая углеродоёмкость (CO_2) означает сильную зависимость от углеродных источников, а значит – это рост климатических рисков, зависимость от международных климатических соглашений и санкций (углеродные пошлины), риски для экспорта энергоёмкой продукции. Примером может явиться Казахстан, для которого характерен высокий интегральный показатель природоемкости, и который сталкивается с давлением ЕС по снижению углеродного следа.

Как правило, высокая природоемкость означает низкую энергоэффективность, большие капитальные и операционные расходы, уязвимость к ценовым шокам (топливо, вода), высокую стоимость перехода к «зелёной» экономике. Чем выше интегральный показатель природоемкости, тем выше издержки — ниже экономическая безопасность энергосистемы и в целом страны.

Относительно технической и технологической адаптивности следует отметить, что энергетические системы с низким интегральным показателем природоемкости (например, ВЭС, СЭС) легче масштабируются, лучше интегрируются в децентрализованные электрические сети, более устойчивы к природным ограничениям, если адаптированы к конкретным условиям их сооружения и эксплуатации. Страны с низким интегральным показателем природоемкости проще адаптируют свою энергетику под устойчивые сценарии. Таким образом, чем ниже интегральный показатель природоемкости — тем выше уровень энергетической безопасности страны. Это обусловлено: меньшей зависимостью от дефицитных ресурсов, большей климатической и инфраструктурной устойчивостью, лучшей экономической эффективностью, гибкостью в условиях энергоперехода.

Выполненное исследование интегральных показателей природоемкости (ИПП) электростанций стран ЦА позволило выявить их связь с устойчивостью и энергетической безопасностью каждой страны, что иллюстрируется содержанием таблицы 7.

Таблица 7 - Связь интегрального показателя природоемкости с устойчивостью и энергетической безопасностью стран Центральной Азии

Страна	Энергобезопасность на базе ИПП	Выводы
Таджикистан	Относительно высокая за счёт ГЭС + потенциала ВИЭ	Рекомендуется развивать ВЭС/СЭС, особенно в зонах дефицита воды.
Узбекистан	Уязвимость из-за зависимости от ТЭС	Необходима декарбонизация и повышение энергоэффективности.
Казахстан	Высокий ИППЭ из-за угольной генерации	Критично важен переход к низкоуглеродным технологиям.
Туркменистан	Серьёзные затраты по топливу и материалам	Есть потенциал для солнечной генерации в пустынных районах.
Кыргызстан	Наилучший потенциал устойчивости за счёт ГЭС + ВИЭ	Поддерживать баланс водообеспечения и расширять ВИЭ.

На рис. 3 приведены оценочные значения индекса энергетической безопасности стран ЦА. Наименее уязвимым по уровню энергетической безопасности в регионе является Туркменистан, обладающий значительными ресурсами углеводородов.

Индекс энергетической безопасности Кыргызстана и Таджикистана составляет соответственно 0,57 и 0,56, что еще раз подтверждает уязвимость развитой в этих странах гидроэнергетики. Риски энергетической безопасности региона в целом существуют и сохраняют свою актуальность.

Результаты выполненного исследования свидетельствует о том, что оценка и эффективные меры по снижению интегрального показателя природоемкости должны быть частью национальных стратегий энергетической безопасности, особенно в странах Центральной Азии, где водные, топливные и климатические риски критически важны.

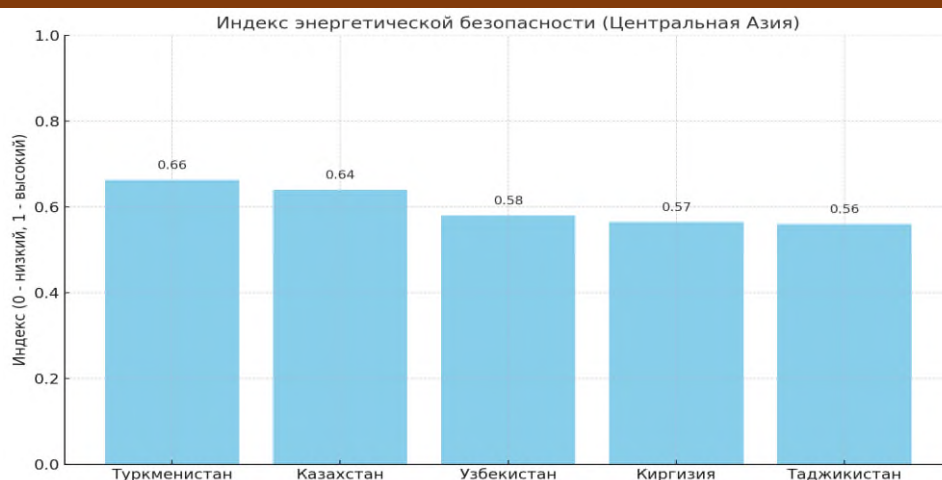


Рисунок 3 – Индекс энергетической безопасности стран Центральной Азии

Заклучение:

Для обеспечения устойчивого энергетического развития стран необходимо:

- снижение зависимости от углеводородов и гидроресурсов;
- развитие и интеграция возобновляемых источников энергии;
- укрепление и развитие регионального энергетического сотрудничества и обмена водными и энергетическими ресурсами.

Реализация этих мер может повысить энергетическую безопасность и устойчивость энергетических систем стран Центральной Азии в условиях глобальных климатических и экономических изменений.

Рецензент: Назиров Х.Б. — к.т.н., доцент, зав.кафедрой электроэнергетики Филиала ННУ "МЭИ" в г. Душанбе.

Литература

1. Power sector carbon intensity in the European Union 2023, by country [Электронный ресурс] // Statista. – Режим доступа: <https://www.statista.com>
2. Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four As. Energy Policy, 75, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>
3. Жижин, Д. А. Показатели устойчивости электроэнергетики и критерии их оценки. // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, 2020, №3.

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

TJ	RU	EN
Ахророва Алфия Дадахановна	Ахророва Альфия Дадахановна	Akhrorova Alfiya Dadakhanovna
д.и.и., профессор	д.э.н., профессор	Doctor of Economic Sciences, Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: aaiphia@mail.ru		
TJ	RU	EN
Гарибмамадов Д.Р.	Гарибмамадов Д.Р.	Garibmamadov D.R.
Донишгоҳи Ханзеи илмҳои амалӣ, Гронинген, Ҳолланд	Университет прикладных наук Ханзе, Гронинген, Нидерланды	Hanze University of Applied Sciences, Groningen, Netherlands
E-mail: daler.garibmamadov@gmail.com		

УДК 620.91(.92)+626.2

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

А.К. Киргизов, С.Р. Ниёзӣ, С.У.Довудов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Использование установок, работающих с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), имеет ряд недостатков, особенно это касается поддержания частоты на допустимом уровне. Регулирование частоты систем, состоящих из установок ВИЭ, имеет много нерешённых проблем. Особенно это связано с отсутствием инерционной мощности таких установок. В статье приведены методы регулирования частоты системы с использованием сохранённой кинетической энергии в лопастях ветротурбин. Приведён теоретический анализ возможности использования данного метода регулирования частоты.

Ключевые слова: ветрогенератор, частота, инерция, мощность, скорость, изменение, напряжение.

БА ШАБАКИ ЭЛЕКТРИКИ ПАЙВАСТ КАРДАНИ МАНЪБАҶОИ БАҶРАҚОРАШАВАНДА ВА ҒАЙРИАНЪАНАВИИ ЭНЕРГИЯ

А.К. Қирғизов, С.Р. Ниёзӣ, С.У. Довудов

Истифодаи дастгоҳҳое, ки бо истифода аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия (МБҒЭ) кор мекунад, як қатор нуқсонҳо дорад, махсусан нигоҳ доштани басомад дар сатҳи қобили қабул. Танзими басомади системае, ки аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия иборат аст, мушкилоти зиёди ҳалношуда дорад. Ин ҳусусан аз сабаби набудани қувваи инерсионии ҷунин дастгоҳҳо мебошад. Дар мақола усулҳои танзими басомади система бо истифода аз энергияи кинетикии захирашуда дар ҷарҳҳои турбинаи бодӣ пешниҳод карда мешавад. Таҳлили назариявии имкони таъбиқи ин усули нигоҳдории басомадҳо оварда шудааст.

Калидвожаҳо: генератори шамолӣ, басомад, инерсия, қувва, суръат, тағирот, шиддат.

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ELECTRIC GRID

A.K. Kirgizov, S.R. Niyozov, S.U. Dovudov

The use of installations operating on the use of renewable energy sources (RES) has a number of disadvantages, especially maintaining the frequency at an acceptable level. Frequency regulation of a system consisting of RES installations has many unsolved problems. This is especially due to the lack of inertial power of such installations. The article presents methods for regulating the frequency of a system using the stored kinetic energy in the blades of wind turbines. A theoretical analysis of the possibility of implementing this method of maintaining frequency is given.

Keywords: wind generator, frequency, inertia, power, speed, changes, voltage.

Введение

Таджикистан как страна с ограниченными запасами ископаемого топлива и экологическими проблемами, связанными с потеплением и таянием ледников, стремится увеличивать долю использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая и геотермальная. В последние годы было введено в строй несколько солнечных электростанций, и планируется введение новых более крупных мощностей. На сегодняшний день в эксплуатацию СЭС мощностью 200 кВт, и планируется строительство СЭС мощностью 4 МВт со стороны компании «Памир Энерджи» и строительство СЭС мощностью 200 МВт в Согдийской области, и введение в строй ветровых электростанций. Тенденция увеличения выработки электроэнергии от ВИЭ наблюдается по всему миру. Все страны поставили перед собой цель - увеличить долю ВИЭ в выработке электроэнергии к 2050 году до 80 %. На рисунке 1 показаны доли использования ВИЭ по странам.

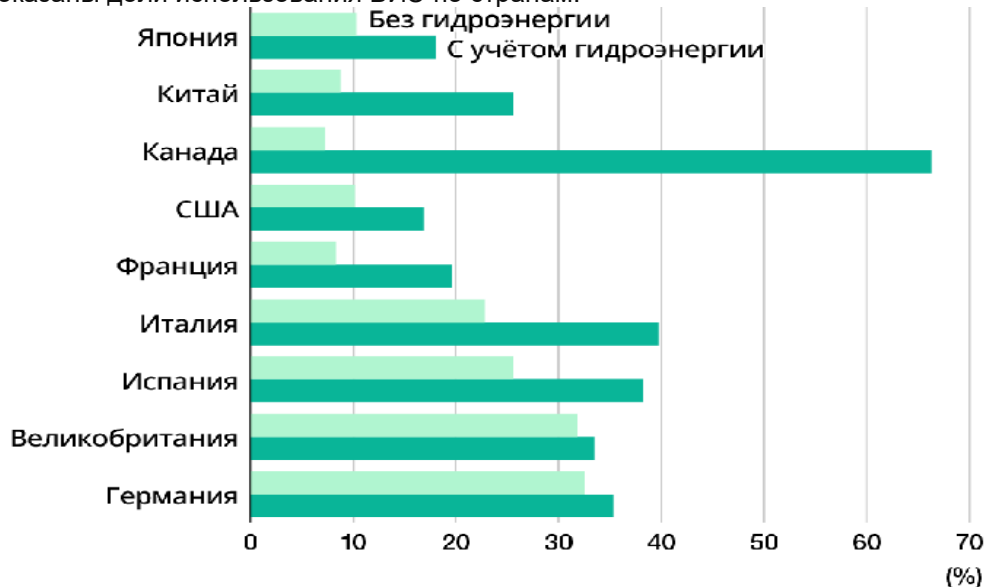


Рисунок 1 – Доля возобновляемых источников энергии и цели по странам

Однако использование ВИЭ сопровождается рядом проблем, особенно солнечной и ветровой энергии из-за зависимости от метеорологических факторов. Непредсказуемость таких источников создаст проблемы устойчивой работы энергосистемы, надёжность обеспечения потребителей. Вышеперечисленные факторы увеличивают уязвимость энергосистемы, имеющую значительную долю ВИЭ в своём составе. В таблице приведены сравнительные параметры между солнечным, ветровым и синхронным генератором.

Таблица 1 – Сравнение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с синхронным генератором (СГ)

Характеристики	Солнечная	Ветровая	Синхронный генератор
Колебания	Больше	Меньше	Нет
Стоимость для большого масштаба	Больше	Средняя	Низкий или средний
Стоимость обслуживания	Минимум	Больше	Умеренный
Инерция	Без инерции	Низкая инерция	Высокая
Коэффициент мощности	Очень низкий	Низкий средний	Больше
Ежегодный рост в электроэнергетике	Очень высокий	Больше	Больше

Подключение установок ВИЭ особенно СЭС осуществляется с помощью преобразовательных устройств. Инверторы обеспечивают основные показатели качества электроэнергии.

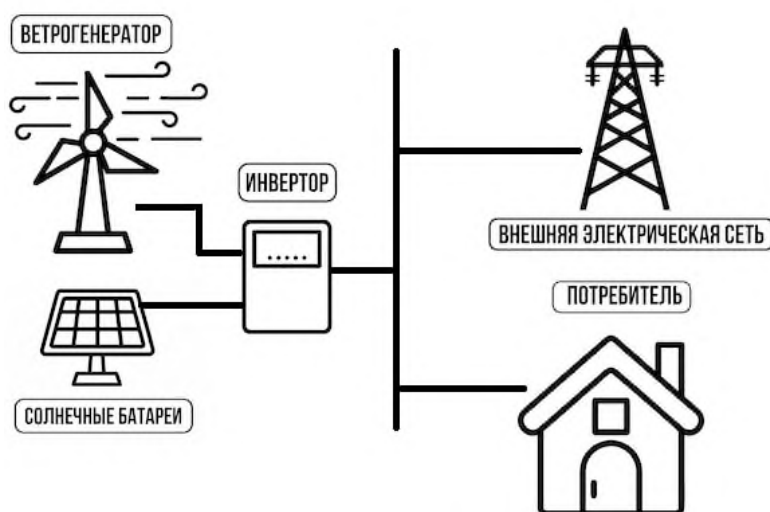


Рисунок 2 – Интеграция ВИЭ с сетью

Проблемы интеграции в сеть с высокой долей ВИЭ

Подключение к системе солнечных и ветровых электростанций сопровождается несколькими проблемами. Возмущение в системе может привести к понижению частоты и напряжения. Одной из основных проблем использования СЭС и ВЭС большой мощности является понижение напряжения при каких-либо возмущениях, которое приводит к отсоединению СЭС и ВЭС от системы. Если к сети подключены несколько СЭС и ВЭС, при возмущениях в сети отключатся все установки, которые приведут к большим экономическим потерям.

Влияние интеграции ВИЭ на частоту

В любых системах частота в системе должна соответствовать основным требованиям ГОСТ и не должна выходить за пределы допустимых значений. Частота сбалансирована, когда выработка равна потреблению. Если система более жёсткая, то частоту системы можно регулировать при возмущениях с помощью кинетической энергии генераторов. Наличие в системе устройств, имеющих инерционность, позволяет регулировать некоторые возмущения частоты, появляющиеся в системе.

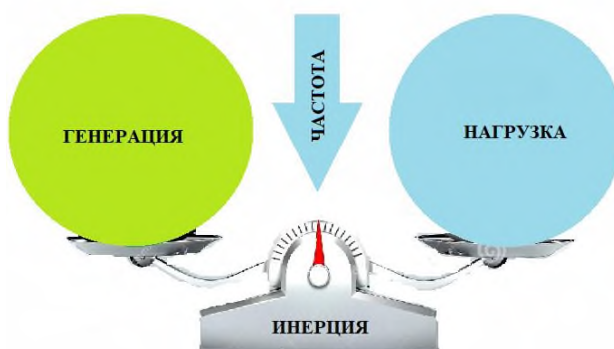


Рисунок 3 – Баланс мощности в сети энергосистемы

Баланс мощности в системе может использовать временные показатели, показания на рисунке 3.

Частотная характеристика энергосистемы состоит из следующих этапов [10]:

1. Инерционное регулирование (несколько секунд).
2. Первичный частотный отклик — отклик регулятора (1–10 с).
3. Вторичный частотный отклик — отклик управления регулятором области (секунды или минуты).

При небалансе мощности в основном начинает снижаться частота. Изменение частоты на начальной стадии в основном зависит от инерционности самой системы. Если в системе имеется запас инерционной мощности, то отклонение частоты наблюдается намного меньше. В основном регулирование частоты на первых этапах зависит от реакции регулятора инерционной системы, которая начинает работать при достижении частоты минимального значения.

При увеличении доли ВИЭ в системе отклонение частоты будет намного чаще из отсутствия генераторов. Силовая электроника, которая используется для преобразования из постоянного в переменный, не имеет возможность участвовать в регулировании частоты, поэтому необходимо придумать методы регулирования с учётом возможности установки ВИЭ.

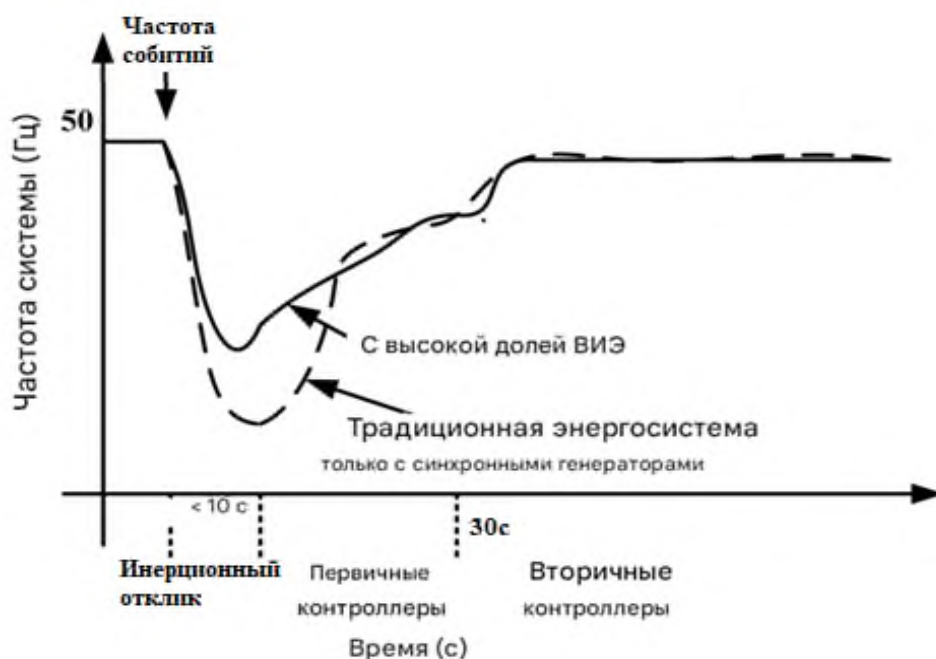


Рисунок 4 – Частотная характеристика энергосистемы

Повышение и колебание напряжения

По ГОСТ падение напряжения на шинах у потребителя допускается до $\pm 6\%$ от номинального. При подключении солнечных и ветровых установок к сети вопросы регулирования напряжения становятся актуальной задачей. Любые возмущения в виде короткого замыкания и др. будут ощутимо влиять на падение напряжения в сети.

Влияние ВИЭ на перепады напряжения в сети

Требования к качеству напряжения является основным требованием к электрическим сетям. В основном падение напряжения наблюдается в конце линии. Также нужно учитывать, что падение напряжения не должно быть ниже допустимого значения при максимальной нагрузке.

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_i R_{ij} + Q_i X_{ij}}{U_i} \quad (1)$$

Уравнение показывает падение напряжения в сети.

где, ΔU_{ij} – падения напряжения в сети; P_i и Q_i – активная и реактивная мощность; R_{ij} и X_{ij} – активное и реактивное сопротивление сети.

СЭС и ВЭС подключается к сети, в том случае, если мощность сети ниже мощности требуемой нагрузки. Процесс подключения СЭС и ВИЭ зависит от их активной и реактивной мощности нагрузки и сопротивления самой сети.

Негативные воздействия от возобновляемых источников энергии на систему можно решать путём применения различных методов управления частотой и напряжением.

Методы управления частотой для ВИЭ

Существует несколько методов, которые можно использовать для регулирования частоты электрических систем с большой долей солнечных и ветровых электростанций. Основные методы регулирования частоты электрических сетей с большой долей ВИЭ - это разгрузки части мощности или аккумулярование энергии.

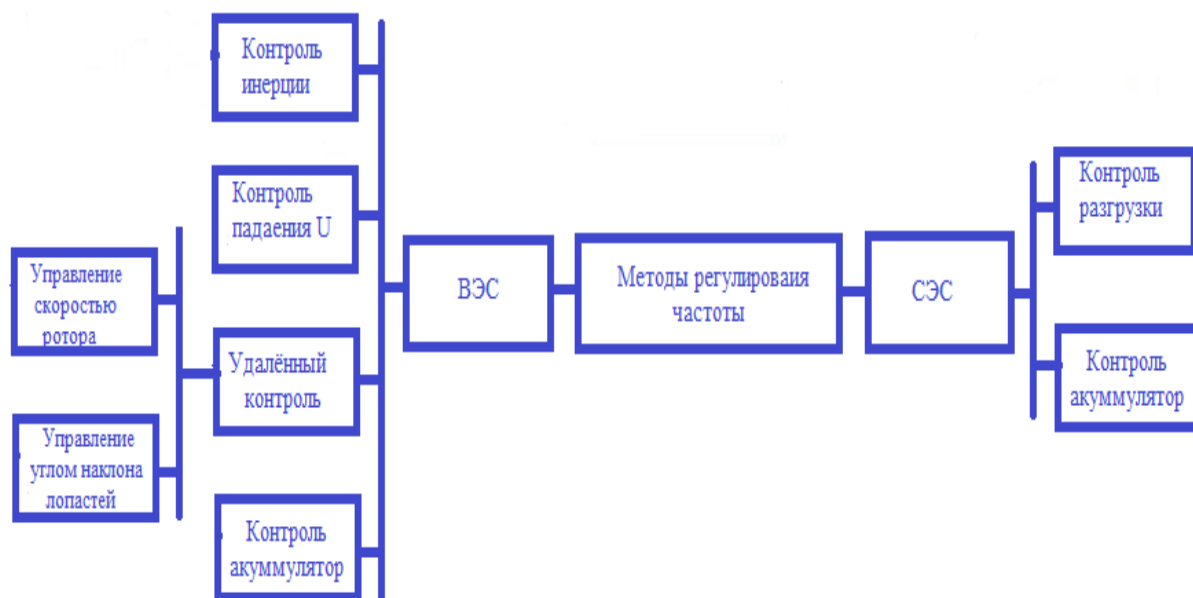


Рисунок 5 – Методы управления частотой для ВИЭ

Методы управления, используемые для ветровых турбин

Методы управления частотой ветряной турбины можно классифицировать тремя способами, а именно:

1. Управление инерцией
2. Управление падением напряжения
3. Управление разгрузкой.

В случаях, когда количество ветровых турбин в системе больше, можно использовать инерционность ВИЭ для поддержания уровня частоты и качества напряжения. Запас кинетической энергии ветровых турбин имеется как скрытый, так и при вводе новых мощностей.

Использование запасённой энергии

Модуляция эквивалентной энергии, которая имеется в ветровых турбинах, используется для поддержания частоты. Силовые электронные преобразователи, которые используются для преобразования в соответствии с алгоритмом управления, позволяют использовать кинетическую энергию, сохранённую в лопастях для регулирования частоты системы.

Имеющая эквивалентная (запасённая) инерция в ВЭС используется в соответствии с алгоритмом силовой электроники, которая позволяет использовать кинетическую энергию, запасённую в лопастях ветровой турбины. Эквивалентную инерцию ветровой турбины можно определить по формуле:

$$H = \frac{J\omega_{\text{ном}}^2}{2S}, \quad (2)$$

где J – инерция ветряной турбины, S – номинальная мощность турбины; $\omega_{\text{ном}}$ – номинальная угловая скорость.

В среде Matlab с использованием библиотеки Simulink разработана структурная модель системы управления преобразователем ВЭС с эмуляцией инерции дроб - регулированием и MPPT - контролем.

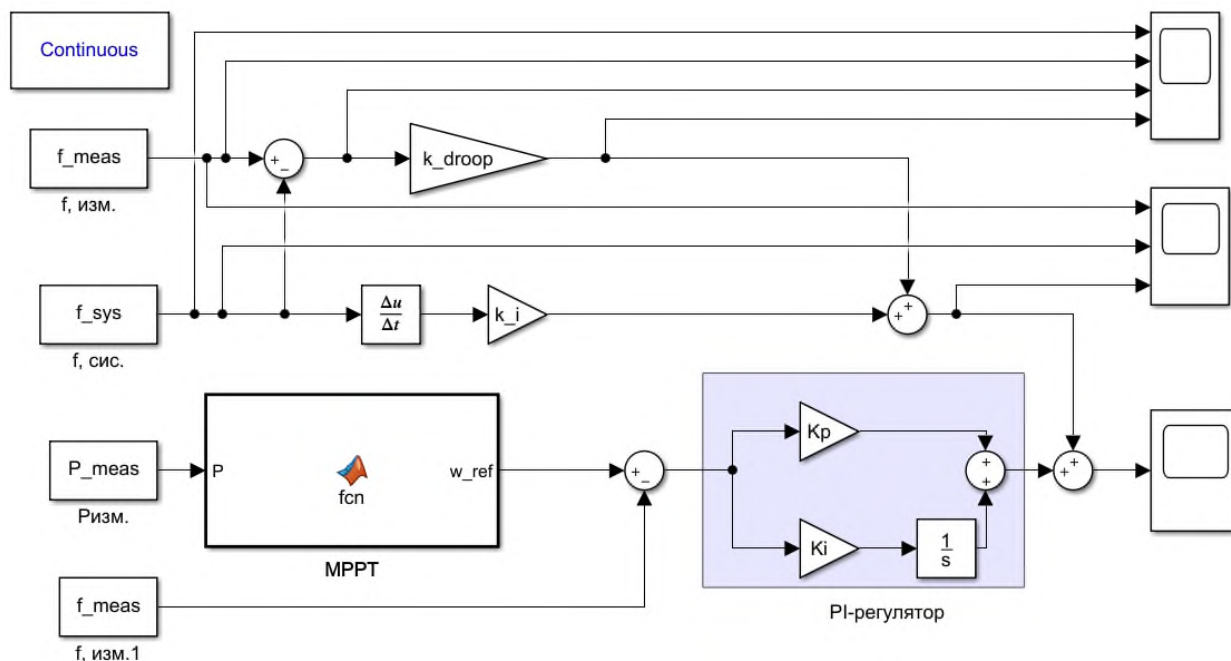


Рисунок 6 – Структурная модель управления инерцией от ВЭС

Основные данные, которые используются при моделировании записаны в виде Script-a, приведены ниже:

```
f_meas = 49; % Измеренная частота в Гц
f_sys = 50; % Частота системы в Гц
P_meas = 800000; Измеренная мощность в Вт
k_droop = 10;
k_i = 5;
Kp = 100;
Ki = 200;
```

Входными данными для оценки состояния системы являются измеренная частота ($f_{\text{изм}}$) и частота системы ($f_{\text{сис}}$). На основе измеренной частоты с помощью блока MPPT определяется соответствующее значение максимальной мощности.

Ниже приведены результаты моделирования, которые показывают графическое изменение частоты при вводе запасённой энергии в лопасть ветротурбины.

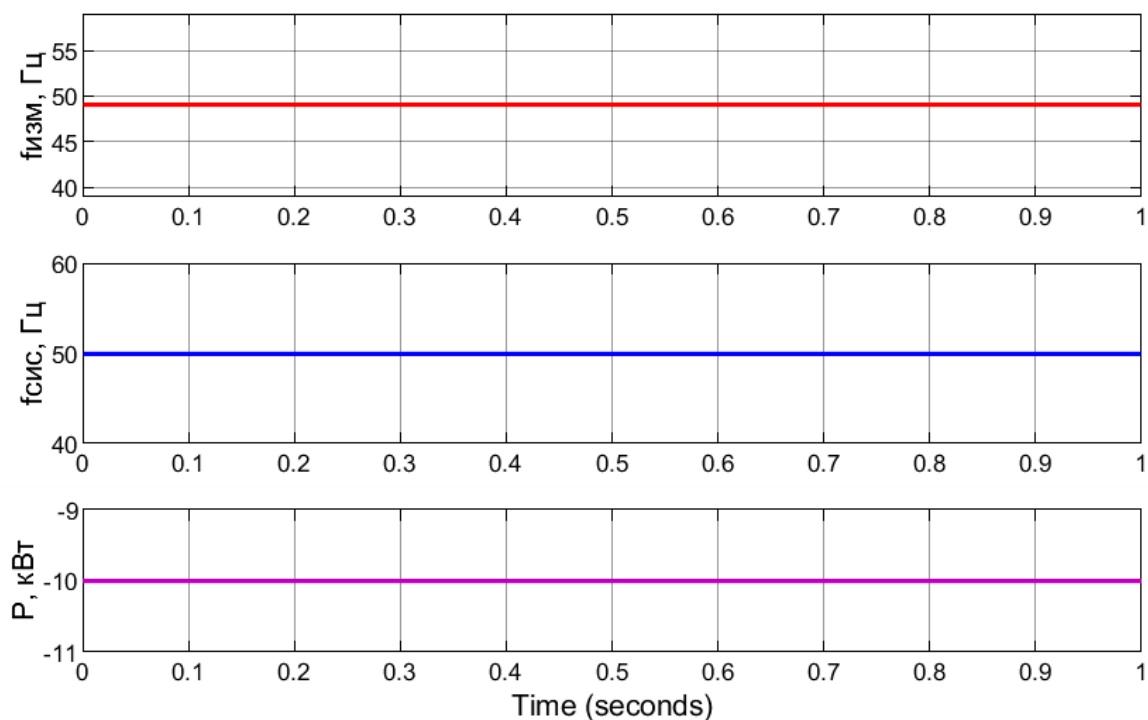


Рисунок 7 – Графики изменения частоты при введении КЭ лопастей ВЭС

Инерционная мощность ветротурбины определяется следующим образом:

$$P_{\text{инерции}} = 2H\omega_{\text{сист}} \frac{d\omega_{\text{сист}}}{dt}, \quad (3)$$

где $\omega_{\text{сист}}$ — угловая частота системы равна, ω_r — опорная угловая частота.

При равновесии мощностей активную мощность регулирует контроллер. При нарушении баланса и снижения частоты алгоритм вводит инерционную мощность, запасённую в лопастях. Инерционную мощность, запасённую в лопастях, можно определить следующим образом:

$$P_{\text{инерции}} = K_{\text{инерции}} \frac{df}{dt} + K_{\text{затухания}} \Delta f, \quad (4)$$

где $K_{\text{инерции}}$ и $K_{\text{затухания}}$ — коэффициенты инерции и падающего усиления (затухания) соответственно.

Кинетическая энергия в ветрогенераторах из-за наличия контроллера мощности выдает мощность намного быстрее по сравнению с синхронными генераторами благодаря использованию электронного преобразователя мощности. Ветроэлектростанции, которые могут работать с переменной скоростью, могут дать больше запасённой кинетической энергии. Также поддержание частоты зависит от скорости ввода запасённой мощности.

Быстрый ввод резерва мощности

Ввод дополнительной инерционной мощности ветровых турбин зависит от колебания частоты. Быстрый ввод резерва мощности — это постоянная поддержка параметров турбины для сохранения частоты на должном уровне независимо от скорости ветра. Быстрый ввод резерва мощности — это мощность, которая сохранена в лопастях и ее можно высвобождать из кинетической энергии при вращении лопастей. На рисунке показана характеристика ввода резерва ветровой турбины.

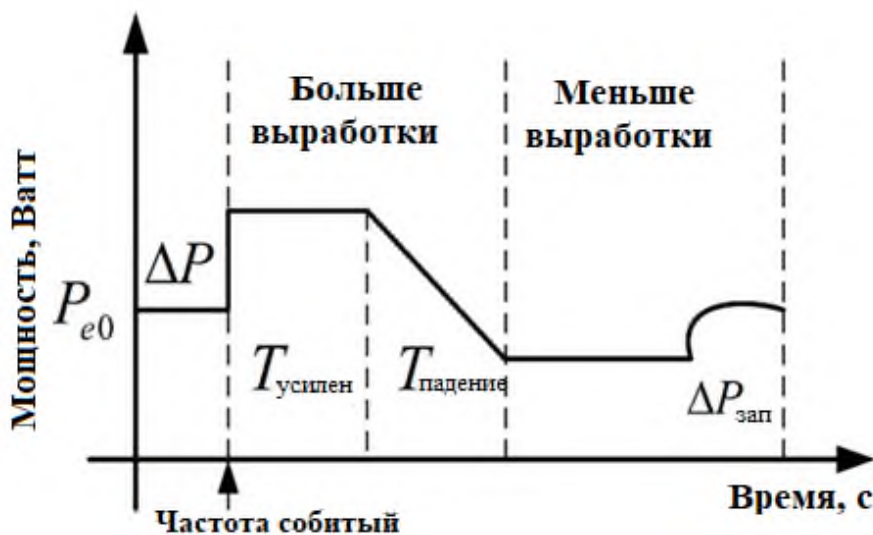


Рисунок 8 — Характеристики быстрого ввода резерва

Выводы

Колебания частоты и снижения напряжения в системах, состоящих из возобновляемых источников, являются одной из главных проблем при эксплуатации. Существует много разных методик регулирования частоты, которые можно приспосабливать для систем, состоящих из ВИЭ. Метод использования сохранённой кинетической энергии в лопастях ветротурбин является одним из приемлемых методов регулирования частоты.

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

Литература

1. Ulbig, A.; Borsche, T.S.; Andersson, G. Impact of low rotational inertia on power system stability and operation. IFAC Proc. **2014**, 19, 7290–7297. [CrossRef]
2. Patel, M.R. Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2005; pp. 87–101.
3. Manusov V.Z. Optimization of the operating mode of a hybrid power complex consisting of renewable energy sources / Manusov V.Z., Kirgizov A.K., Sultonov sh.m.// В сборнике: Actual problems of electronic instrument engineering (apeie) - proceedings apeie - 2018. 14 th international scientific-technical conference. 2018. с. 286-289
4. Zhong, Q.C. Virtual Synchronous Machines: A unified interface for grid integration. IEEE Power Electron. Mag. **2016**, 3, 18–27. [CrossRef]

5. Hales, D. Renewables 2018 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network. 2018. Available online: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> (accessed on 20 April 2019).
6. Shah, R.; Mithulananthan, N.; Bansal, R.C.; Ramachandaramurthy, V.K. A review of key power system stability challenges for large-scale PV integration. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2015**, 41, 1423–1436. [CrossRef]
7. Eriksen, P.B.; Ackermann, T.; Smith, P.; Winter, W.; Garcia, J.M. System operation with high wind penetration. *IEEE Power Energy Mag.* **2005**, 3, 65–74. [CrossRef]
8. Huang, Z.M. Research of the problems of renewable energy orderly combined to the grid in smart grid. In Proceedings of the Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Chengdu, China, 28–31 March 2010.
9. Киргизов А.К. Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии / Киргизов А.К., Ганиев З.С., Джалилов Р.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. № 1 (41). С. 34-46.
10. Hansen, M.O.L. (2000). *Aerodynamics of Wind Turbines: Rotors, Loads and Structure*, James & James, London, U.K., 144p.

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

TJ	RU	EN
Қирғизов Алифбек Қирғизович	Киргизов Алифбек Киргизович	Kirgizov Alifbek Kirgizovich
дотсент	доцент	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
E.mail: alifbekkirgizov@gmail.com		
TJ	RU	EN
Ниёзӣ (Чоршанбиев) Сирочиддин Рачаббоқӣ	Ниёзи (Чоршанбиев) Сироджиддин Ражаббоки	Niyoz (Chorshanбиев) Sirojiddin Rajabboki
и.в. дотсент	и.о. доцента	Acting Associate Professor
Вазорати маориф ва илмӣ Ҷумҳурии 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
Довудов Сарфароз Умедович	Довудов Сарфароз Умедович	Dovudov Sarfarozi Umedovich
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 academic M.S.Osimi
E.mail: sarfarozdovudov@gmail.com		

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

С.У. Довудов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной работе представлен сравнительный анализ энергетической эффективности автономных инверторов напряжения (АИН), которые используются в фотоэлектрических установках. Исследование трехфазного автономного инвертора напряжения в режимах проводимости 120° , 180° и 150° проводилось с помощью имитационной модели, разработанной в среде MATLAB с использованием блоков из Simscape. Представлены результаты имитационного компьютерного моделирования фазных токов, фазных и линейных напряжений при RL-нагрузке, а также анализ гармонических искажений (THD) для этих режимов проводимости. Установлено, что энергетическая эффективность АИН в фотоэлектрических установках определяется не только выбранной элементной базой (IGBT- или MOSFET-транзисторами), но и во многом зависит от выбранного алгоритма модуляции полупроводниковых ключей. В заключение проведен сравнительный анализ и представлены результаты расчетов статических и динамических потерь, а также КПД АИН в данных режимах проводимости.

Ключевые слова: автономный инвертор напряжения, фотоэлектрическая установка, модуляция, проводимость, энергетическая эффективность, гармонические искажения.

ТАҲЛИЛИ САМАРАНОКИИ ИНВЕРТОРҲОИ МУСТАҚИЛИ ШИДДАТ ДАР ДАСТГОҲҲОИ ФОТОЭЛЕКТРИКӢ

С.У. Довудов

Дар ин мақолаи илмӣ, таҳлили муқоисавии самаранокии энергетикӣ инверторҳои мустақили шиддат (ИМШ), ки дар системаҳои фотоэлектрикӣ истифода мешаванд, мавриди таҳлил қарор дода шудааст. Таҳқиқоти инвертори мустақили шиддати сефазагӣ дар реҷаҳои гузаронандагии 120° , 180° ва 150° бо ёрии модели имитатсионӣ, ки дар муҳити MATLAB бо истифода аз блокҳои Simscape таҳия шудааст, гузаронида шуд. Натиҷаҳои модели компютерӣ ҷараёнҳои фазавӣ, шиддатҳои фазавӣ ва ҳаттӣ ҳангоми бори RL, инчунин таҳлили таҳрифи гармоникӣ (THD) барои ин реҷаҳо пешниҳод шудааст. Муайян шуд, ки самаранокии энергетикӣ ИМШ дар системаҳои фотоэлектрикӣ на танҳо бо истифода аз намуди элементҳои нимноқилӣ (транзисторҳои IGBT ё MOSFET), балки бештар аз ҳама ба алгоритми интихобии модулятсияи калидҳои нимноқилӣ вобаста аст. Дар ҳуҷҷаи таҳлили муқоисавии анҷом дода шуда, натиҷаҳои ҳисобҳо барои талафотҳои статикӣ ва динамикӣ, инчунин самаранокии ИМШ дар ин реҷаҳои гузаронандагӣ пешниҳод шудааст.

Калимаҳои асосӣ: инвертори мустақили шиддат, системаи фотоэлектрикӣ, модулятсия, гузаронандагӣ, самаранокии энергетикӣ, таҳрифи гармоникӣ.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTERS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

S.U. Dovudov

This paper presents a comparative analysis of the energy efficiency of autonomous voltage inverters (AVI) used in photovoltaic systems. The study of a three-phase autonomous voltage inverter in conduction modes of 120° , 180° , and 150° was carried out using a simulation model developed in MATLAB with Simscape blocks. The results of computer-based simulation modeling of phase currents, phase and line voltages for RL loads are presented, as well as an analysis of harmonic distortions (THD) for these conduction modes. It has been established that the energy efficiency of AVI in photovoltaic systems is determined not only by the chosen component base (IGBT or MOSFET transistors) but also largely depends on the selected modulation algorithm of semiconductor switches. In conclusion, a comparative analysis was conducted, and the results of calculations of static and dynamic losses, as well as the efficiency of AVI in these conduction modes, are presented.

Keywords: voltage source inverter, photovoltaic system, modulation, conduction, energy efficiency, harmonic distortions.

Введение

Сегодня невозможно представить нашу жизнь без применения электрической энергии. Большинство электрооборудования, которым мы пользуемся, работает на переменном токе. Если источник переменного тока недоступен в течение ограниченного периода времени, то возникает необходимость преобразования накопленной энергии постоянного тока в энергию переменного тока [1-4]. Это можно осуществить с помощью полупроводникового преобразователя, называемого инвертором.

Функция инвертора заключается в преобразовании входного напряжения постоянного тока в симметричное выходное напряжение переменного тока требуемой величины и частоты [5]. Существует множество типов инверторов, которые могут применяться в различных сферах. Например, в фотоэлектрических установках используются автономные инверторы напряжения (АИН), которые преобразуют энергию солнечных элементов в переменный ток. На современном уровне развития солнечной энергетики ведутся разработки новых и усовершенствование существующих структур и схемотехнических решений с использованием солнечных панелей и полупроводниковых преобразователей электрической энергии [1, 2, 6].

В инверторе выходное напряжение может быть фиксированным или изменяемым при фиксированной или переменной частоте. Переменное выходное напряжение может быть получено путем изменения входного

напряжения постоянного тока при постоянном коэффициенте усиления инвертора. Коэффициент усиления инвертора можно определить как отношение выходного напряжения переменного тока к входному напряжению постоянного тока.

Для работы инвертора необходимы управляющие сигналы, формирующие выходное напряжение. Частота этих сигналов может быть как низкой, так и высокой. Высокочастотное переключение реализуется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для создания управляемых и сложных инверторных систем. В то же время низкочастотное переключение используется в более простых системах.

Инверторы, работающие в режимах проводимости 120° , 150° и 180° , несмотря на одинаковую топологию, имеют различные выходные формы тока и напряжения. В идеальном случае выходное напряжение инвертора должно быть синусоидальным. Однако на практике формы выходного напряжения инвертора не являются синусоидальными и содержат определенные гармоники.

Качество управления и энергетические показатели инверторов существенно зависят от применяемых алгоритмов управления. Поэтому уменьшение гармонических искажений и улучшение выходного напряжения являются важными факторами, которые необходимо учитывать.

Постановка задачи

Развитие солнечной энергетики и интеграция фотоэнергетических систем (ФЭС) в различные сооружения, здания и другие энергетические системы приводят к повышению требований к данным системам и качеству генерируемой электроэнергии. Эти требования в основном касаются качества и количества электроэнергии, а также функциональных возможностей полупроводниковых преобразователей, с использованием которых разрабатываются ФЭС. Важнейшим показателем работы автономного инвертора напряжения (АИН) в фотоэлектрических установках является его энергетическая эффективность, которая определяется следующими показателями:

- коэффициентом полезного действия (КПД), зависящим от статических и динамических потерь в ключах, а также от дополнительных потерь, связанных с сопротивлением проводников и питанием цепей управления;
- коэффициентом пульсации и спектром высших гармоник входного тока, от которых зависят дополнительные потери в линиях электроснабжения;
- синусоидальностью выходного напряжения и выходного тока, влияющими на дополнительные потери от высших гармоник в нагрузке, которой чаще всего является асинхронный электродвигатель.

Вышеприведенные показатели энергетической эффективности АИН зависят не только от используемых транзисторов (биполярных NPN, PNP или полевых MOSFET, IGBT, SiC MOSFET, GaN FET), но и от выбранного алгоритма модуляции. Поэтому исследование влияния различных алгоритмов модуляции на энергетическую эффективность работы АИН является актуальной задачей и требует научного подхода.

Теоретическая часть

Фотоэлектрическая панель, состоящая из солнечных элементов (рисунок 1), осуществляет преобразование энергии солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока (DC). DC-DC преобразователь служит промежуточным звеном, обеспечивающим адаптацию уровня напряжения постоянного тока посредством понижающего или повышающего преобразования, тем самым оптимизируя параметры электропитания для последующих этапов системы. DC/AC преобразователи (инверторы), обеспечивающие связь между солнечными панелями или индивидуальными согласующими преобразователями с нагрузкой или промышленной сетью переменного тока, являются неотъемлемой частью современных фотоэнергетических систем.

В настоящее время применяется большое количество топологий преобразователей как однофазных, так и трехфазных. В зависимости от типа источника питания и соответствующей топологии силовой схемы, автономные инверторы классифицируются как автономный инвертор напряжения (АИН) и автономный инвертор тока (АИТ) [7].

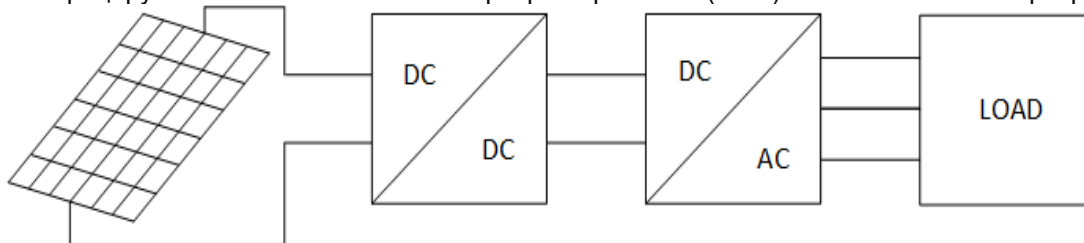


Рисунок 1 – Структурная схема фотоэлектрической системы с преобразованием напряжения

В АИН определяющим параметром является форма выходного напряжения переменного тока. В то время как в АИТ определяющим параметром является форма выходного тока. Трехфазный АИН при подаче постоянного напряжения на вход преобразует его в переменное напряжение на выходе при подаче соответствующих управляющих сигналов на ключи. Чтобы поддерживать входное постоянное напряжение неизменным, иногда на входных клеммах инвертора устанавливают большой конденсатор, который также подавляет гармоники, возвращаемые в источник постоянного тока.

Стандартный трехфазный автономный инвертор напряжения, показанный на рисунке 2, состоит из шести основных силовых ключей (VT1-VT6), работа которых зависит от используемой схемы модуляции, и шести обратных диодов (VD1-VD6). Обратные диоды, подключенные параллельно ключам VT1-VT6, возвращают накопленную энергию от индуктивной нагрузки обратно в источник постоянного тока.

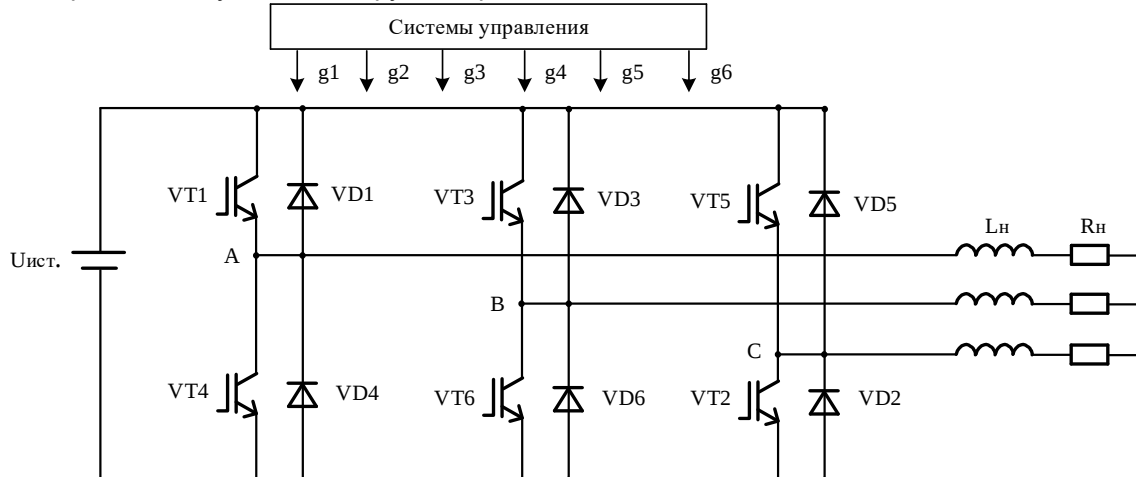


Рисунок 2 – Трехфазный автономный инвертор напряжения

Существующие алгоритмы модуляции, применяемые в АИН, можно классифицировать на два основных типа: алгоритмы, основанные на широтно-импульсной модуляции (ШИМ), и алгоритмы, реализующие однотоковую модуляцию. В рамках однотоковой модуляции выделяют 120-, 150- и 180-градусные методы управления.

В режиме 120° управления АИН каждый ключ работает в течение 120° общего периода или $2\pi/3$ радиан [8, 9]. В любой момент времени только два ключа одновременно находятся в состоянии проводимости. В этом режиме проводимости существует задержка $\pi/6$ между включением и выключением ключей того же плеча, вследствие чего удается избежать режима. Сигналы управления силовыми ключами АИН в режиме 120-градусного управления приведены на рисунке 3. Последовательность включения транзисторов можно записать следующим образом: VT1-VT6, VT1-VT2, VT2-VT3, VT3-VT4, VT4-VT5 и VT5-VT6.

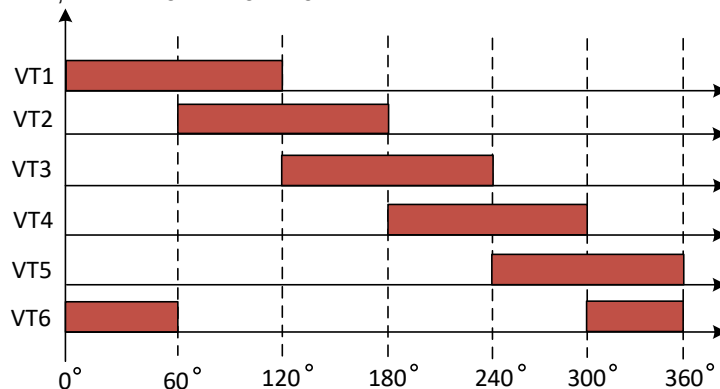


Рисунок 3 – Сигналы управления ключами АИН при 120° проводимости

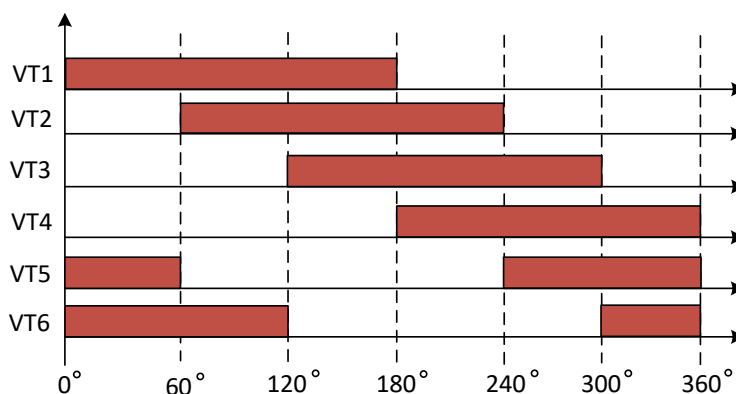


Рисунок 4 – Сигналы управления ключами АИН при 180° проводимости

В режиме 180-градусного управления АИН в любой момент времени только три ключа находятся в состоянии проводимости, два из которых относятся к одной группе (два верхних или два нижних), а оставшийся один - из другой группы [10]. Через каждые 60° или $\pi/3$ радиан один из проводящих ключей отключается, а некоторые другие ключи начинают проводить. Таким образом, нет временной задержки между выключением и включением верхнего и нижнего ключа одной и той же ветви, поэтому может существовать возможность короткого замыкания источника постоянного тока через верхние и нижние ключи одной ветви.

Сигналы управления силовыми ключами АИН в режиме 180-градусного управления показаны на рисунке 4, а последовательность включения транзисторов можно записать следующим образом: VT1-VT5-VT6, VT1-VT2-VT6, VT1-VT2-VT3, VT2-VT3-VT4, VT3-VT4-VT5 и VT4-VT5-VT6.

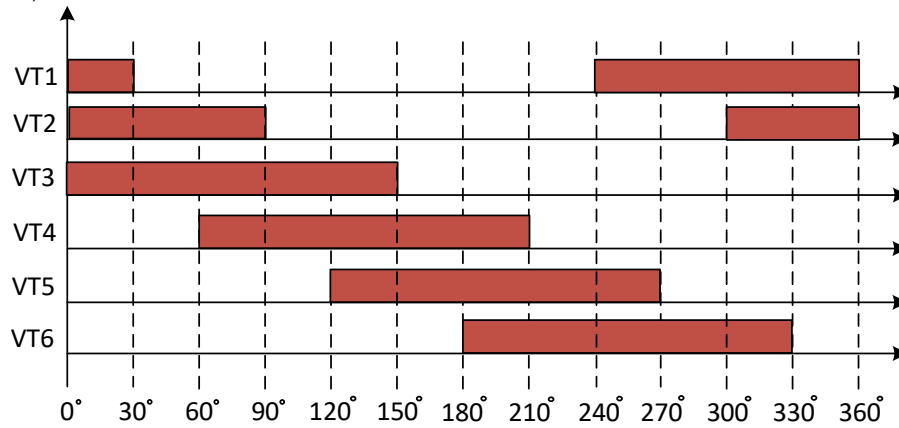


Рисунок 5 – Сигналы управления ключами АИН при 150° проводимости

В режиме 1500 каждый транзистор проводит 1500 цикла в инверторе [11-13]. Для завершения одного цикла выходного переменного напряжения инвертор в режиме 150° (в отличие от режима 1800 и режима 1200) имеет двенадцать ступеней продолжительностью 30° каждая. Сигналы управления силовыми ключами АИН в режиме 150-градусного управления показаны на рисунке 5, а последовательность включения транзисторов можно записать следующим образом: VT1-VT2-VT3, VT2-VT3, VT2-VT3-VT4, VT3-VT4, VT3-VT4-VT5, VT4-VT5, VT4-VT5-VT6, VT5-VT6, VT5-VT6-VT1, VT6-VT1, VT6-VT1-VT2 и VT1-VT2.

Методика исследований

Для исследования энергетических показателей АИН с исследуемыми алгоритмами модуляции в программе MATLAB с использованием блоков из библиотеки Simscape разработана имитационная модель трехфазного АИН, которая показана на рисунке 7.

Моделирование АИН производилось с параметрами, которые указаны в таблице 1.

Имитационная модель содержит следующие блоки: блок трёхфазного автономного инвертора напряжения на шести IGBT/Diode-модулях (VT1/VD1 – VT6/VD6); блоки системы управления; блок расчета потерь мощности в инверторе; блок нагрузки (R_n , L_n); комплект измерительных приборов.

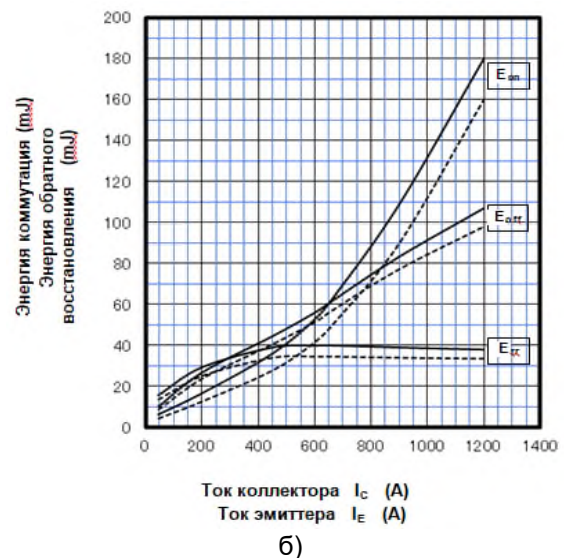
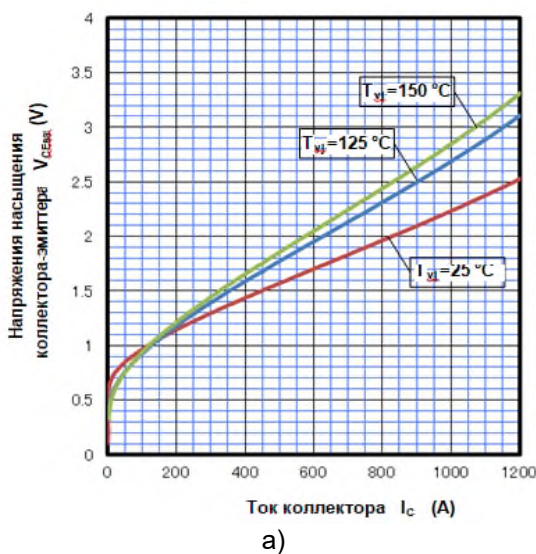


Рисунок 6 – Энергетические характеристики IGBT-транзистора типа CM600DX-24T1: а) ВАХ транзистора $U_{ce}(I_c)$; б) зависимости энергии включения $E_{on}(I_c)$, выключения $E_{off}(I_c)$ и восстановления обратного диода от тока эмиттера $E_{rr}(I_e)$

Таблица 1 - Основные параметры имитационной модели трехфазного АИН

Параметры	Величина
Тип схемы	Трехфазный автономный инвертор напряжения
Напряжение в цепи постоянного тока	600 В
Частота выходного напряжения	50 Гц
Активное сопротивление нагрузки	1 Ом
Индуктивность нагрузки	1,047 мГн
$\cos\varphi$	0,95
Тип IGBT-транзистора	CM600DX-24T1

В этой модели для расчета потерь мощности в модулях IGBT-транзисторах выбран IGBT-транзистор типа CM600DX-24T1 фирмы MITSUBISHI с номинальным током 600 А, максимальным напряжением между коллектором и эмиттером $U_{CE} = 1200$ В. Энергетические характеристики данного транзистора показаны на рисунке 6.

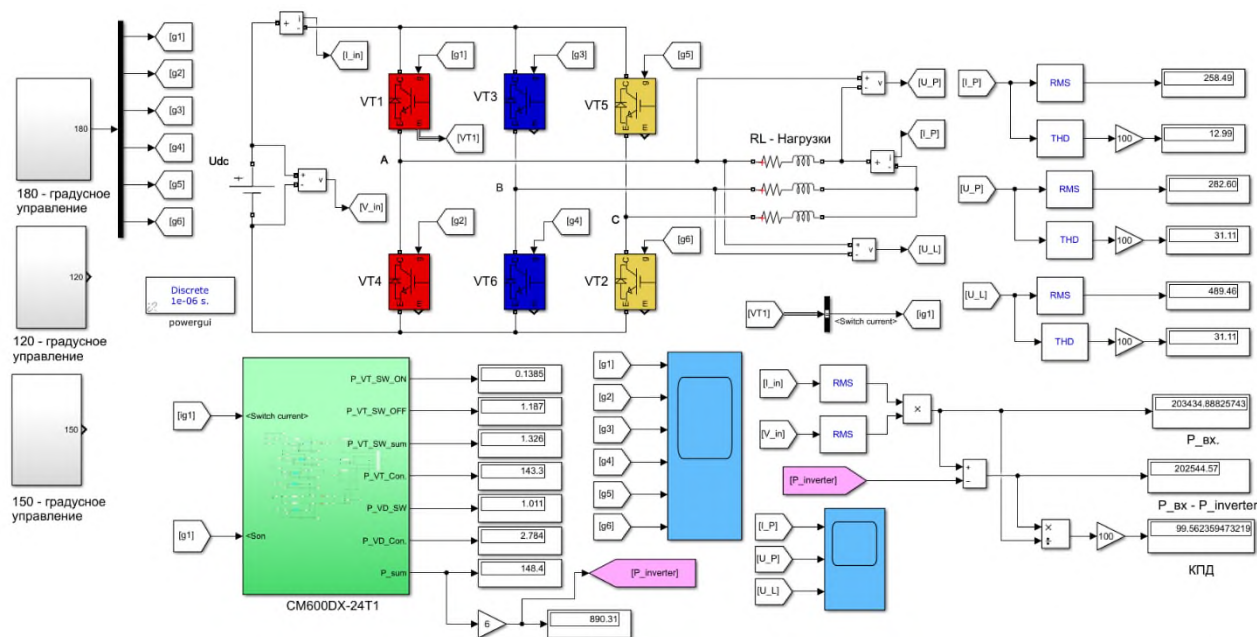
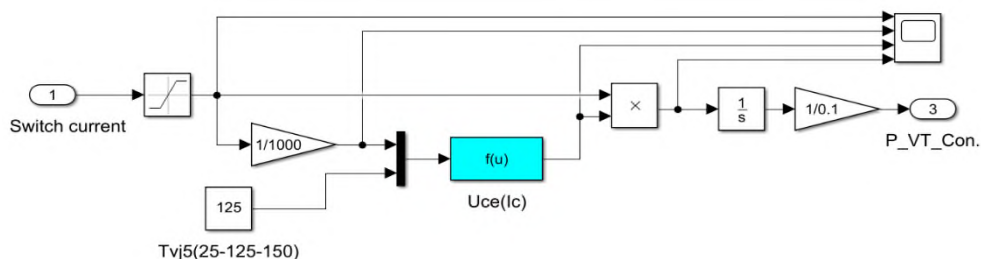


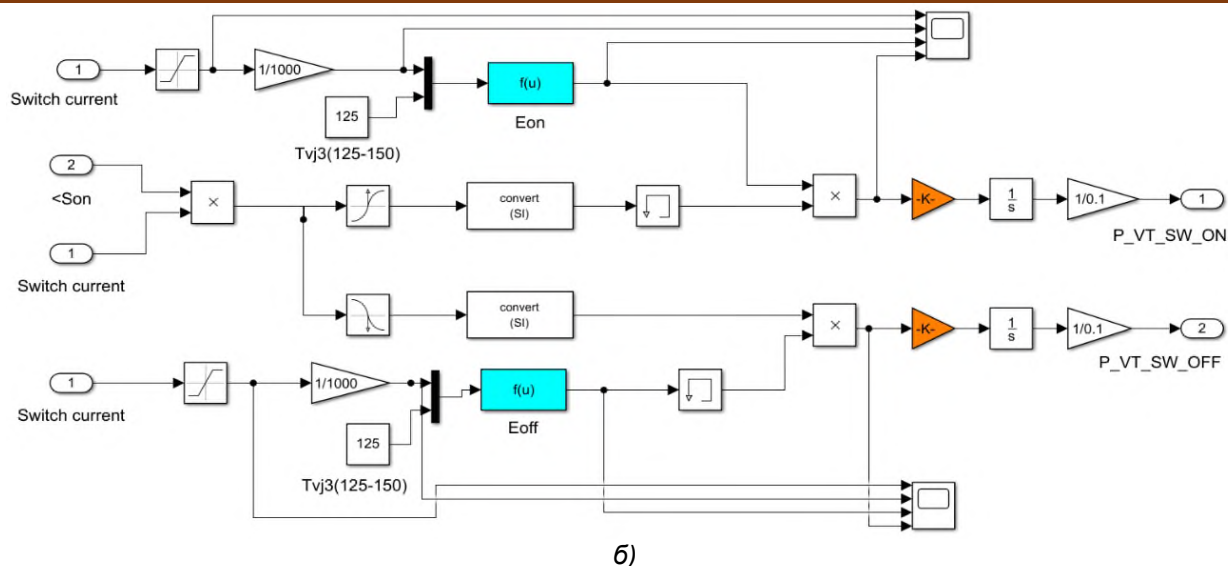
Рисунок 7 – Имитационная модель трехфазного АИН

Определение статических и динамических потерь мощности в силовых ключах выполнено путем разработанной имитационной модели, которая подробно описана в работах [14-17].

Имитационные модели блоков расчета статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе типа CM600DX-24T1 приведены на рисунке 8.



а)



б)

Рисунок 8 – Имитационные модели расчета потерь мощности: а) статические потери мощности в IGBT-транзисторе; б) динамические потери мощности в IGBT-транзисторе

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе моделирования получены диаграммы выходного фазного тока, фазного и линейного напряжения при 120° управлении с активно-индуктивной нагрузкой (рисунок 9), а также гармонические искажения по току (рисунок 10а) и напряжению (рисунок 10б). Гармонические искажения по току составляют 24,09%, а по напряжению – 57,22%.

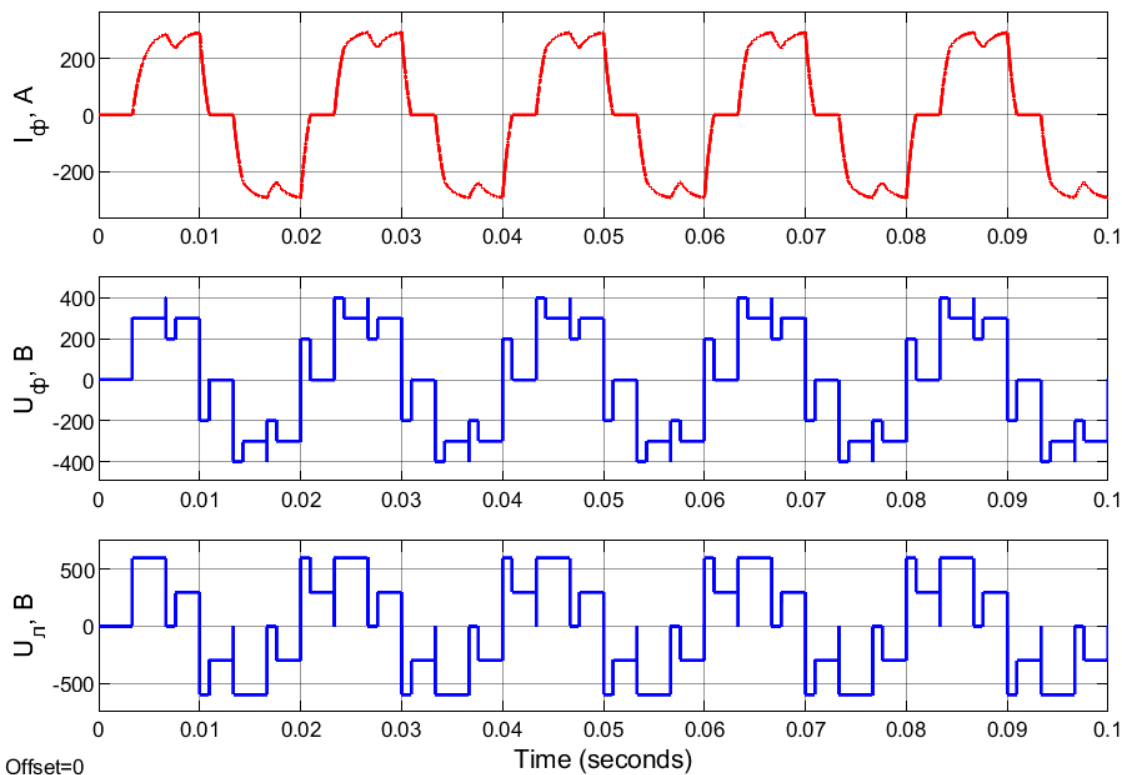


Рисунок 9 – Результаты моделирования выходного тока и напряжения АИН при реализации 120° управления на RL-нагрузке

Результаты моделирования выходного фазного тока, фазного и линейного напряжения АИН при реализации 180° управления с RL-нагрузкой приведены на рисунке 11. Гармонические искажения по току и напряжению представлены на рисунке 12. Гармонические искажения по току составляют 13%, а по напряжению – 31,11%.

Формы выходных сигналов при углах переключения 120° и 180° различны, поэтому получаются разные среднеквадратичные значения фазного и линейного напряжения. В режиме проводимости 180° действующее значение выходного напряжения больше, чем при угле 120° , что является основным преимуществом 180° режима проводимости.

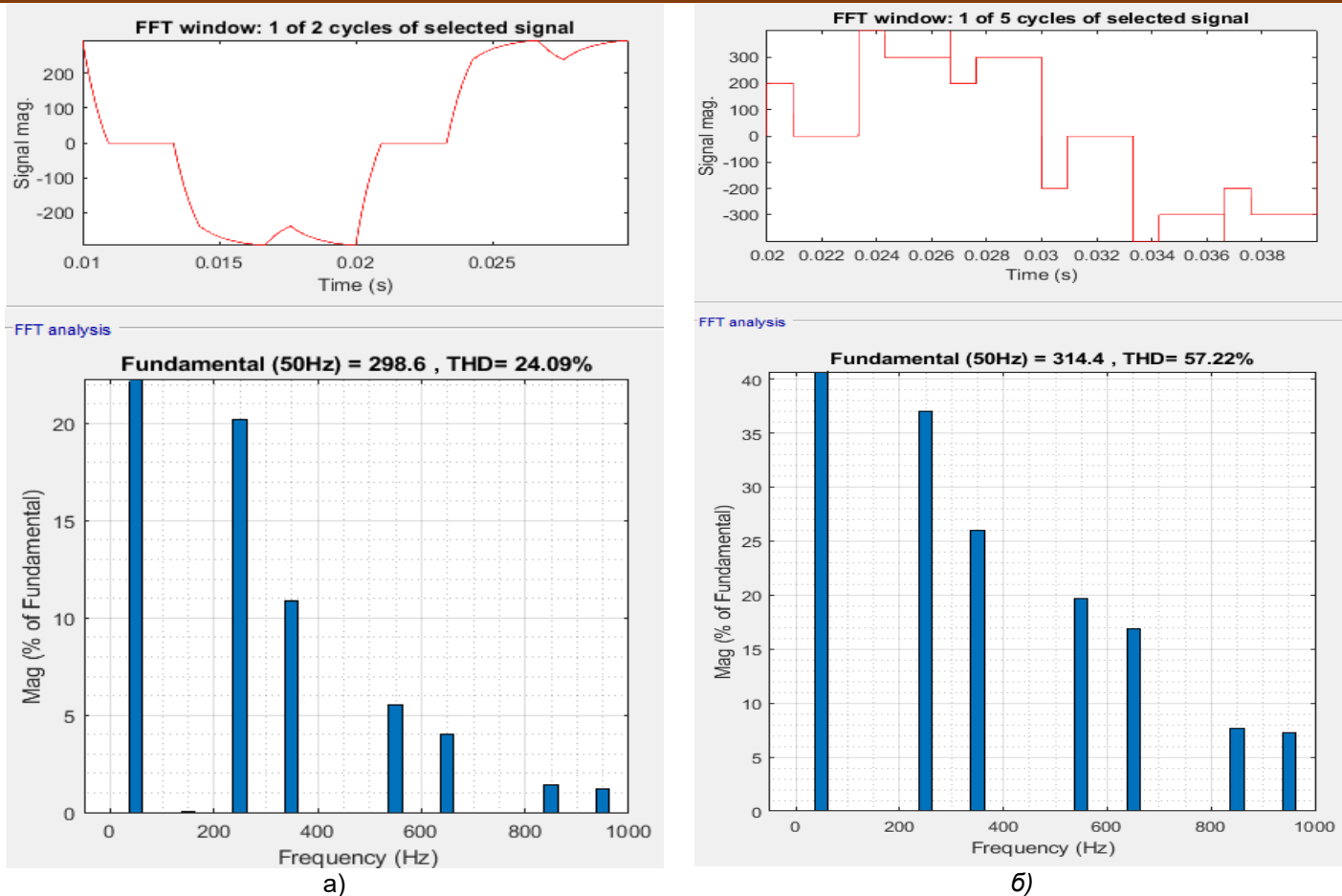


Рисунок 10 – Гармонические искажения по результатам моделирования АИН при реализации 120° управления: а – I_ϕ АИН при RL-нагрузке; б – U_ϕ АИН при RL-нагрузке

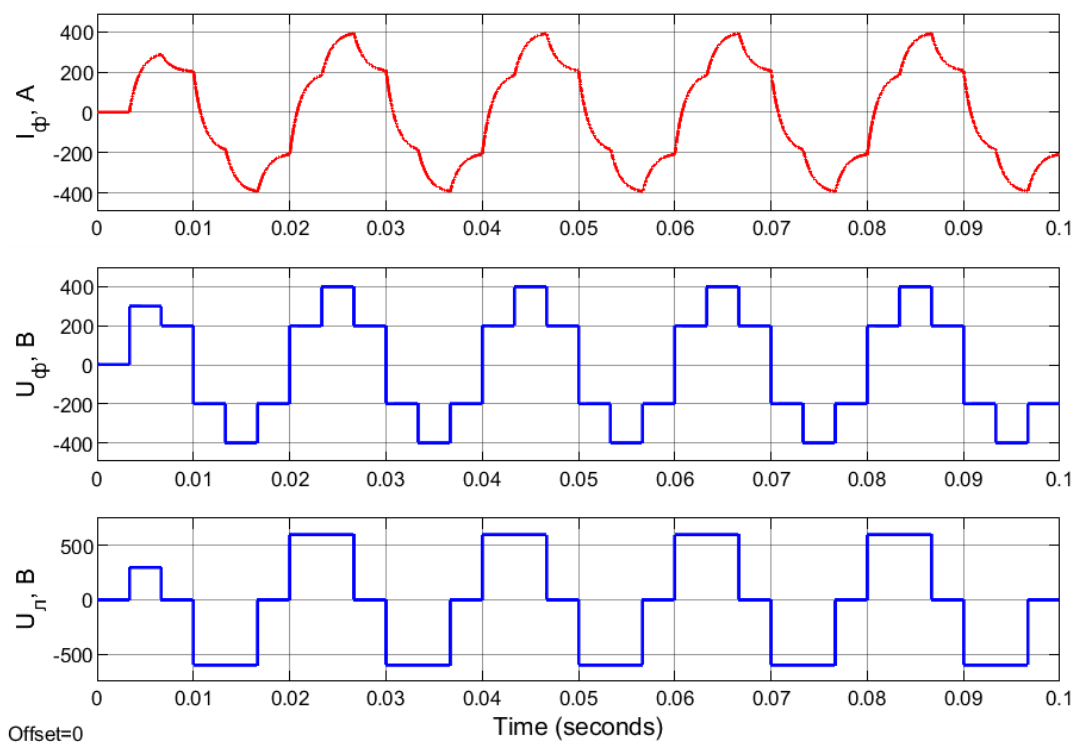


Рисунок 11 – Результаты моделирования выходного тока и напряжения АИН при реализации 180° управления: а – I_ϕ , U_ϕ , U_n АИН при R-нагрузке; б – I_ϕ , U_ϕ , U_n АИН при RL-нагрузке

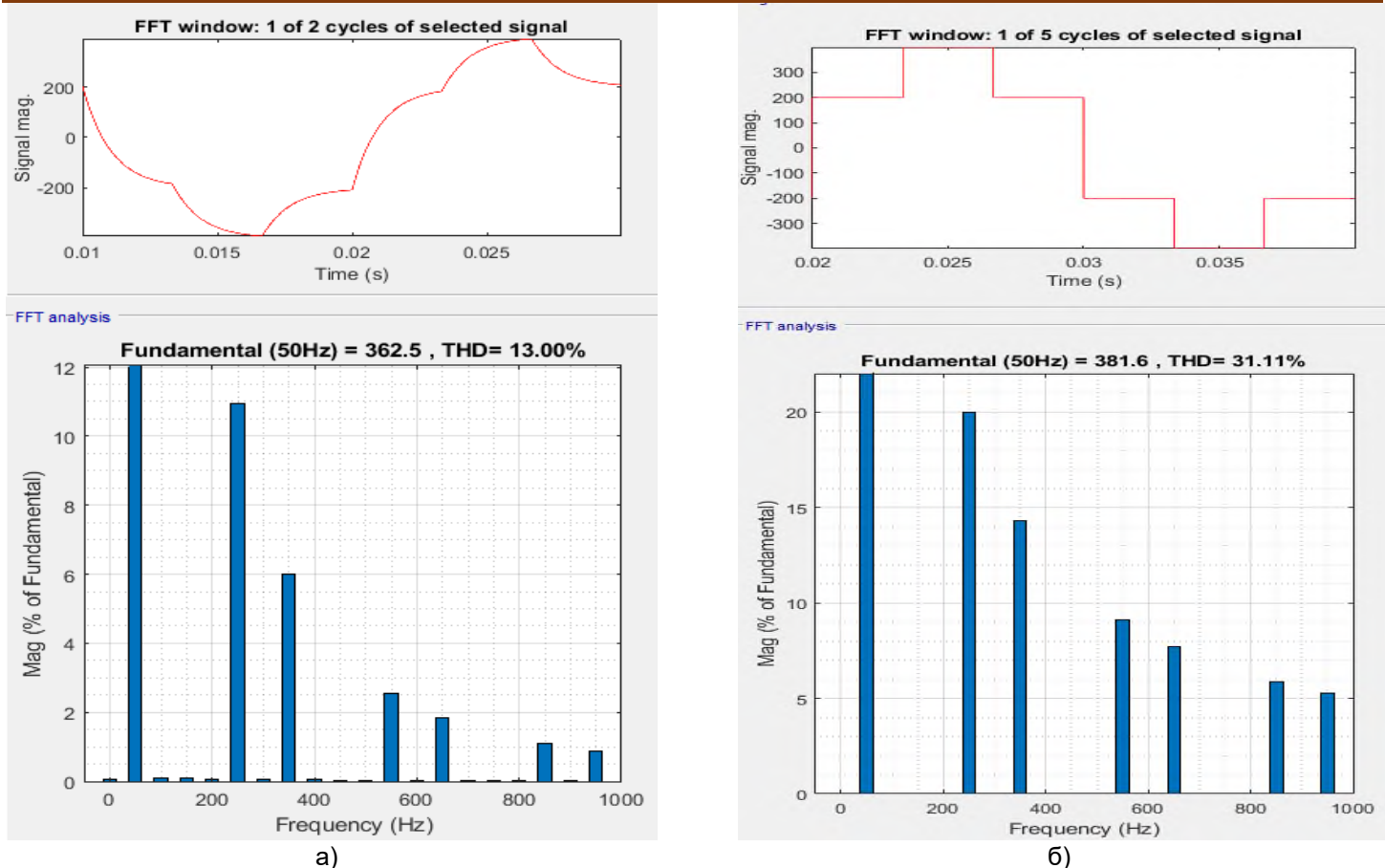


Рисунок 12 – Гармонические искажения по результатам моделирования АИН при реализации 180° управления: а – I_ϕ АИН при RL-нагрузке; б – U_ϕ АИН при RL-нагрузке

Таким образом, в режиме 180° управления при тех же параметрах питающего напряжения и при той же нагрузке амплитуда 1-й гармонической составляющей выходного напряжения будет значительно выше.

Результаты моделирования выходного фазного тока, фазного и линейного напряжения АИН при реализации 150° управления с RL-нагрузкой приведены на рисунке 13. Гармонические искажения по току и напряжению по результатам имитационного моделирования представлены на рисунке 14. Гармонические искажения по току составляют 12,12%, а по напряжению - 36,41%.

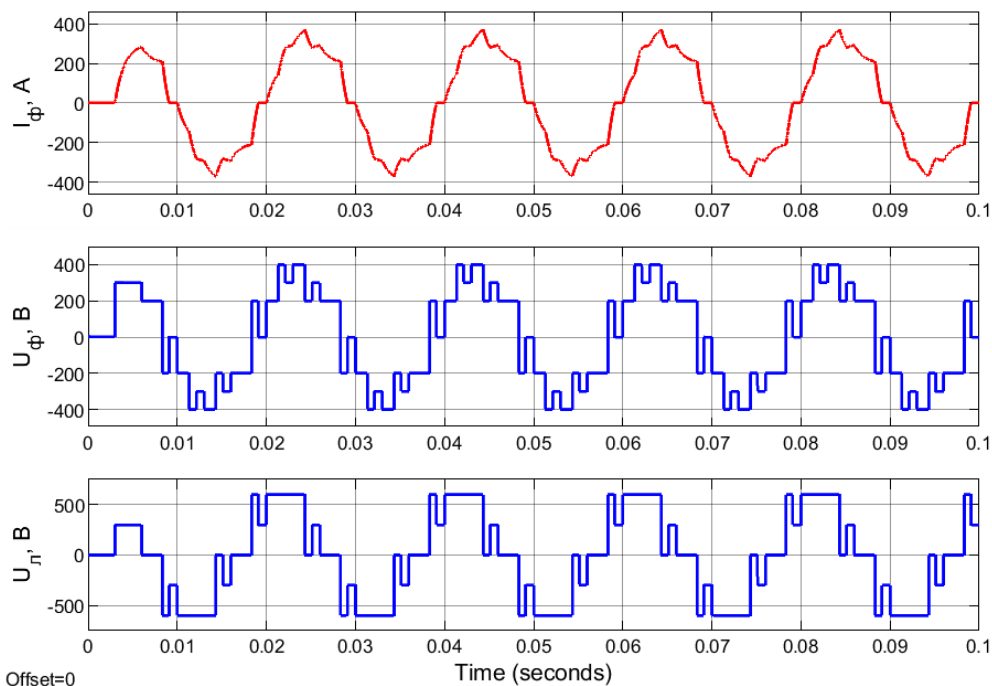


Рисунок 13 – Результаты моделирования выходного тока и напряжения АИН при реализации 150° управления: а – I_ϕ , U_ϕ , U_ℓ АИН при R-нагрузке; б – I_ϕ , U_ϕ , U_ℓ АИН при RL-нагрузке;

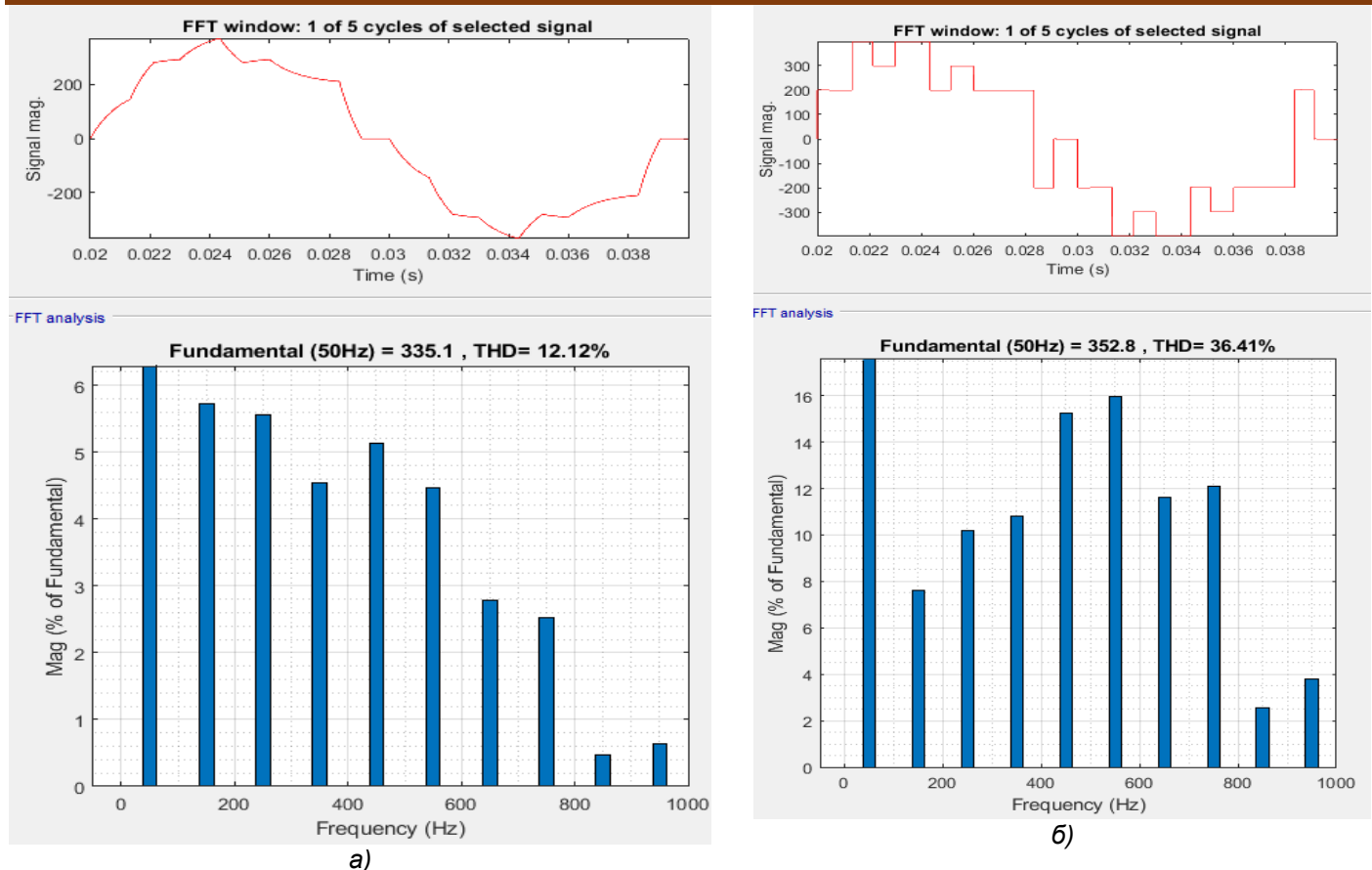


Рисунок 14 – Гармонические искажения по результатам моделирования АИН при реализации 150° управления: а – I_ϕ АИН при RL-нагрузке; б – U_ϕ АИН при RL-нагрузке

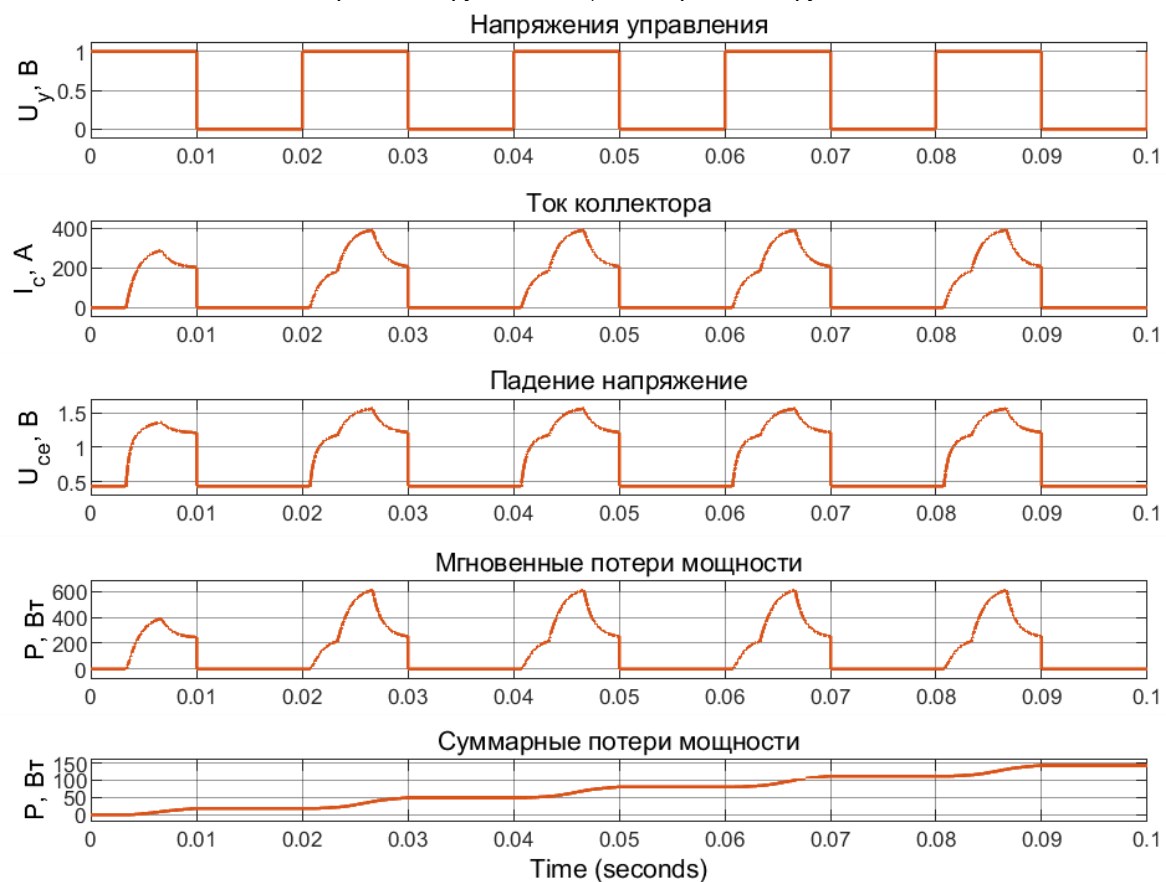


Рисунок 15 – Результаты моделирования статических потерь мощности в IGBT-транзисторе при 180° проводимости

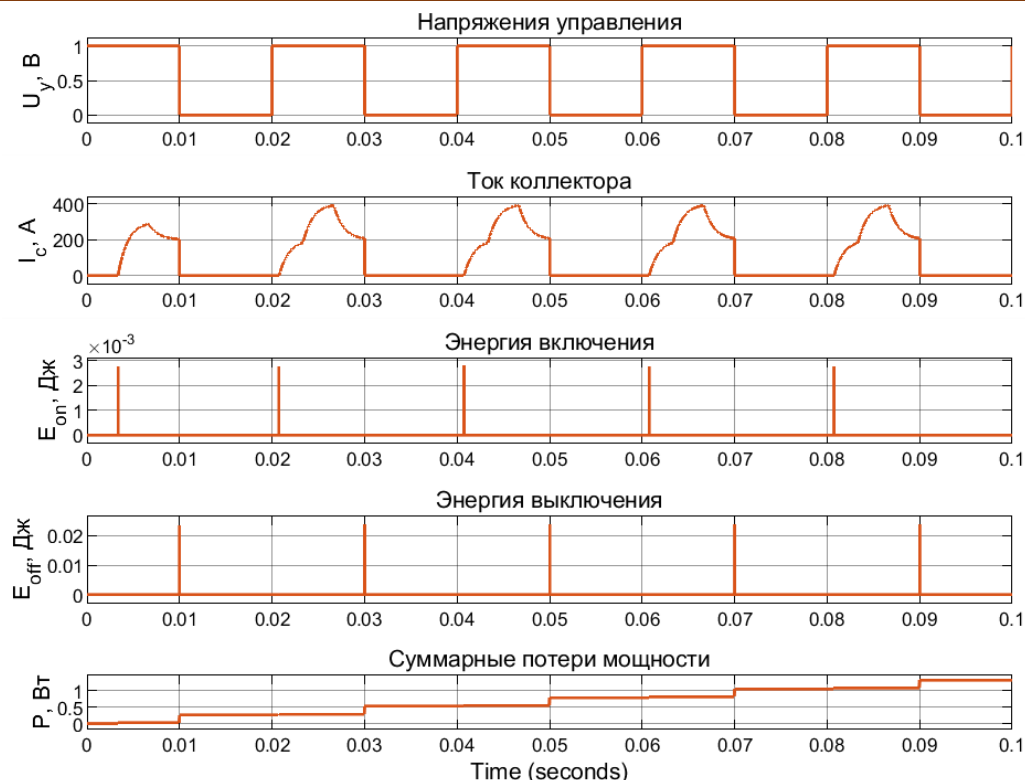


Рисунок 16 – Результаты моделирования динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе при 180° проводимости

Режим проводимости 150° обеспечивает лучшее приближение к синусоидальной форме, потому что он обеспечивает больше шагов, чем в режимах проводимости 120° или 180° . Одно из самых больших преимуществ использования режима проводимости 150° заключается в том, что уменьшаются общие гармонические искажения.

Результаты моделирования статических и динамических потерь мощности в IGBT-транзисторе приведены на рисунках 15 и 16. Входными сигналами для расчета потерь мощности в среде Matlab являются сигналы управления IGBT-транзистором и ток коллектора IGBT-транзистора.

Результаты расчетов статических и динамических потерь, а также КПД АИН в режимах проводимости 120° , 180° и 150° приведены в таблице 2. Как видно, наименьшие действующие значения выходного тока и напряжения наблюдаются при использовании алгоритма управления 120° , тогда как наибольшие — при алгоритме управления 180° .

Таблица 2 - Энергетические показатели АИН при разных алгоритмах модуляции

Тип модуляции Параметры	120°	180°	150°
Частота коммутации, f, Гц	50	50	50
$I_{\text{вых}} \text{ RMS, A}$	256,11	282.6	265,49
$U_{\text{вых}} \text{ RMS, B}$	217,21	258.49	238,71
$\cos \phi_i$	0,95	0,95	0,95
$P_{\text{out}}, \text{ Вт}$	91533	121471	104277
$P_{\text{VT_SW_ON}}, \text{ Вт}$	0,1388	0,1385	0,1386
$P_{\text{VT_SW_OFF}}, \text{ Вт}$	1,51	1,187	1,198
$P_{\text{VT_Con}}, \text{ Вт}$	110,1	143,3	123,5
$P_{\text{VD_SW}}, \text{ Вт}$	1,184	1,011	1,27
$P_{\text{VD_Con}}, \text{ Вт}$	5,356	2,784	3,542
$P_{\text{inverter}}, \text{ Вт}$	709,7	890,31	778,11
КПД	0,995	0,996	0,996
$I_{\text{вых}} \text{ THD, \%}$	24,09	13	12,12
$U_{\text{вых}} \text{ THD, \%}$	57,22	31,11	36,41

Заключение

Исследовано влияние алгоритмов модуляции, таких как 120°, 150° и 180° - градусные управления в работах АИН фотоэлектрических установках. В 120° - режиме проводимости трёхфазный инвертор генерирует 3 - уровневую форму выходного фазного напряжения и 4 - уровневую форму выходного линейного напряжения. В 180° - режиме проводимости, наоборот, трёхфазный инвертор генерирует 4 - уровневую форму выходного фазного напряжения и 3 - уровневую форму выходного линейного напряжения.

В 150° – режиме проводимости формируется 7 - уровневая форма выходного фазного напряжения и 5 - уровневая форма выходного линейного напряжения, что ближе к синусоидальной форме по сравнению с режимами проводимости 120° и 180°.

Исследования показали, что в 180° режиме проводимости действующее значение выходного напряжения больше, чем в 120° режиме, так как каждый ключ включён на 180° цикла. В 120° режиме проводимости выходное напряжение наименьшее, из-за меньшего времени проводимости ключей. В 150° режиме проводимости действующее значение выходного напряжения больше, чем в 120° режиме, но меньше, чем в 180° режиме.

На основании анализа можно сделать вывод, что коэффициент гармонических искажений (THD) для АИН в 150° режиме проводимости по току составляет 12,12%, что лучше по сравнению с режимами проводимости 120° и 180°, так как данный режим значительно подавляет гармоники низших порядков.

Таким образом, исследование показало, что энергетическая эффективность АИН, используемых в фотоэлектрических установках, определяется не только выбранной элементной базой (IGBT или MOSFET-транзисторами), но и во многом зависит от выбранного алгоритма модуляции полупроводниковых ключей.

Рецензент: Ш.Дж. Джурозода, к.т.н., доцент филиала МЭИ в г. Душанбе

Литература

1. Habbati B., Ramdani Y. & Moulay F. (2014) A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics(3)53-61 [http:// dx.doi.org/10.1016/j.nrjag.2014.04.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.nrjag.2014.04.001).
2. Управление электромагнитными переходными процессами в системе регулирования выходными параметрами солнечной электростанции в условиях Республики Таджикистан//Шарифов Б.Н., Диёров Р.Х., Сайфуллоева О.М., Косимов У.У. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2022. №3 (59) – С. 11-20. ISSN: 2520-2227.
3. Marcelo G.M. (2016). Modelling and Control of Gridconnected Solar Photovoltaic Systems, Renewable Energy - Utilisation and System Integration, Wenping Cao and Yihua Hu, Intech Open, <http://dx.doi.org/10.5772/62578>
4. Asnil & Husnaini, Irma & Astrit, E. (2018). Microcontroller based 120° and 180° conduction modes of three-phase inverter for photovoltaic generation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 13. 3579-3586.
5. Ananya Dutta "Some Aspects on 3-Phase Bridge Inverter (180 Degree Mode)" International Journal of Engineering Inventions, Volume 3, Issue 4 (November 2013), pp 18-21
6. Rishabh Shah, Dhairya Shah, Priyank Shah, Sanket Thakur "Simulation and Analysis of 150° Conduction Mode for Three Phase Voltage Source Inverter" (IJERD), (RTEECE 08th – 09th April 2016).
7. Mr. Divyeshkumar G. Mangroliya, Mr. Girish V. Jadhav "Implementation On Three Phase Voltage Source Inverter With 150° Conduction Mode" Indian Journal of Applied Research, Volume : 1 | Issue : 12 | September 2012.
8. R. Shah, D. Shah, P. Shah, and S. Thakur, "Simulation and Analysis of 150° Conduction Mode For Three Phase Voltage Source Inverter" presented at the Recent trends in Electrical and Electronics & Communication Engineering (RTEECE) Conference, 8th-9th April 2016, India, 2016.
9. Mahendra G. Mathukiya. 2017. 3 Phase Inverter with 180° and 120° Conduction Mode. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER). 04(3): 113-118.
10. R. Parikh, "Operation Overview of Three Phase Inverter With 120, 150 and 180 Conduction Mode," 2017.
11. M. Patel, "THD Comparison for 180, 120 & 150 Degree Conduction Mode of Three Phase Inverter "International Journal for Scientific Research & Development, vol. 6, no. 3, p. 5, 2018.
12. D. G. Mangroliya, D. B. Karvat, H. D. Patel "Study and Simulation of Three Phase Voltage Source Inverter in Different Conduction Modes" The Indian Journal of Technical Education, April 2012.
13. J. Trivedi, Ruchit Soni, M. Shah, and J. Shah, Three Phase 150 Degree Mode of Conduction Voltage Source Inverter using Arduino. 2016.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665863 Российская Федерация. Программа для расчета потерь в преобразователе частоты : № 2021665177: заявл. 01.10.2021: опублик. 04.10.2021 / А. М. Дунаев, С. У. Довудов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

15. Дунаев, М. П. Сравнение энергоэффективности схем автономных инверторов напряжения с синусоидальной широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляцией / М. П. Дунаев, С. У. Довудов // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 4(53). – С. 50-55. – DOI 10.18503/2311-8318-2021-4(53)-50-55.

16. Analysis and comparison of energy indices of dc-dc pulse converters / S. U. Dovudov, M. P. Dunaev, A. Zhiravetska [et al.] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2022. – Vol. 98, No. 6. – P. 99-103. – DOI 10.15199/48.2022.06.19.

17. Calculation of power losses in a frequency inverter / A. Ya. Al-Rawashdeh, M. P. Dunayev, Kh. Y. Alzyoud, S. U. Dovudov // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2024. – Vol. 15, No. 3. – P. 1331. – DOI 10.11591/ijpeds.v15.i3.pp1331-1338.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Довудов Сарфароз Умедович	Довудов Сарфароз Умедович	Dovudov Sarfarozi Umedovich
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 academic M.S.Osimi
e.mail: sarfarozdovudov@gmail.com		
ORCID Id: 0000-0001-5600-4615		

УДК 621.311

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА НА ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

¹Ш.Дж. Джуразода, ²Р.А. Рахимов, ²У.У. Косимов

¹Филиал Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» в г. Душанбе

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье оценено современное состояние электрических сетей наружного освещения города Душанбе и характер электроприёмников данной сети. Рассмотрено влияние изменения коэффициента гармонической составляющей тока (K_I) на показатели формы кривой тока, особенно коэффициент амплитуды (K_a) и действующего значения тока (I). Приведены результаты расчетов значения коэффициента амплитуды при изменении коэффициента K_I в пределах от 0 до 100 % и изменении начального угла фазы гармоник порядка 3 и 5 в пределах от 0 до 360 градусов. Отсутствие учёта влияния гармонических составляющих тока, которые влияют на действующее значение тока, приводит к неточному выбору токоведущих частей, а также электрических аппаратов.

Ключевые слова: оценка, влияние, несинусоидальность, ток, коэффициент, амплитуда, сечение проводов, кабели.

БАҲОДИҲИИ ТАЪСИРИ ҶАРАЁНИ ГАРМОНИКАҲОИ ОЛӢ БА ИНТИХОБИ ТАҶҲИЗОТИ ЭЛЕКТРИКӢ

Ш.Ҷ. Ҷуразода, Р.А. Раҳимов, У.У. Қосимов

Дар мақола ҳолати муосири шабакаҳои электрикии равшанкунии берунаи шаҳри Душанбе ва табиати қабулкунакҳои электрикии шабакаи мазкур баҳо дода шудааст. Таъсири тағйирёбии зарби ташкилдиҳандаҳои гармоникӣ ҷараён (K_I) ба нишондиҳандаҳои шакли қатъатаи ҷараён, махсусан зарби амплитуда (K_a) ва қиммати амалкунандаи ҷараён (I) дида шудааст. Натиҷаҳои ҳисобии тағйирёбии қиммати зарби амплитуда ҳангоми тағйирёбии зарбияи K_I дар ҳудуди аз 0 то 100 % ва тағйирёбии кунҷи ибтидоии гармоникаҳои тартиби 3 – юм ва 5 – ум дар ҳудуди аз 0 то 360 градус оварда шудаанд. Ба назар нагирiftани таъсири гармоникаҳои олии ҷараён ба нодуруст ҳисоб намудани қиммати амалкунандаи онҳо ва дар натиҷа, ба нодуруст интиҳоб намудани қисмҳои ҷараёнгузар ва инчунин таҷҳизоти электрикӣ оварда мерасонад.

Калимаҳои калидӣ: баҳодиҳӣ, таъсир, ғайрисинусоидалӣ, ҷараён, зарб, амплитуда, буриши арзии ноқил, кабелҳо.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HIGHER HARMONICS OF CURRENT ON THE SELECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Sh.J. Jurazoda, R.A. Rahimov, U.U. Kosimov

The article assesses the current state of the electrical networks of outdoor lighting in the city of Dushanbe and the nature of the electrical receivers of this network. The influence of the change in the total harmonic distortion (THD) on the current waveform parameters, especially the amplitude coefficient (K_a) and the effective value of the current (I), is considered. The results of calculations of the amplitude coefficient value are presented, with a change in the coefficient K_I in the range from 0 to 100% and a change in the initial phase angle of harmonics of order 3 and 5 in the range from 0 to 360 degrees. Failure to take into account the influence of harmonic components of current affects the effective value and, as a result, leads to an inaccurate selection of current-carrying parts, as well as electrical equipment.

Keywords: evaluation, influence, non-sinusoidality, current, coefficient, amplitude, cross-section of wires, cables.

Современные потребители в электрических сетях, в основном состоят из электроприемников (ЭП) с нелинейной вольтамперной характеристикой (ВАХ). Обычно такие ЭП, потребляя электрическую энергию (ЭЭ), становясь источниками высших гармонических составляющих тока (ВГСТ), которые отрицательно влияют как на основное электрооборудование (ЭО), так и на другие ЭП [1]. Этими вопросами занимались многие отечественные и зарубежные учёные [2 – 6]. Однако все опубликованные работы были посвящены в основном на влияние ВГ СТ на ЭО и ЭП. В опубликованных работах не уделено должное внимание показателям формы кривой тока, особенно коэффициенту амплитуды (K_a). Коэффициент амплитуды – это отношение амплитудного значения синусоидального тока к среднеквадратическому значению, то есть:

$$K_a = \frac{I_m}{I} \quad (1)$$

Для идеального синусоидального тока $K_a = \sqrt{2}$. Коэффициент амплитуды обычно используют для описания запаса по диапазону измерения мгновенных значений синусоидального тока по отношению к номинальному среднеквадратическому значению. При искажении формы кривой тока по отношению к синусоиде значение данного коэффициента существенно изменяется, и, следовательно, действующее (среднеквадратическое) значение тока тоже меняется. Как обычно, при выборе сечения проводников, жил кабелей, также других элементов электрической сети в основном используется действующее значение тока. Поэтому при искажении формы кривой синусоидального тока следует учитывать величину действующего значения его и в том числе коэффициента амплитуды. В данной работе рассматривается влияние изменения суммарного коэффициента гармонической составляющей тока (K_I) и угла начальной фазы каждой гармоники на действующее и амплитудное значения тока нагрузки.

Объектом исследования являются городские электрические сети наружного освещения города Душанбе. В данной сети в основном используются лампы: ДРЛ (дуговая ртутная люминофорная лампа), ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая лампа), светодиодные и энергосберегающие, суммарная мощность которых составляет около 5 МВт. Количество используемых ламп в электрических сетях наружного освещения города Душанбе по типу используемых ламп приведено на рисунке 1.

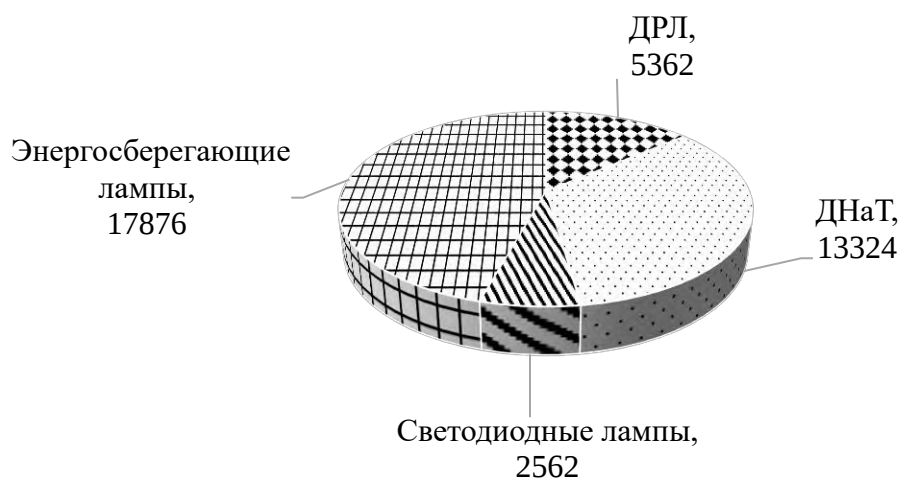


Рисунок 1 – Количество и тип ламп, используемых в электрических сетях наружного освещения г. Душанбе

Как видно из рисунка 1, в рассматриваемой сети в основном используются ДНаТ (34 %) и энергосберегающие лампы (около 46 %), доля ДРЛ и светодиодных ламп составляет 20 %.

Ниже приведены формы кривых напряжения и токов, а также спектр гармоник токов по типу ламп при использовании ДНаТ энергосберегающих и светодиодных [7].

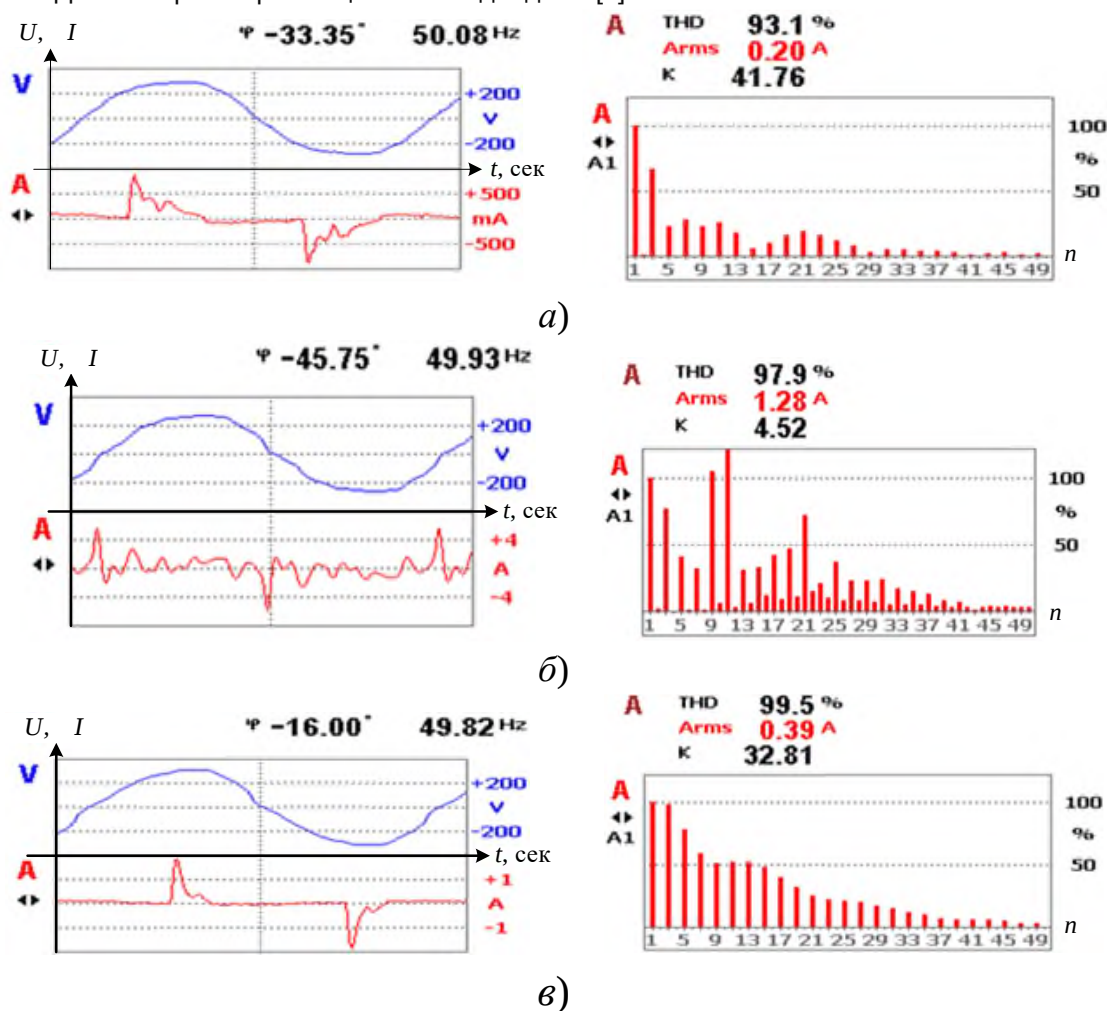


Рисунок 2 – Форма кривой напряжения, тока и спектр гармоник токов для различных типов осветительных приборов: а) энергосберегающая лампа; б) ДНаТ; в) светодиодная лампа

Как видно из рисунка 2, форма кривой тока для всех ламп сильно отличается от синусоиды, и значение коэффициента K_I колеблется в пределах 70 – 90%. Значение K_I в основном зависит от амплитуды токов каждой гармоники и угла начальной фазы каждой гармоники ($\varphi_{I(n)}$). Исходя из этого целесообразно оценить зависимость коэффициента K_I на коэффициент K_a и действующего значения тока.

Для оценки влияния коэффициентов, характеризующих форму кривой тока K_I и $K_{I(n)}$, на коэффициент амплитуды и, следовательно, действующего значения тока в классической универсальной модели синусоидальной формы кривой тока для сетей переменного напряжения. При определении зависимости K_a от K_I и $\varphi_{I(n)}$ значение K_I изменялось в пределах от 0 до 100 %, а $\varphi_{I(n)}$ – от 0 до 360 градусов. Для упрощения расчета и получения достоверных результатов на модели рассматривалось изменение $\varphi_{I(n)}$ только для гармоник 3 и 5 порядка при неизменном значении коэффициента $K_I = 12$ %.

Результаты расчетов (рисунок 3) показывают, что при изменении коэффициента K_I значение коэффициента амплитуды колеблется в пределах от 1,1989 (при $K_I = 39$ %) до 1,852 (при $K_I = 99$ %). При этом значение коэффициента K_a для идеального синусоидального тока составляет 1,4142.

При изменении $\varphi_{I(n)}$ гармоник тока порядка 3 и 5 (рисунки 4 и 5) значение коэффициента K_a практически не изменяется.

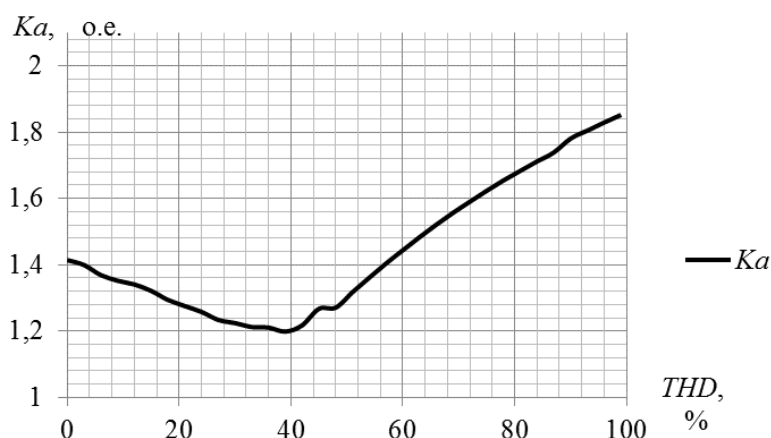


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента амплитуды от суммарного коэффициента гармонических составляющих тока

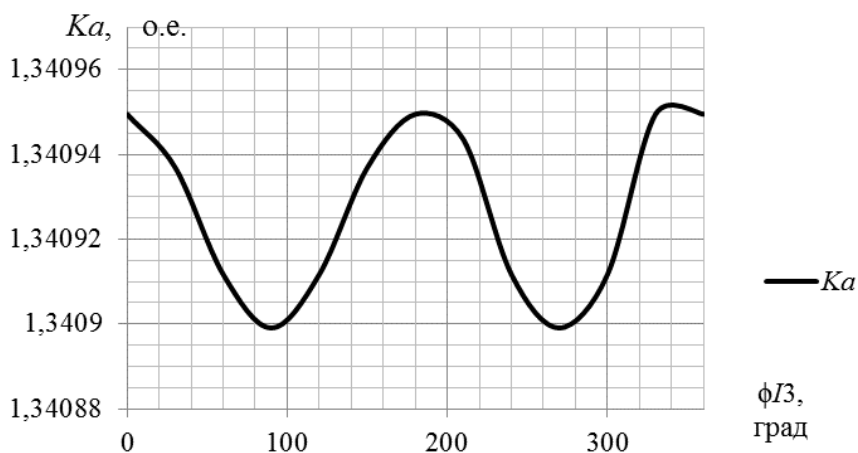


Рисунок 4 – График зависимости коэффициента амплитуды от начального угла третьей гармонической составляющей тока

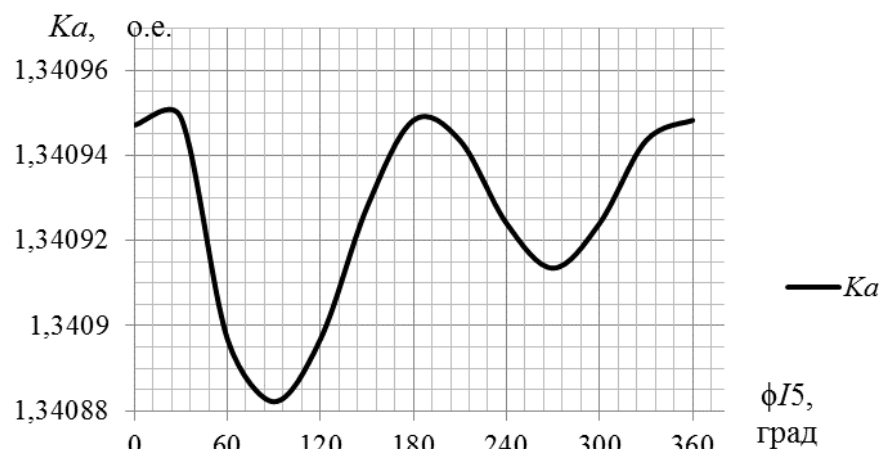


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента амплитуды от начального угла пятой гармонической составляющей тока

Выводы

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- При изменении коэффициента K_I значение K_a меняется в широком диапазоне от 1,1989 до 1,852. Это может привести к неправильному выбору проводов и жил кабелей, а также электрических аппаратов при проектировании. Так, например, когда значение коэффициента $K_a = 1,1989$, сечение проводников выбирается на 1,18 раза больше, чем требуемое, а при $K_a = 1,852$ – в 1,31 раза меньше.

- При изменении начального угла фазы каждой гармоники ($\phi(n)$) коэффициент K_a практически не меняется. Например, при изменении $\phi(3)$ в пределах от 0 до 360 градусов разница максимального и минимального значения K_a составляет 0,004 %, а при изменении $\phi(5)$ – 0,005%.

- Отсутствие учёта влияния гармонических составляющих тока, которые влияют на действующее значение тока, приводит к неточному (от – 18 % до + 31 % от действующего значения тока) выбору токоведущих частей, а также электрических аппаратов.

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

Литература

1. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шаманов, Ю.В. Шаров, Р.Р. Насыров. 3-е издание, переработанное и дополненное. — М.: Издательский дом МЭИ. 2017. — Ст. 347.
2. Симуткин М. Г., Тульский В. Н. «Методы оценки влияния гармоник тока на силовые масляные трансформаторы и кабельные линии», Сборник трудов международной научно-практической конференции «Управление качеством электрической энергии», 26-28 ноября 2014г., Москва 2014г.
3. Симуткин М. Г. Разработка методов оценки влияния нелинейных электроприемников на режимы работы оборудования распределительных сетей / Диссертация, Москва, 2014 г.
4. Таранов М.М. Влияние современных электроприемников коммунально-бытового сектора на показатели качества электроэнергии и потери мощности в сетях 0,38 кВ / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Национальный исследовательский университет МЭИ. Москва, 2010. С. 172.
5. Камолов М.М. Оценка коэффициентов, характеризующих несинусоидальность токов и напряжений в сетях коммунально-бытового назначения // М.М. Камолов, З.С. Ганиев, Х.Б. Назиров, Ш.Дж. Джураев, Ш.С. Махмадов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2020. № 1 (49). С. 37-45.
6. Джураев Ш.Дж., Рахимов Р.А. Современное состояние качества электроэнергии в электрических сетях наружного освещения города Душанбе // Материалы республиканской научно – практической конференции: «Электроэнергетика: состояние и перспективы развития» // ТТУ имени ак. М.С. Осими // Душанбе, 21 декабря 2020 года. С. 302-309.
7. Рахимов Р.А., Джураев Ш.Дж. Оценка влияния гармонических составляющих тока на выбор электротехнического оборудования// Материалы международной научно-практической конференции «Электроэнергетика

СНГ: современное состояние и перспективы развития», посвященной 32-летию независимости Республики Таджикистан и 10-летию филиала НИУ «МЭИ» в г. Душанбе // ДФ НИУ «МЭИ» // Душанбе, 19 октября 2023 года. С. 78-82.

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

TJ	RU	EN
Чӯразода Шохин Ҷӯра	Джуразода Шохин Джура	Jurazoda Shohin Jura
н.и.т., дотсенти кафедраи «Электроэнергетика»	к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики	PhD (Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering
Донишгоҳи миллии тадқиқоти «ДЭМ», филиал дар ш. Душанбе (Ҷумҳурии Тоҷикистон)	Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал в г. Душанбе (Республика Таджикистан)	National Research University «MPEI», branch in Dushanbe (Republic of Tajikistan)
Телефон:(+992) 93 483 11 00, E-mail: dzhuraevsh@mpei.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимов Рамазонӣ Амонкулович	Рахимов Рамазони Амонкулович	Rakhimov Ramazoni Amonkulovich
унвонҷӯ	соискатель	applicant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: ramazon.raximov.92@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қосимов Улуғбек Умриевич	Косимов Улугбек Умриевич	Kosimov Ulugbek Umrivich
н.и.т., дотсенти кафедраи «Ҳимояи релей ва автоматикунонии шабакаҳои энергетикӣ»	к.т.н., доцент кафедры «Релейная защита и автоматизация энергетических систем»	PhD (Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Relay Protection and Automation of Energy Systems
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: kosimov@list.ru		

УДК 621.47 621.314

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ БИПОЛЯРНЫХ И УНИПОЛЯРНЫХ ИНВЕРТОРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

С.У. Довудов, Б.Н. Шарифов, А.Я. Абдурахмонов, С.Р. Ниёзи

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье проведен сравнительный анализ биполярных и униполярных инверторов, используемых в солнечных электростанциях. Для исследования в программе MATLAB с использованием блоков из библиотеки Simscape были разработаны имитационные компьютерные модели соответствующих инверторов. Для управления этими инверторами использовалась синусоидальная широтно-импульсная модуляция (СШИМ), которая формирует управляющие сигналы для включения и выключения полупроводниковых ключей в нужные моменты времени. Представлены результаты имитационного компьютерного моделирования выходных токов и напряжений при RL-нагрузке. Также проведено сравнение гармонических искажений выходных токов и напряжений инверторов и влияния частоты коммутации полупроводниковых ключей на синусоидальность выходных сигналов. Исследования показали, что униполярный инвертор имеет преимущества перед биполярным инвертором при использовании в солнечных электростанциях, так как он обеспечивает лучшее приближение выходного сигнала к синусоидальной форме, что особенно важно для повышения качества электроэнергии и долговечности подключённого оборудования. Также преимущество биполярного инвертора по сравнению с униполярным заключается в том, что при одинаковых условиях выходная мощность биполярного инвертора получается выше, чем униполярного.

Ключевые слова: биполярный инвертор, униполярный инвертор, солнечная электростанция, синусоидальная широтно-импульсная модуляция, энергетическая эффективность, гармонические искажения.

ТАҲЛИЛИ ХУСУСИЯТҲОИ КОРИ ИНВЕРТОРҲОИ БИПОЛЯРӢ ВА УНИПОЛЯРӢ ДАР НЕРӮҶОӢ БАҶӢ ОҶТОБӢ

С.У. Довудов, Б.Н. Шарифов, А.Я. Абдурахмонов, С.Р. Ниёзӣ

Дар ин мақола таҳлили муқоисавии инверторҳои биполярӣ ва униполярӣ, ки дар нерӯгоҳҳои баҷии оҷтобӣ истифода мешаванд, гузаронида шудааст. Барои таҳқиқот дар барномаи MATLAB бо истифода аз блокҳои китобхонаи Simscape моделҳои компютери тақлиди инверторҳои дахлдор таҳия карда шуданд. Барои идоракунии ин инверторҳо модулятсияи синусоидии паҳноии импульс (СШИМ) истифода мешавад, ки сигналҳои идоракунии барои ҷаъол ва ҳомӯш кардани калидҳои нимнокӣ дар лаҳзаҳои зарурӣ вақт ташкил медиҳад. Натиҷаҳои модели компютери тақлиди ҷараёнҳои баромад ва шиддат ҳангоми бори RL пешниҳод карда шудаанд. Инчунин муқоисаи таҳрифиҳои гармонии ҷараёнҳои баромад, шиддатҳои инверторҳо ва таъсири басомади коммутатсияи калидҳои нимнокӣ ба синусоидалии сигналҳои баромад гузаронида шудааст. Таҷрибаҳои нишон доданд, ки инвертори униполярӣ нисбат ба инвертори биполярӣ ҳангоми истифода дар нерӯгоҳҳои оҷтобӣ бартарӣ дорад, зеро он ба шакли синусоида наздик шудани сигнали баромадро таъмин мекунад, ки ин махсусан барои баланд бардоштани сифати нерӯи баҷ ва устувории таҷҳизоти пайваستшуда муҳим аст. Бартарии инвертори биполярӣ нисбат ба инвертори униполярӣ дар он аст, ки дар шароити якхела иқтидори баромади инвертори биполярӣ нисбат ба инвертори униполярӣ баландтар аст.

Калимаҳои асосӣ: инвертори биполярӣ, инвертори униполярӣ, нерӯгоҳи оҷтобӣ, модулятсияи синусоидии паҳноии импульс, самаранокӣ энергетикӣ, таҳрифи гармоникӣ.

ANALYSIS OF THE OPERATING FEATURES OF BIPOLAR AND UNIPOLAR INVERTERS OF A SOLAR POWER PLANT

S.U. Dovudov, B.N. Sharifov, A.Y. Abdurakhmonov, S.R. Niyozov

This paper presents a comparative analysis of bipolar and unipolar inverters used in solar energy systems. For the study, simulation computer models of the respective inverters were developed in MATLAB using blocks from the Simscape library. Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) was used to control these inverters, generating control signals for switching semiconductor switches on and off at appropriate times. The results of the simulation modeling of output currents and voltages under an RL load are presented. A comparison of the harmonic distortions of the output currents and voltages of the inverters is also provided, as well as the impact of the switching frequency of the semiconductor switches on the sinusoidal quality of the output signals. The study showed that the unipolar inverter has advantages over the bipolar inverter when used in solar energy systems, as it provides a better approximation of the output signal to a sinusoidal waveform, which is especially important for improving power quality and extending the lifespan of connected equipment. The advantage of the bipolar inverter compared to the unipolar one lies in the fact that, under the same conditions, the output power of the bipolar inverter is higher than that of the unipolar inverter.

Keywords: bipolar inverter, unipolar inverter, solar energy system, sinusoidal pulse width modulation, energy efficiency, harmonic distortion.

Введение

Инвертор играет важную роль при преобразовании постоянного тока (Direct Current), полученного от фотоэлектрических элементов, в переменный ток (Alternating Current), который используется для питания нагрузок в автономных системах или подаётся в электрическую сеть через инверторную систему, подключённую к сети [1]. Энергоэффективность работы солнечных электростанций существенно зависит от алгоритма модуляции, применяемого в инверторах. В настоящее время используется метод синусоидальной широтно-импульсной модуляции (СШИМ), с помощью которого формируются сигналы управления для полупроводниковых ключей инвертора. Применение синусоидальной ШИМ также позволяет достичь низкого уровня гармонических искажений по току и обеспечивает эффективное управление потерями на переключение

за счёт простой схемы генерации импульсов, что актуально как для автономных, так и для сетевых инверторных систем [2, 3].

В зависимости от типа алгоритма модуляции можно выделить биполярную (двухполярную) и униполярную (однополярную) схемы ШИМ, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Для солнечных электростанций, где энергетическая эффективность и качество выходного тока и напряжения имеют важное значение, выбор между униполярными и биполярными инверторами с синусоидальной ШИМ требует тщательного исследования и анализа.

Постановка задачи

Тенденция использования солнечной энергии в мире, в том числе и в нашей стране постепенно развивается благодаря развитию новых материалов и полупроводниковых элементов, которые используются в инверторах солнечных электростанций. Одной из ключевых задач инвертора являются обеспечение низкого уровня гармонических искажений (THD) выходного тока и напряжения, и лучшее приближение к синусоидальной форме этих сигналов. Повышенное значение общего гармонического искажения по току и напряжению может привести к дополнительным потерям, что снижает энергетическую эффективность преобразователя и в целом солнечной электростанции.

В настоящее время существуют различные типы инверторов с разными способами управления для преобразования постоянного тока, вырабатываемого солнечными элементами, в переменный ток для питания нагрузки. Среди различных типов инверторов наибольшее распространение получили биполярная и униполярная схемы с синусоидальной ШИМ.

Использование этих видов инверторов по-разному влияет на гармонические искажения выходного тока и напряжения, а также отличается различными потерями в ключах. Таким образом, исследование гармонических искажений выходных сигналов и проведение сравнительного анализа энергетических показателей биполярного и униполярного инверторов с синусоидальной ШИМ в составе солнечных электростанций является актуальной задачей и требует тщательного анализа и исследования.

Теоретическая часть

Схема инверторного преобразователя фотоэлектрической системы широко используется в системах автономного электроснабжения и в солнечных установках и чаще всего выполняется по мостовой схеме (рисунок 1) [1-4].

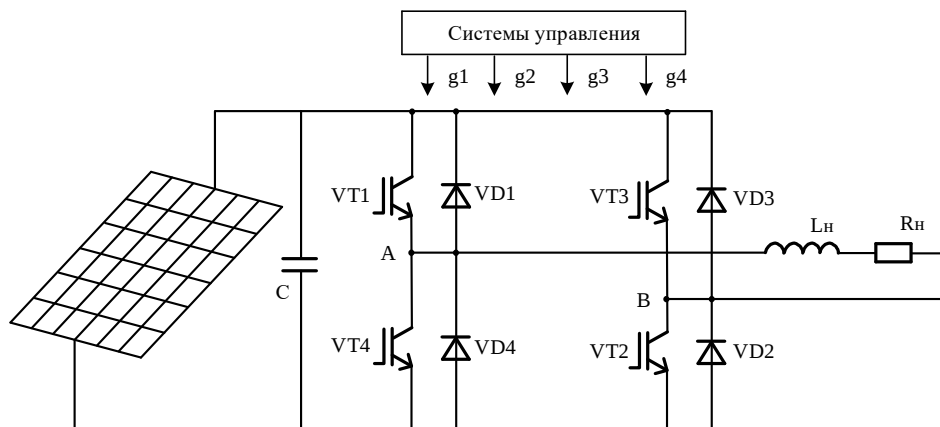


Рисунок 1 – Инверторный преобразователь фотоэлектрической системы

Схема состоит из четырёх полупроводниковых ключей VT1–VT4 (обычно используются IGBT или MOSFET транзисторы), которые работают попарно (VT1–VT2, VT3–VT4) для формирования переменного тока и напряжения на нагрузке. Диоды VD1–VD4, подключённые параллельно каждому ключу, используются для обеспечения пути обратного тока при коммутации. Сглаживающий конденсатор C, установленный на выходе солнечной панели, стабилизирует напряжение и фильтрует пульсации.

В качестве системы управления используется синусоидальная широтно-импульсная модуляция (СШИМ), которая формирует управляющие сигналы $g_1 - g_4$ для включения/выключения ключей VT1–VT4 в нужные моменты времени [5].

Процесс формирования синусоидальной ШИМ для биполярного инвертора представлен на рисунке 2. Синусоидальный сигнал с определенной частотой, который является модулирующим, сравнивается с несущим сигналом, в качестве которого используются треугольные импульсы.

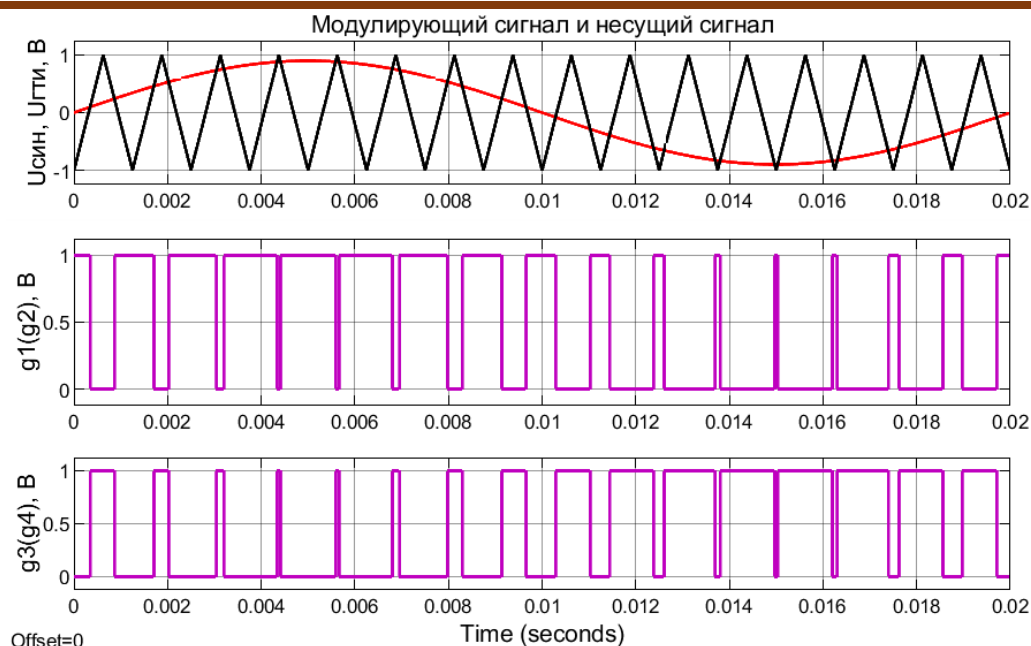


Рисунок 2 – Биполярная синусоидальная ШИМ:

1 - сравнение синусоидального и несущего сигналов; 2 - импульсы управления для полупроводниковых ключей $g1$ и $g2$; 3 - импульсы управления для полупроводниковых ключей $g3$ и $g4$

Состояния управляющих сигналов для полупроводниковых ключей зависят от мгновенных значений уровней сравнения модулирующего и несущего сигналов, как показано в выражении (1):

$$\begin{cases} g1(g3) = 1 \text{ когда } U_{\text{син}} > U_{\text{гтн}} \\ g2(g4) = 0 \text{ когда } U_{\text{син}} < U_{\text{гтн}} \end{cases} \quad (1)$$

Чтобы получить $U_n = U_{\text{ист}}$, включаются ключи $g1$ и $g2$, а чтобы получить $U_n = U_{\text{ист}}$, включаются ключи $g3$ и $g4$.

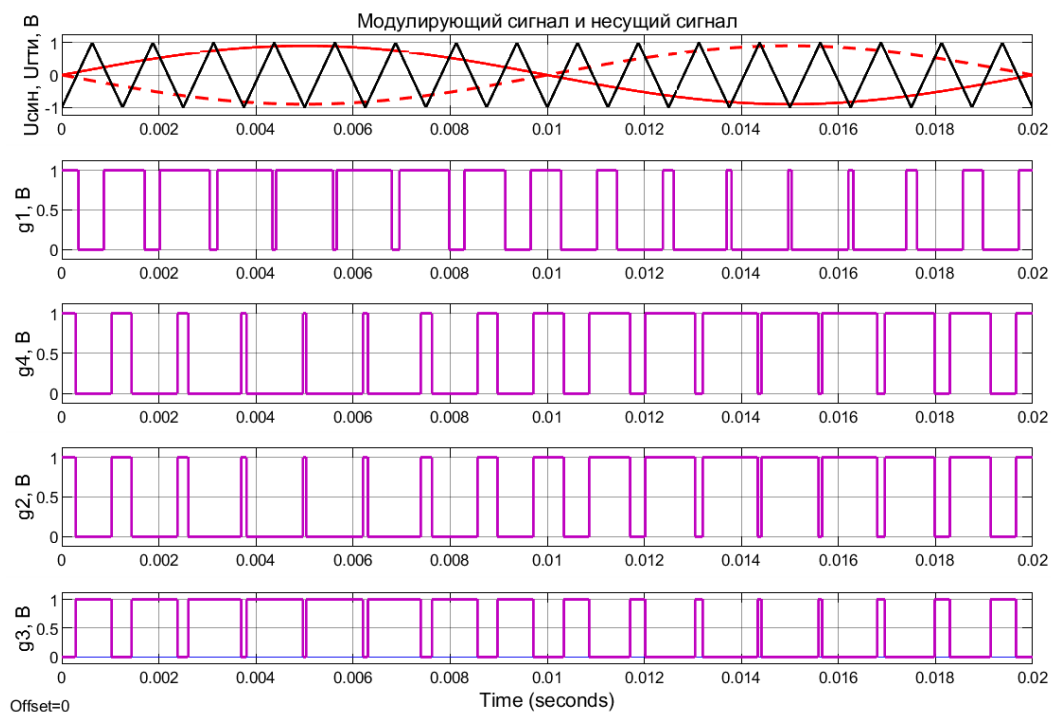


Рисунок 3 – Униполярная синусоидальная ШИМ:

1 - сравнение синусоидального и несущего сигналов; 2, 3, 4, 5 - импульсы управления для полупроводниковых ключей $g1$, $g4$, $g2$ и $g3$.

Процесс формирования синусоидальной ШИМ для униполярного инвертора представлен на рисунке 3. Для униполярной модуляции обычно требуются два синусоидальных модулируемых сигнала, которые имеют одинаковую величину и частоту, но сдвинуты по фазе на 180°. Эти два модулируемых сигнала сравниваются с общим несущим сигналом, как показано на рисунке 3. В униполярной схеме выходное напряжение также зависит от мгновенных значений модулирующего и несущего сигналов, а управление ключами осуществляется по выражению (2):

$$\begin{cases} g1 = 1 \text{ когда } U_{\text{син}} > U_{2\text{ти}} \\ g2 = 1 \text{ когда } -U_{\text{син}} < U_{2\text{ти}} \\ g3 = 1 \text{ когда } -U_{\text{син}} > U_{2\text{ти}} \\ g4 = 1 \text{ когда } U_{\text{син}} < U_{2\text{ти}} \end{cases} \quad (2)$$

В униполярном инверторе пары полупроводниковых ключей g1/g4 и g2/g3 работают поочередно, и выходное напряжение чередуется между ($U_{\text{ист}}$) и (0), либо между ($-U_{\text{ист}}$) и (0).

Методика, результаты исследований и их обсуждение

Программная среда MATLAB является одной из наиболее известных программ для исследования силовых преобразователей, которая позволяет моделировать практически любую схему преобразователя с любым алгоритмом модуляции. Для анализа и исследования биполярных и униполярных инверторов солнечных энергосистем в программе MATLAB с использованием блоков из библиотеки Simscare разработаны имитационные модели соответствующих инверторов. Моделирование инверторов производилось с параметрами, которые указаны в таблице 1.

Компьютерные имитационные модели биполярного и униполярного инверторов с синусоидальной ШИМ показаны на рисунках 4 и 5. Модели содержат следующие блоки: блок мостового инвертора на четырёх IGBT/Diode-модулях (VT1/VD1 – VT4/VD4); блок нагрузки (R_n , L_n); комплект измерительных приборов и блоки системы управления, которая формируется с помощью модулирующего и несущего сигналов. В качестве модулирующего сигнала используется генератор синусоидального сигнала ($U_{\text{син}}$), а для несущего сигнала используются генератор треугольного сигнала [6, 7]. Частоту несущего сигнала можно изменять от 1 кГц до 16 кГц (в зависимости от исследования), а частота модулирующего сигнала составляет 50 Гц. Индекс модуляции можно изменять, регулируя амплитуду синусоидального модулирующего сигнала.

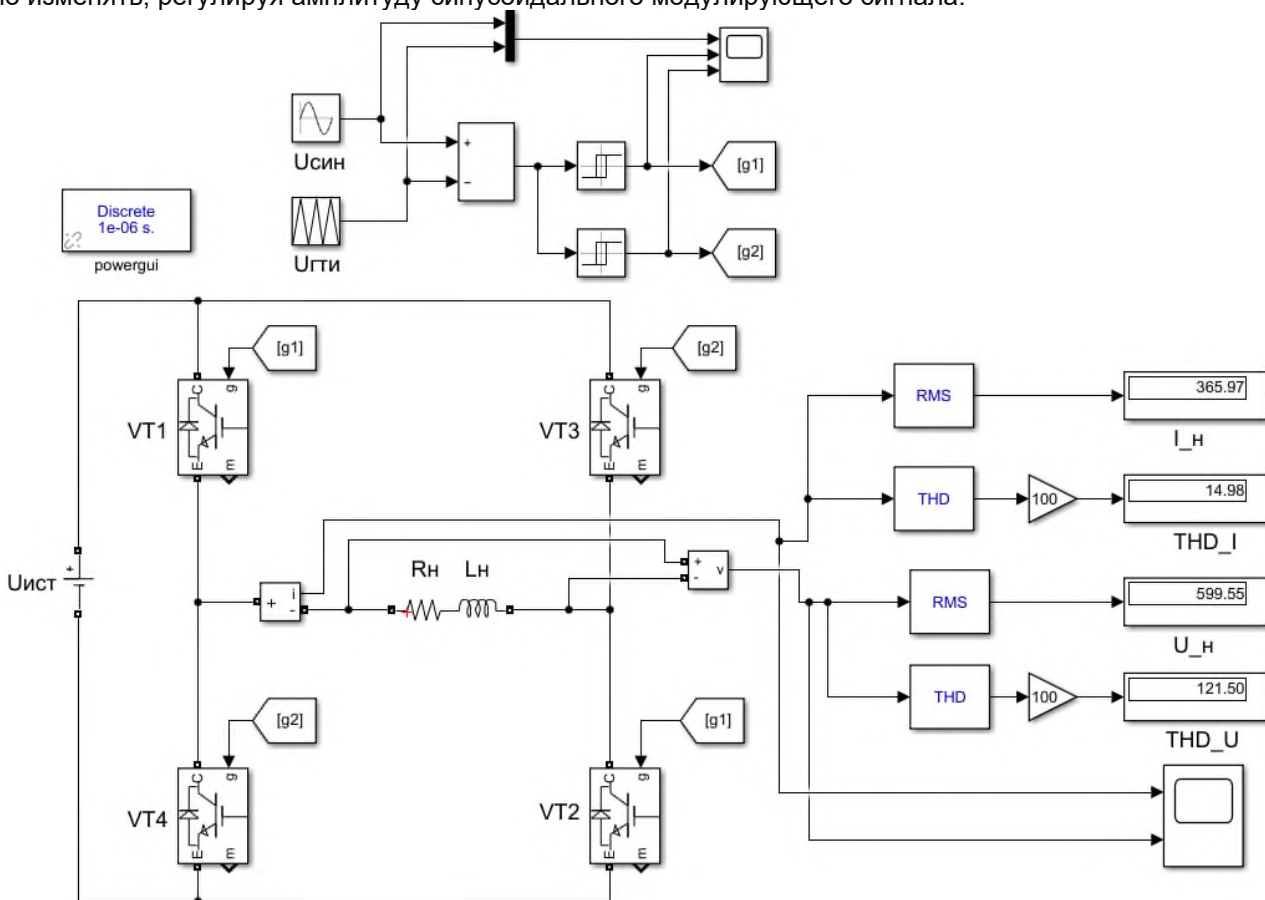


Рисунок 4 – Имитационная компьютерная модель биполярного инвертора с синусоидальной ШИМ

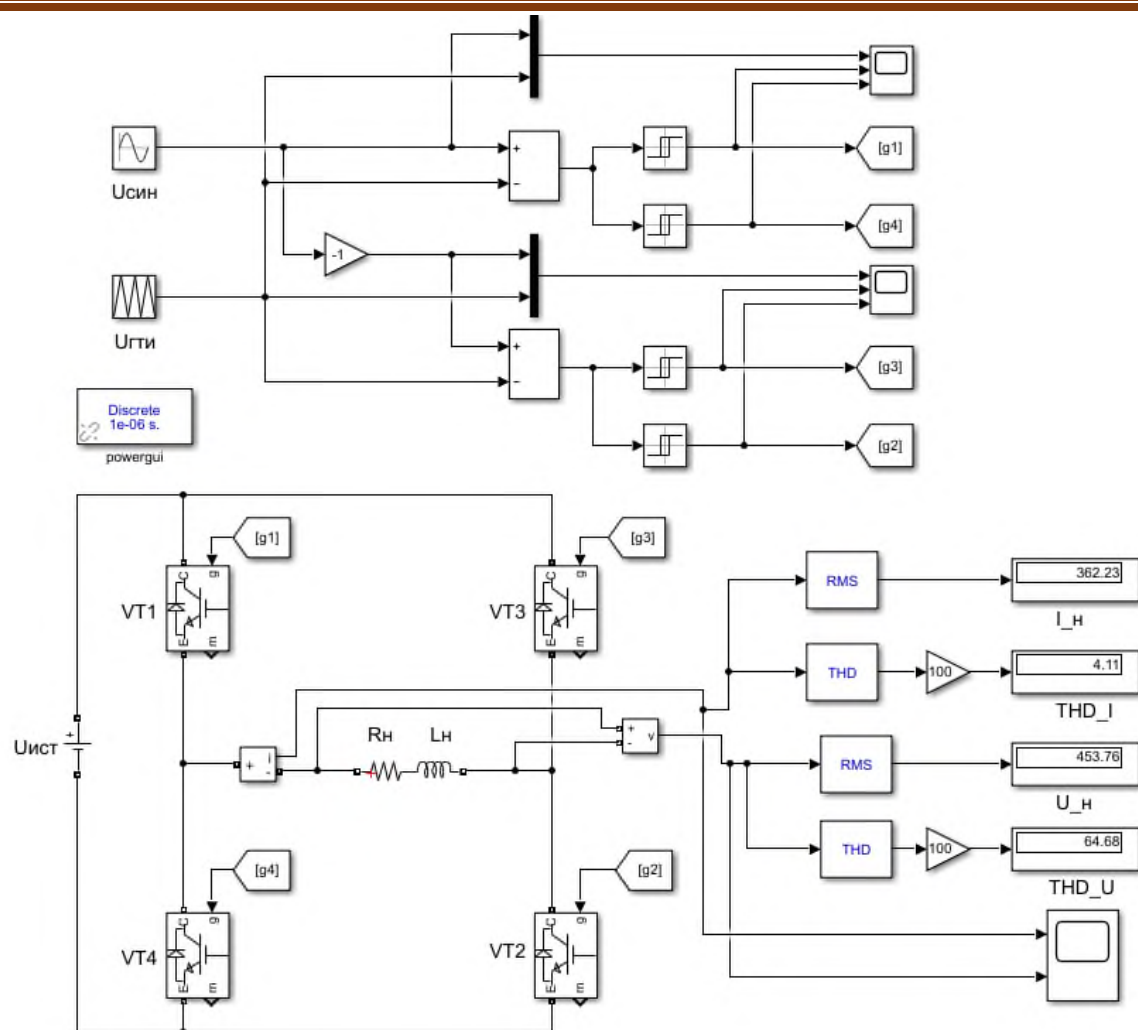


Рисунок 5 – Имитационная компьютерная модель унipoлярного инвертора с синусоидальной ШИМ

Таблица 1 - Основные параметры имитационной модели биполярного и унipoлярного инверторов с синусоидальной ШИМ

Параметры	Величина
Тип схемы	Биполярный и унipoлярный инверторы
Напряжение в цепи постоянного тока	600 В
Частота несущего сигнала	1 - 16 кГц
Частота модулирующего сигнала	50 Гц
Индекс модуляции	0,9
Активное сопротивление нагрузки	1 Ом
Индуктивность нагрузки	1,047 мГн
$\cos\varphi$	0,95

В результате моделирования получены выходные токи и напряжения биполярного и унipoлярного инверторов с синусоидальной ШИМ [8-10], показанные на рисунках 6 и 7. Напряжение на выходе биполярного инвертора изменяется между положительным (+Uист) и отрицательным напряжением (-Uист) источника питания. Также следует отметить, что в такой схеме частота переключения выходных сигналов совпадает с частотой несущего сигнала.

Выходное напряжение инвертора с унipoлярной модуляцией изменяется между нулем и (+Uист) во время положительного полупериода, и между нулем и (-Uист) в течение отрицательного полупериода (рисунок 7). В такой схеме частота переключения выходных сигналов в два раза выше, чем частоты несущего сигнала.

С точки зрения энергетической эффективности в биполярном инверторе с синусоидальной ШИМ число переключений в полупроводниковых ключах значительно меньше, чем в унipoлярном инверторе. Это приводит к снижению динамических потерь в биполярном инверторе и увеличению КПД преобразователя по сравнению с унipoлярным инвертором.

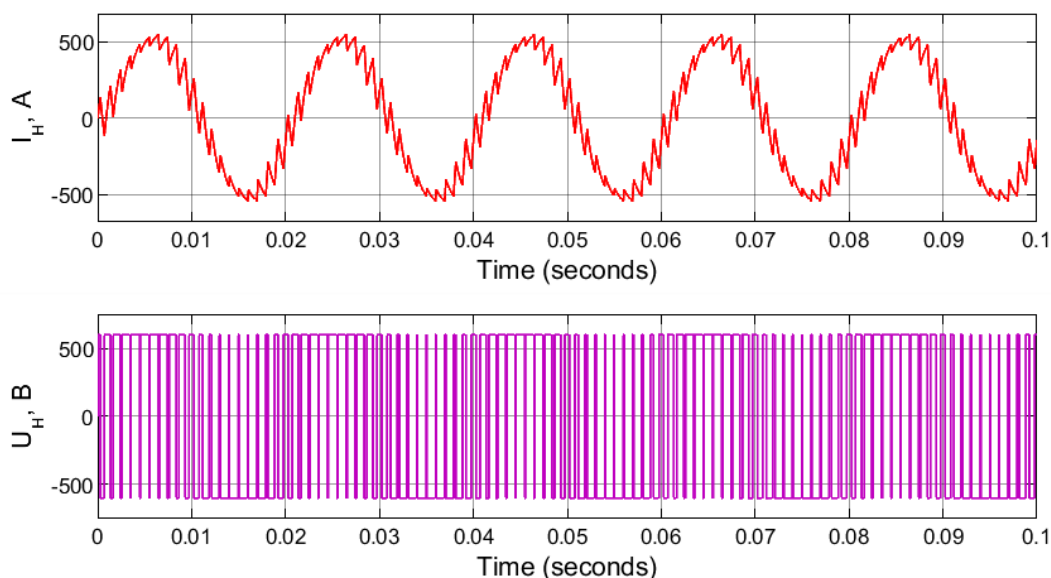


Рисунок 6 – Выходной ток и напряжение биполярного инвертора с синусоидальной ШИМ при частоте коммутации 1 кГц

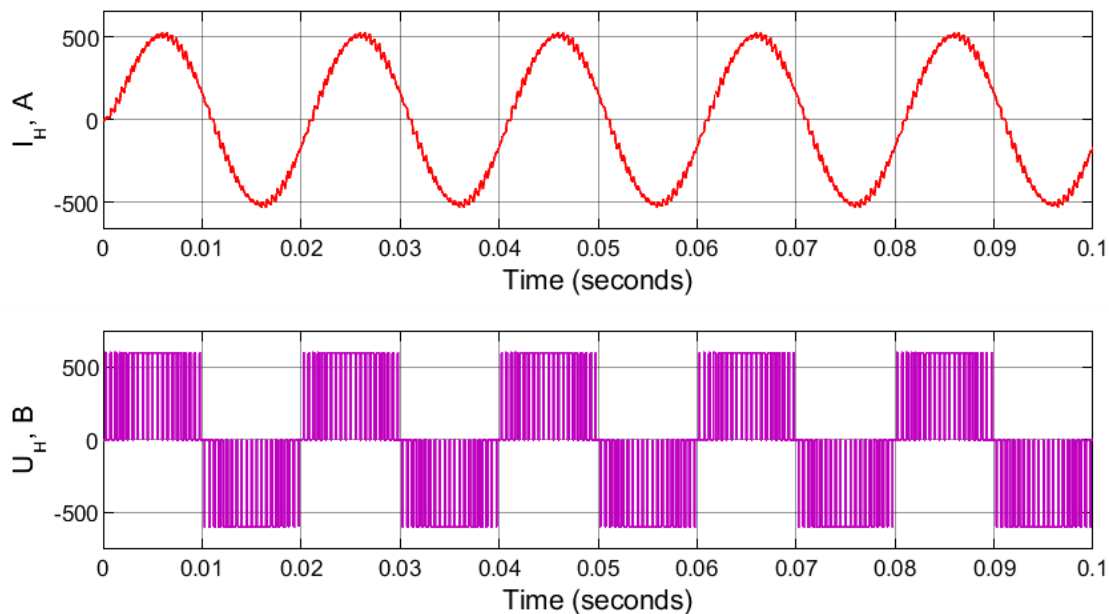


Рисунок 7 – Выходной ток и напряжение униполярного инвертора с синусоидальной ШИМ при частоте коммутации 1 кГц

Гармонические искажения выходного тока и напряжения по результатам имитационного компьютерного моделирования инверторов при реализации биполярной и униполярной модуляции приведены на рисунках 8 и 9.

Гармонические искажения биполярного инвертора при частоте коммутации 1 кГц, по току составляют 14,98%, а по напряжению 121,61%. Гармонические искажения униполярного инвертора при такой же частоте по току составляют 4,11%, а по напряжению 64,69%.

Таким образом, можно заметить, что униполярный инвертор с синусоидальной ШИМ обеспечивает лучшее приближение к синусоидальной форме по сравнению с биполярным инвертором.

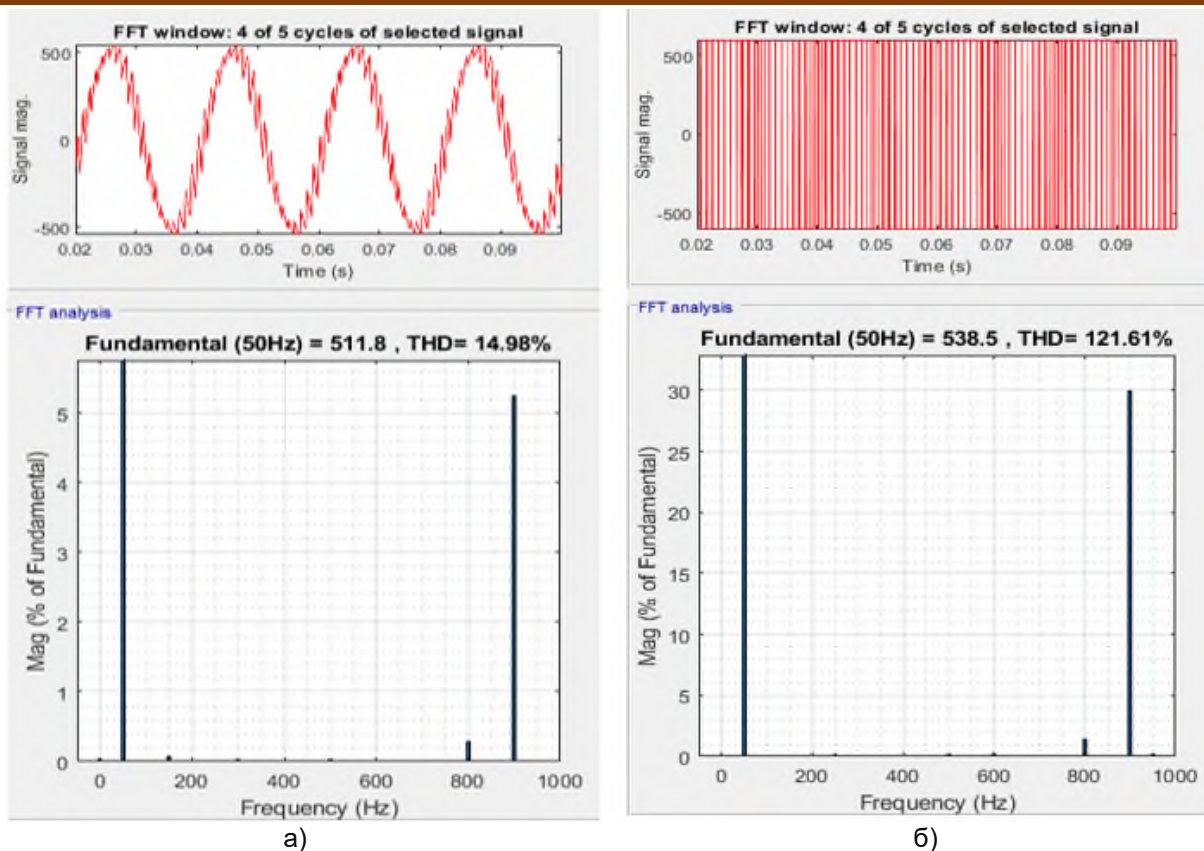


Рисунок 8 – Гармонические искажения по результатам имитационного компьютерного моделирования биполярного инвертора с синусоидальной ШИМ при частоте коммутации 1 кГц: а – выходной ток при RL-нагрузке; б – выходное напряжение при RL-нагрузке

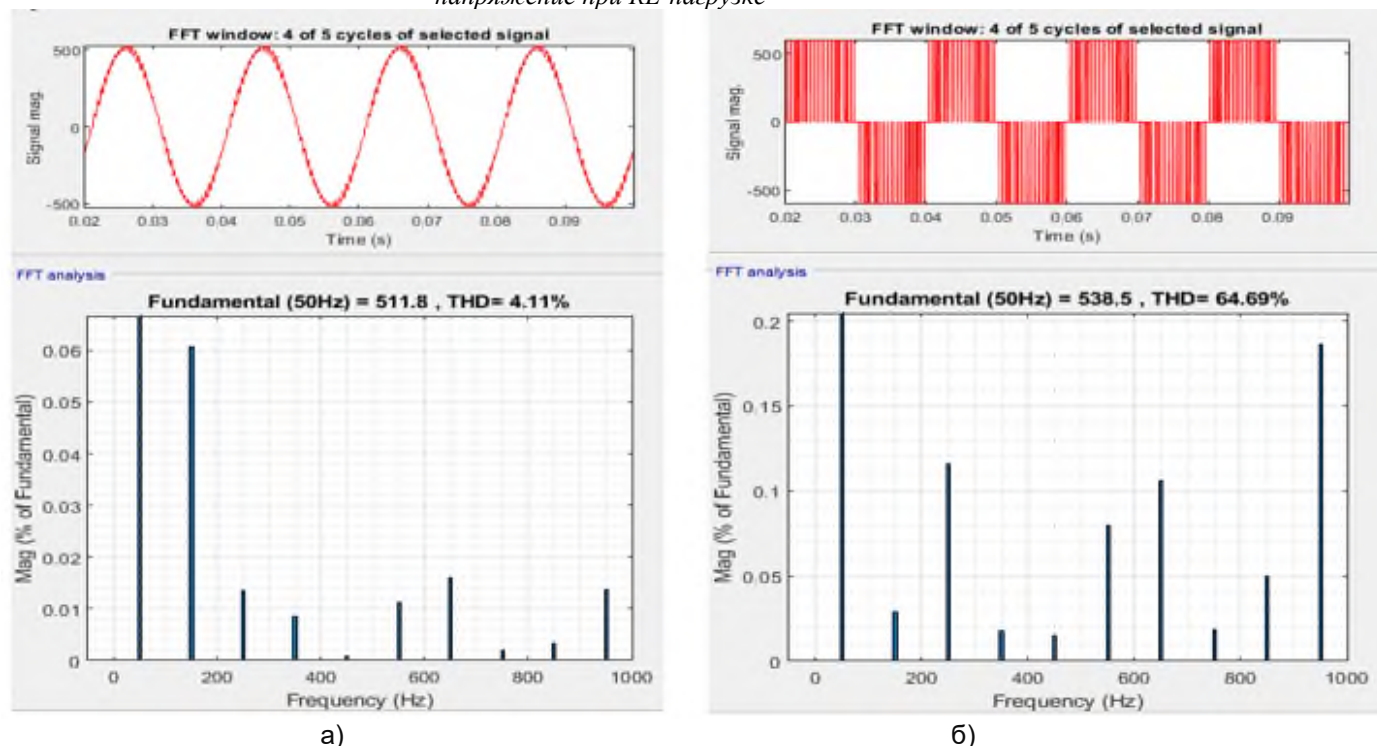


Рисунок 9 – Гармонические искажения по результатам имитационного компьютерного моделирования униполярного инвертора с синусоидальной ШИМ при частоте коммутации 1 кГц: а – выходной ток при RL-нагрузке; б – выходное напряжение при RL-нагрузке

Таблица 2 – Сравнительный анализ гармонических искажений выходного тока биполярного и униполярного инверторов с синусоидальной ШИМ

Частота коммутации, f, Гц	Биполярный инвертор		Униполярный инвертор	
	I _{вых} THD, %	U _{вых} THD, %	I _{вых} THD, %	U _{вых} THD, %
1	14,98	121,5	4,11	64,68
2	7,53	121,32	2,05	64,45
4	3,77	121,39	1,03	64,48
6	2,52	121,38	0,7	64,53
8	1,89	121,32	0,53	64,56
10	1,51	121,09	0,43	64,35
12	1,27	121,38	0,35	64,48
14	1,09	121,4	0,3	64,59
16	0,96	121,49	0,27	64,56

Также исследовано влияние частоты коммутации на синусоидальность выходных токов и напряжений для биполярного и униполярного инверторов. Результаты исследования приведены в таблицах 2 и на рисунке 10. Как видно, при повышении частоты коммутации полупроводниковых ключей инверторов гармонические искажения по току снижаются, что приводит к лучшему приближению к синусоидальной форме, что весьма важно для солнечных электростанций.

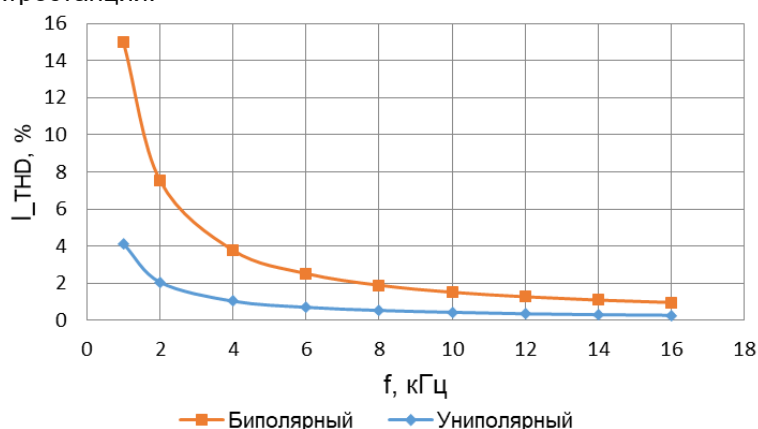


Рисунок 10 – Сравнение гармонических искажений тока биполярного и униполярного инверторов с синусоидальной ШИМ при разных частотах коммутации

Исследование показало, что при одинаковых условиях (согласно параметрам приведенным в таблице 1) в биполярном инверторе действующее значение выходного тока составляет 366 А, а напряжения - 599,5 В. В униполярном инверторе действующее значение выходного тока составляет 362 А, а напряжение - 453,8 В. Это показывает, что выходная мощность у биполярного инвертора получается выше, чем у униполярного инвертора.

Заключение

В данной статье проведен сравнительный анализ биполярных и униполярных инверторов, используемых в солнечных электростанциях. Для исследования в программе MATLAB с использованием блоков из библиотеки Simscare были разработаны имитационные компьютерные модели соответствующих инверторов. Для управления этими инверторами использовалась синусоидальная широтно-импульсная модуляция (СШИМ), которая формирует управляющие сигналы для включения и выключения полупроводниковых ключей в нужные моменты времени.

Результаты моделирования показали, что выходное напряжение биполярного инвертора изменяется между положительным (+U_п) и отрицательным напряжением (-U_п) источника питания, а в униполярном инверторе между (0) и (+U_{ист}) во время положительного полупериода и между (0) и (-U_{ист}) в течение отрицательного полупериода. В биполярном инверторе частота переключения выходных сигналов совпадает с частотой несущего сигнала, а в униполярном инверторе частота переключения в два раза выше, чем частота несущего сигнала. Это приводит к снижению динамических потерь в биполярном инверторе и увеличению КПД преобразователя по сравнению с униполярным инвертором.

Проведено сравнение гармонических искажений выходных токов и напряжений инверторов, а также влияние частоты коммутации полупроводниковых ключей на синусоидальность выходных сигналов. Гармонические искажения биполярного инвертора при частоте коммутации 1 кГц по току составляют 14,98%, а у униполярного инвертора - 4,11%. Гармонические искажения биполярного инвертора по напряжению составляют 121,61%, а у униполярного инвертора - 64,69%. Таким образом, исследование показало, что

использование униполярного инвертора в солнечных электростанциях обеспечивает лучшее приближение выходных сигналов к синусоидальной форме по сравнению с биполярным инвертором.

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

Литература

1. B. Ismail, S. Taib MIEEE, A. R Mohd Saad, M. Isa, C.M. Hadzer “Development of a Single Phase SPWM Microcontroller-Based Inverter” First International Power and Energy Conference PE Con 2006 November 28 -29, 2006, Putrajaya, Malaysia
2. Mr. R. Senthil kumar, M.Singaravelu “Design Of Single Phase Inverter”, dsPIC30F4013 International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(11), 2010, 6500-6506.
3. Y. Yang, F. Blaabjerg, S. Waffler, and H. Wang, “Low-Voltage Ride-Through of Single-Phase Transformerless Photovoltaic Inverters,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 50, no. 3, pp. 1942–1952, Jun. 2014.
4. Amith kumar Sharma, Ashok Kumar Sharma and Nidhi Vijay, Unipolar and Bipolar SPWM Voltage modulation type inverter for improving switching frequencies, International journal of Engineering science and research Technology, , Vol.3(8), pp.106 - 110, 2014.
5. Michael James McCarty, “Determining the Optimum Operating Parameters of a Unipolar Pwm Inverter,” Thesis of Master of Science Electrical Engineering, California Polytechnic State University, San Luis Obispo May 2010.
6. Дунаев, М. П. Моделирование однофазного двухуровневого автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией / М. П. Дунаев, С. У. Довудов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1, № 7. – С. 197-198.
7. Дунаев, М. П. Сравнение энергоэффективности схем автономных инверторов напряжения с синусоидальной широтно-импульсной и частотно-импульсной модуляцией / М. П. Дунаев, С. У. Довудов // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 4(53). – С. 50-55. – DOI 10.18503/2311-8318-2021-4(53)-50-55.
8. Dunaev, M. P. Energy Characteristics the Autonomous Voltage Inverter with the Pulse-Frequency Modulation / M. P. Dunaev, S. U. Dovudov, L. V. Arshinskiy // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2020. – P. 9271151. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271151.
9. Analysis and comparison of energy indices of dc-dc pulse converters / S. U. Dovudov, M. P. Dunaev, A. Zhiravetska [et al.] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2022. – Vol. 98, No. 6. – P. 99-103. – DOI 10.15199/48.2022.06.19.
10. Довудов, С. У. Анализ энергетических показателей импульсных преобразователей / С. У. Довудов, М. П. Дунаев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 2(151). – С. 345-355. – DOI 10.21285/1814-3520-2020-2-345-355. – EDN TAQYLP.

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

TJ	RU	EN
Довудов Сарфароз Умедович	Довудов Сарфароз Умедович	Dovudov Sarfaroz Umedovich
Ассистент	Ассистент	Assistant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
E.mail: sarfarozdovudov@gmail.com		
TJ	RU	EN
Шарифов Боҳирҷон Насруллоев	Шарифов Бохирджон Насруллоев	Sharifov Bohirjon Nasrulloev
н и т	к.т.н.	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
E.mail: Bohir.sharifov89@gmail.com		
TJ	RU	EN
Абдурахмонов Абдукарим Якубович	Абдурахмонов Абдукарим Якубович	Abdurakhmonov Abdukarim Yakubovich
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
д.и.т.	д.т.н.	Doctor of Technical Sciences
TJ	RU	EN
Ниёзӣ (Чоршанбиев) Сирочиддин Рачаббоқӣ	Ниёзӣ (Чоршанбиев) Сироджиддин Раджабоқӣ	Ниёзӣ (Чоршанбиев) Сирочиддин Рачаббоқӣ
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of Technical Sciences
Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон	Министерство образования и науки Республики Таджикистан	Ministry of Education and Science of the Republic of Tajikistan
E.mail: nivozi@maorif.tj		

УДК 621.311

ТАҲҚИҚИ РЕҶАИ ҒАЙРИСИНУСОИДАЛӢ ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ БАРОИ БАҲОДИҲИИ БА ВУҶУД ОМАДАНИ ҲОДИСАИ РЕЗОНАНС

¹Ш.Ҷ. Ҷўразода, ²З.Ҳ. Ҳабибуллозода, ²М.К. Ҷаборов, ²С.Т. Исмоилов

²Филиали Донишгоҳи миллии тадқиқоти «Донишкадаи энергетикӣ Москва» дар ш. Душанбе

¹Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола дар бораи омилҳои асосии зухуроти резонанс дар шабакаҳои электрикӣ сухан меравад. Инчунин усулҳои гуногуни ҳисоб ва пешгӯии ҳодисаи резонанс баррасӣ карда шуда, хулосаҳои зарурӣ ҷуфта шудааст. Ба сифати мисол, нақшаи 5 – гиреҳи IEEE дар барномаи Etap амсиласозӣ карда шуда, тавсифи амплитудавӣ-басомадии он дар речаҳои гуногун таҳқиқ карда шудааст. Барои осон намудани баҳодиҳии ҳодисаи резонанс дар шабакаҳо вобастагии байни муқовимати гиреҳ дар басомади резонансӣ ва дар басомади асосӣ, ҳамчун зариби ба вучудии резонансро дар гармоникаи n – ум қабул шудааст. Дар асоси натиҷаҳои ҳисоб ҷадвали муайян намудани бавҷуд омадани зухуроти резонанс дар нақшаи электрикӣ таҳқиқшаванда тартиб дода шудааст.

Калимаҳои калидӣ: резонанс, речаи ғайрисиносоидалӣ, шабакаҳои электрикӣ, шиддат, ҷараён, гармоникаҳои оӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Ш.Дж. Джурозода, З.Х. Хабибуллозода, М.К. Джабаров, С.Т. Исмоилов

В статье приведены основные причины возникновения резонансных явлений в электрических сетях. Произведён обзор различных существующих методов прогнозирования резонанса в электрических сетях и сделаны соответствующие выводы. В качестве примера, смоделирована 5 – узловая тестовая схема IEEE в программном комплексе Etap и построены амплитудно-частотные характеристики для различных режимов её работы. Для удобства, при оценке резонанса в электрических сетях отношение между узловыми сопротивлениями на резонансных и основной частотах, принимаем как коэффициент возникновения резонанса на частоте на n – ой гармоники. На основе результатов расчёта составлена таблица для определения возникновения резонанса в рассматриваемой электрической сети.

Ключевые слова: резонанс, несинусоидальные режимы, электрические сети, напряжение, ток, высшие гармоники.

STUDY OF NON-SINUSOIDAL MODES IN ELECTRIC NETWORKS TO ASSESS THE OCCURRENCE OF RESONANCE PHENOMENA

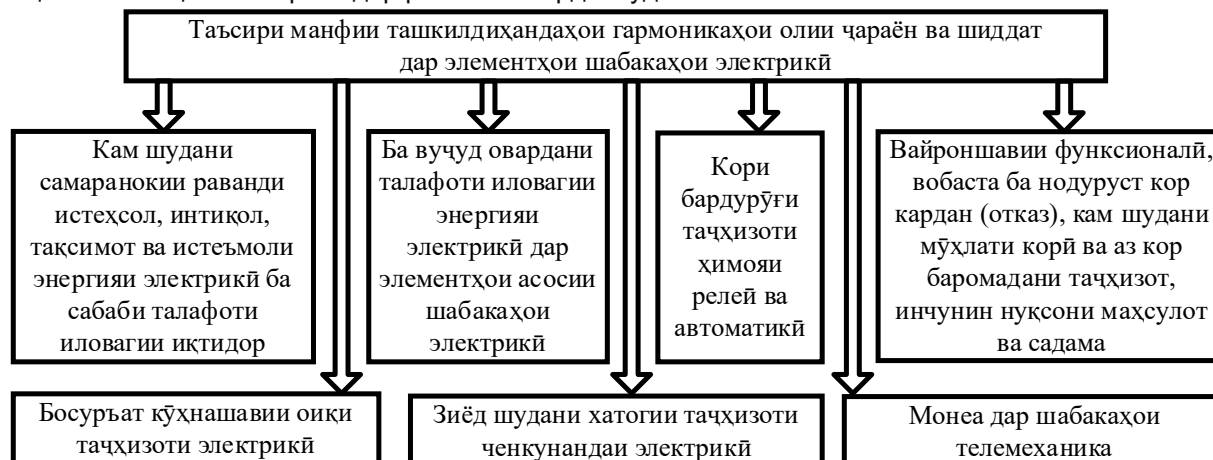
Sh.J. Jurazoda, Z.H. Habibullozoda, M.K. Jaborov, S.T. Ismoilov

The article presents the main causes of resonance phenomena in electrical networks. A review of various existing methods for predicting resonance in electrical networks is provided and the corresponding conclusions are made. As an example, a 5-node IEEE test circuit is modeled in the Etap software package and amplitude-frequency characteristics are constructed for various modes of its operation. For convenience, when assessing resonance in electrical networks, the ratio between nodal resistances at resonant and fundamental frequencies is taken as the coefficient of resonance occurrence at the frequency of the n -th harmonic. Based on the calculation results, a table is compiled to determine the occurrence of resonance in the electrical network under consideration.

Keywords: resonance, non-sinusoidal modes, electrical networks, voltage, current, higher harmonics.

Ҳодисаи резонанс зухуроти хатарнок барои таҷҳизоти электрикӣ ба ҳисоб меравад, ки дар раванди ин ҳодиса таҷҳизот метавонад қисман ва ё пурра осеби техникӣ гирад. Аз нуқтаи назариявӣ, ин ҳодиса ҳангоми дар занҷири электрикӣ як ва ё якчанд элементи индуктивӣ ва инчунин як ва ё якчанд конденсатор мавҷуд будан, ба амал меояд. Маълум аст, ки нақшаи бадалии шабакаҳои электрикӣ ба намуди занҷирҳои электрикӣ ифода кардан мумкин аст [1]. Аз ин рӯ, ҳангоми дар шабакаҳои электрикӣ мавҷуд будани элементҳои дорои муқовиматҳои индуктивӣ (муқовиматҳои индуктивии трансформатор, хати интиқоли барқ ва ғайраҳо) ва ё ғунҷоишӣ (ноқилиятҳои ғунҷоишии батареяҳои конденсаторӣ, хати интиқоли барқ ва ғайраҳо) дошта, эҳтимоли ба вучуд омадани ин ҳодиса аз мадди назар дур нест. Ҳангоми истифодабарии яқояи элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ дар шабакаҳои электрикӣ, ки ба тарзи пайдарпай ва ё мувозӣ пайваست мешаванд, муттаносибан ба зиёд ва ё кам шудани муқовимати умумии занҷир оварда мерасонад. Тағйирёбии қимати муқовимат ба тағйирёбии шиддат ва ҷараён дар шабака оварда мерасонад. Дар баъзе ҳолатҳо қимати шиддат ва ё ҷараёни резонансӣ дар шохаҳои алоҳидаи занҷир метавонад аз қимати шиддат ва ё ҷараёни манбаъ даҳҳо ва ҳатто садҳо маротиба зиёд шавад. Бояд гуфт, ки ҳодисаи резонанс ҳам дар ҷараён ва шиддати басомади асосӣ (50 Ҳз) ва ҳам дар басомадҳои дигар (аз 50 Ҳз калон), ҳангоми мавҷуд будани манбаъҳои ин гуна ҷараён ва ё шиддат дар ин басомадҳо ба амал ояд. Маълум аст, ки манбаъҳои гармоникаҳои оӣ дар шабакаҳои электрикӣ асосан элементҳои тавсифи волт-ампериашон ғайрихаттӣ ва ё ба ибораи дигар «элементҳои ғайрихаттӣ» (росткунакҳои табдилдиҳанда, лампаҳои каммасраф, таҷҳизоти электронӣ, трансформаторҳо ва ғайраҳо) мебошанд. Ин гуна элементҳо дар ҷараёни басомади асосӣ (50 Ҳз) кор карда истода, ба шабака ҷараёнҳои гармоникаҳои олиро қорӣ месозанд. Дар натиҷа, ҳангоми гузариш аз шохаҳои шабакаҳои электрикӣ, ки дар ин гуна басомад дорои муқовимати калон мебошанд, афтиши шиддат ба вучуд меояд, ки он нисбат ба меъёри шиддати гармоникаҳои олии дар ҳуҷҷатҳои стандартӣ омада, метавонад даҳҳо ва ҳатто садҳо маротиба зиёд бошад. Маълум аст, ки ҳангоми зиёд будани шиддатҳо ва ё ҷараёнҳои гармоникаҳои оӣ дар шабака, ба

элементҳо алоҳидаи он зарари ҷиддӣ мерасонад. Ин ҳодиса, махсусан дар шабакаҳои электрикӣ, ки дар онҳо БСК ва манбаъҳои гармоникаҳои олӣ мавҷуд ҳастанд, имконияти бештари ба амал омаданро доро мебошанд. Аз ин лиҳоз, омӯзиши речаҳои ғайрисинусоидалии шабакаҳои электрикӣ ва инчунин тартиб додани тавсифи амплитудавӣ-басомадӣ (ТАБ) дар гиреҳҳои алоҳидаи шабака аҳамияти муҳим дорад. Таъсири манфии ГОҶ ба элементҳои шабакаҳои электрикӣ дар расми 1 оварда шудааст.



Расми 1 – Факторҳои таъсири манфии ташкилдиҳандаҳои гармоникаҳои олии шиддат ва ҷараён ба элементҳои шабакаҳои электрикӣ

Вобаста ба намуди пайвасти муқовиматҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ дар занҷирҳои электрикӣ ду намуди резонансро ҷудо намудан мумкин аст:

- резонанси ҷараёнҳо;
- резонанси шиддатҳо.

Резонанси ҷараёнҳо ҳангоми пайвасти мувозии ду шохаҳои дорои муқовиматҳои ғайрифаъоли тавсифи гуногундошта (индуктивӣ ва ғунҷоишӣ) дар занҷири электрикӣ (расми 2а) ба амал меояд.

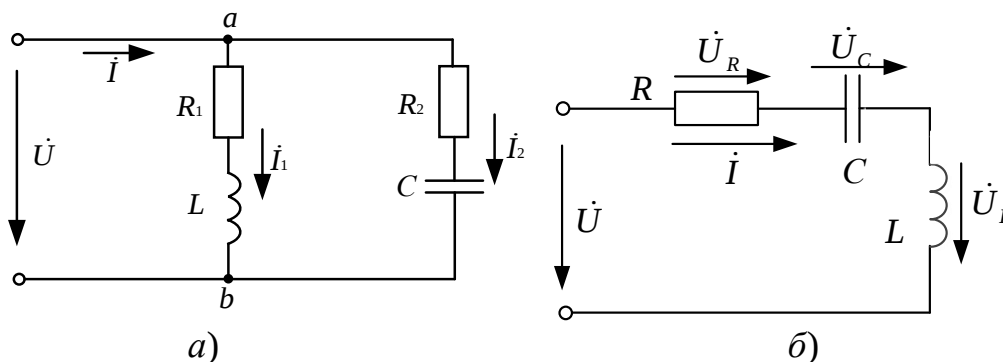
Мувофиқи таърифи речаи резонанс ҷараёни $\dot{I}$ ба шиддати $\dot{U}$ аз рӯи фаза бояд мувофиқ биёяд. Ин ҳодиса вақте ба вуқӯ мепаивандад, ки агар дар занҷири электрикӣ шарти $b_1 - b_2 = 0$ иҷро шавад, яъне суммаи ноқилиятҳои ғайрифаъол ба сифр баробар шаванд. Шарт ба вучуд омадани резонансро дар занҷири расми электрикӣ 2а, ҳангоми $R_1 = R_2 = 0$ будан, ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \quad (1)$$

Агар ҳодисаи резонанс дар занҷири электрикӣ ҳангоми пайвасти пайдарпаи элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ ба вуқӯ ояд, пас онро резонанси шиддат меноманд.

Резонанси шиддат дар занҷири электрикӣ вақте ба вуқӯ мепаивандад, агар муқовимати воридотии $Z = R + j\left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)$ танҳо фаъол бошад. Ин ҳолат ҳангоми иҷро шудани шарти $\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} = 0$ ба амал меояд. Аз ин рӯ, шарт ба вучӯ омадани резонансро дар занҷири электрикӣ расми 2б, дар намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$



Расми 2 – Пайвасти мувозӣ (а) ва пайдарпаи (б) элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоишӣ

Ҳангоми иҷро шудани баробарии (2), қимати ҷараён ба $\dot{I} = \dot{U}/R$ баробар мешавад. Дар ин маврид, модули шиддат дар элементи индуктивӣ ба модули шиддат дар элементи ғунҷоишӣ (конденсатор) баробар мешавад:

$$\dot{U}_L = \dot{U}_C = \omega_0 \cdot L \cdot \dot{I} = \frac{\omega_0 \cdot L}{R} \cdot \dot{U} \quad (3)$$

дар ин ҷо, ω_0 – басомади резонансӣ мебошад.

Вобастагии байни муқовимати индуктиви резонансӣ ($\omega_0 \cdot L$) ва муқовимати фаъоли занҷирро хушсифатии контури резонансӣ меноманд ва онро мувофиқи формулаи зерин муайян менамоянд:

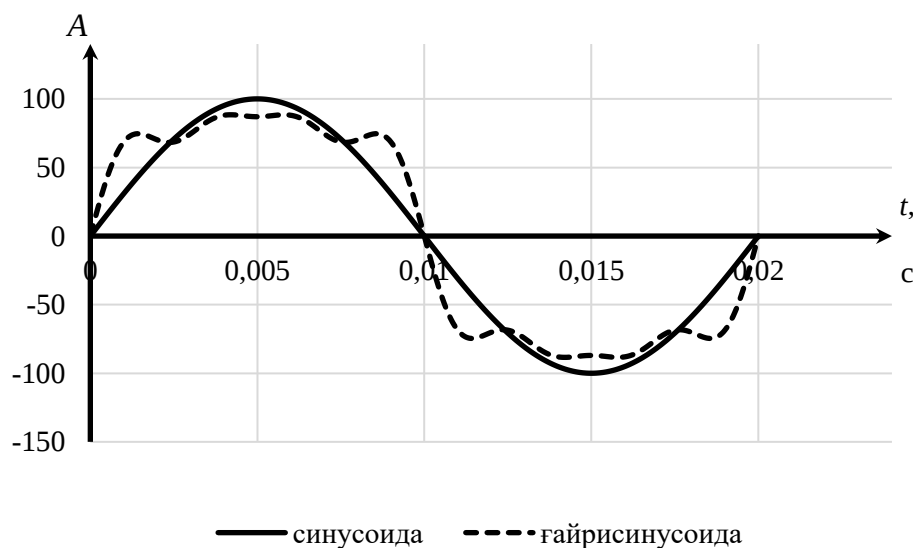
$$\frac{\omega_0 \cdot L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \cdot L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \cdot L^2}{R} = \frac{\sqrt{L}}{R} = Q \quad (4)$$

Хушсифатии контури резонансӣ (Q) нишон медиҳад, ки шиддат дар элементи индуктивӣ ($\dot{U}_L$) ва ё ғунҷоишӣ ($\dot{U}_C$) чӣ қадар аз шиддат дар бандакҳои содиротии занҷир ($\dot{U}$) ҳангоми речаи резонансӣ зиёд аст.

Аз формулаи (4) чунин хулоса баровардан мумкин аст: чӣ қадаре, ки муқовимати фаъоли контури резонансӣ ҳангоми доимӣ будани параметрҳои боқимондаи занҷир хурд бошад ва ё ба ибораи дигар чӣ қадаре, ки хушсифатии контур (Q) зиёд бошад, ҳамон қадар эҳтимолияти ҳодисаи резонанс зиёд мешавад.

Дар системаҳои электроэнергетикӣ (СЭЭ) низ ба амал омадани ҳодисаи резонанс ҷой дорад. Ин ҳодиса вақте ба амал меояд, ки агар ноқилиятҳои индуктивӣ (трансформаторҳо, хати интиқоли барқ ва Ҳоказо) бо ғунҷоишии шабака (батареяҳои статикӣ конденсаторӣ (БСК), ғунҷиши хати интиқол барқ ва Ҳоказо) баробар шаванд ва ё ба ҳамдигар наздик бошанд. Одатан, резонанс дар басомадҳои баланд дар речаҳои ғайрисинусоидаӣ ба вуқӯ мепаивандад, зеро шарти резонанс метавонад на танҳо басомади асосӣ (50 Ҳз), балки дар басомадҳои дигар низ ба амал ояд. Аз тарфи дигар, барои ба вуҷуд омадани ҳодисаи резонанс ба ғайр аз иҷро шудани шарти (2) инчунин дар шабака бояд манбаҳои ҷараён ва ё шиддати гармоникаҳои олий мавҷуд бошанд.

Речаҳои ғайрисинусоидаӣ гуфта, речаи кори СЭЭ – ро меноманд, ки дар он қатъҳои шиддат ва ҷараён аз шакли синусоидалии идеалӣ дур мешаванд (расми 3). Ҳар як функсияи ғайрисинусоидаӣ мувофиқи қатори Фуре метавонад, ба функсияҳои басомади асосӣ ва басомадҳои гармоникаи олий, ки ба басомади асосӣ қаратӣ мебошанд, ҷудо шавад. Ба ибораи дигар, шиддати (ҷараёни) ғайрисинусоидалиро метавон ба шиддатҳои (ҷараёнҳои) басомади 50 Ҳз ва басомадҳои ба он қаратӣ (ба монанди 100; 150; 200; 250 Ҳз ва Ҳоказо) ҷудо намуд. Чӣ хеле ки дар боло зикр намудем, сабаби асосии пайдошавии речаҳои ғайрисинусоидаӣ дар шабакаҳои электрикӣ ин мавҷуд будани борҳои электрикӣ, ки тавсифи вольт-ампериашон ғайрихаттӣ аст, мебошанд. Дар СЭЭ ин гуна борҳо мунтазам меафзоянд, ки оқибат боиси пайдо шудани ташкилдихандаи баландбасомади (гармоникҳои олий) ҷараён ва шиддат мегардад (расми 3).



Расми 3 – Шакли қатъаттаи функсияи синусоидаӣ ва ғайрисинусоидаӣ

Гармоникаҳои олии чараён ба зиёдшавии чараёни умумӣ дар қисмҳои чараёнгузар мегарданд ва дар ҳолатҳои резонансӣ метавонанд сабабгори пеш аз муҳлат аз кор баромадани таҷҳизоти шабака (расми 1), махсусан, БСК ва ё ҳатто боиси садама гарданд. Реҷаҳои кори ғайрисинусоидали СЭЭ дорои камбудҳои муайян мебошанд. Дар баъзе мавридҳо, нишондодҳои техникӣ ва иқтисодии кори қабулкунакҳо ва дастгоҳҳои барқӣ, ки ба шабака пайвастанд, метавонанд бад шаванд ё ҳатто ғайриқобили қабул бошанд. Аз ин рӯ, барои паст намудани чараёни гармоникаҳои олий чораҳои махсус дидан лозим аст. Таҳрифи шакли қачхаттаи синусоидалии шиддат ва чараён ба кори элементҳои шабакаҳои электрикӣ таъсири манфӣ мерасонад. Аз ҷумла, боиси пайдоиши талафоти иловагии тавоноӣ мегардад, ки ин дар навбати худ боиси баланд шудани гармии қисмҳои чараёнгузари ин элементҳо гардида, оқибат ба кам шудани муҳлати кори онҳо оварда мерасонад. Ҳодисаҳои резонансӣ ҳангоми иваз шудани конфигуратсияи шабакаҳои электрикӣ (пайваст ва ё ҳомӯш шудани БСК, хати интиқол ва дигар элементҳои шабака) низ метавонанд ба вучуд оянд.

Шиддати (бузургии) ғайрисинусоидалӣ бо нишондиҳандаҳои зерин тавсиф карда мешавад:

1. Зариби таҳрифи синусоидалии қачхаттаи шиддат;
2. Зариби гармоникаи n -уми шиддат.

Зариби таҳрифи синусоидали қачхати шиддат K_U ин нисбати қимати суммавии амалкунандаи ҳамаи гармоникаҳои олий, ба қимати амалкунандаи шиддати гармоникаи асосии фаҳмида мешавад, $n \geq 2$.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_{(n)}^2}}{U_{\text{ном}}} \quad (5)$$

Оид ба пайдоиш, пешгӯӣ, бартараф ва ё коҳиш додани таъсири резонанс ба элементҳои СЭЭ корҳои илмӣ зиёде ба нашр расидааст ва олимони гуногун ҳулосаҳои ҳудро баён намуданд. Аз ин рӯ, як чанд мақолаҳоро дар ин мавзӯ баррасӣ мекунем.

Дар кори илмӣ [1] барои ҳисоб намудани параметрҳои низоми (системаи) таъминоти барқ, ҳангоми реҷаи ғайрисинусоидалӣ, усули шиддатҳои гиреҳӣ истифода бурда мешавад. Ҳангоми истифодаи усули мазкур, барои тартиб додани нақшаи бадалии шабакаҳои электрикӣ дар реҷаи ғайрисинусоидалӣ, вобастагӣ аз басомадро ба назар гирифтани лозим аст. Аз ин рӯ, амсилаи (модел)и ҳисоби низоми таъмини барқ ҳангоми реҷаи ғайрисинусоидалӣ дар барномаи комплекси Matlab/Simulink коркард карда шудаст. Саҳеҳи модел дар асоси ҳисоби реҷаи ғайрисинусоидалӣ бо усулҳои маъмул санҷида шуданд. Натиҷаҳои санҷиш аз дақиқияти модел дарак медиҳад. Дар асоси модели коркардшуда, пайдошавии резонанси гармоникаҳои олиро дар нуқтаҳои гуногуни хати интиқоли барқ нисбат ба муқовимати система дида баромада шудааст. Муайян карда шудааст, ки тағйирёбии конфигуратсия ё параметрҳои шабакаҳои электрикӣ боиси зиёдшавии шиддат ва ё чараёни гармоникаи олий гардад.

Дар кори илмӣ [2] реҷаҳои ғайрисинусоидалии СЭЭ бо усули потенциали гиреҳӣ, ҳангоми мавҷуд будани манбаҳои гармоникаи олий дар он ҳисоб карда шудааст ва басомадҳое, ки дар онҳо резонанс ба вучуд омада метавонанд, бояд муайян карда шаванд. Ченкунии нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикии тавсифдиҳандаи шакли қачхаттаи шиддат ва чараён мебошанд, бо истифода аз асбобҳои ченкунанда, гузаронида шудааст. Дар асоси муқоисаи натиҷаҳои ҳисоб ва дараҷаи воқеии гармоникаи олий дар шабакаҳои электрикӣ қарори аз ҷиҳати техникӣ асосан гузоштани дастгоҳҳои ҷубронкунандаи филтр барои кам кардани гармоникаи олий ва пешгирӣ кардани ҳолатҳои садама, пешниҳод карда шудааст.

Сифати энергияи электрикӣ аз ҷойгиршавии батареяҳои конденсаторҳои статикӣ (БКС) дар гиреҳҳои системаҳои таъминоти барқ (СТБ) вобастагии зич дорад. Ҳангоми дар СТБ мавҷуд будани бори ғайрихаттӣ ва БКС боиси аз ҳад зиёд шудани чараён мешавад. Ин ҳодиса ба вучуд доштани ҳодисаи резонанс дар ягон басомад дар шабакаҳои электрикӣ рабт дошта метавонад. Табиист, ки дар сурати мавҷуд будани гармоникаи олий дар СТБ, ҳолати резонансӣ метавонад дар басомадҳои наздик ба басомадҳои як ё якчанд гармоникаи олие, ки дар СТБ мавҷуданд, рух диҳад. Резонанс вақте пайдо шавад, ки ноқилиятҳои индуктиви шабака ва ғунҷоишии БКС дар ягон басомад ба ҳам баробар шаванд. Дар ин ҳолат резонанси чараён ба вучуд меояд ва боиси зиёд шудани чараёни умумӣ мегардад ва он ба кори таҷҳизоти барқӣ, аз ҷумла БКС таъсири манфӣ мерасонад ва боиси аз ҳад зиёд гарм шудан ва барвақт аз кор баромадани онҳо мегардад [3].

Дар мақолаи [4] барои ҳолатҳои резонансӣ дар шабакаҳои барқии корхонаҳои саноатӣ ва борҳои ғайрихаттӣ бахшида шудааст ва муаллифони роҳҳои ошкор кардани чунин ҳолатҳоро баррасӣ мекунанд ба омилҳое, ки метавонанд ҳолатҳои резонансиро ба вучуд оваранд, тавачҷӯх мекунанд. Дар мақола инчунин таъсири резонансии фузуншиддатҳо ба унсурҳои сохтории мошинҳои электрикӣ ва роҳҳои техникии барои ташхиси пурраи онҳо пешниҳод шудааст.

Дар кори илмӣ [5] мақола ба таъсири шароити резонансӣ ба шиддати ғайрисинусоидалӣ дар шабакаҳои электрикӣ ва ба мушкilotҳои таъсири гармоникҳои олий ва резонанси онҳо дар шабакаи барқӣ-маишӣ равона шудааст. Муаллиф тадқиқоти муҳимро дар бораи аниқ кардани сабабҳои пайдоиши резонансҳои гармоникҳои баланд, ки бештар дар коркарди системаи таъмини тавоноии реактивӣ ва таҷҳизоти барқӣ рух

медиҳанд, пешниҳод мекунад. Инчунин ба муҳимияти таҳқиқоти минбаъда ва таҳияи тавсияҳои техникӣ барои пешгирии натиҷаҳои манфии резонансҳои гармоникӣ дар шабакаи электрии маишӣ ва ба фаъолияти дурусти бехатарии таҷҳизоти барқӣ ишора мекунад. Ҳангоми дар СТБ мавҷуд будани иқтидори реактивӣ, таъсири резонансӣ метавонад ба пастшавии сифати энергияи электрикӣ, гармшавӣ ва зарар ба таҷҳизоти барқӣ оварда расонад.

Кори илмӣ [6] ба таҳқиқи яке аз масъалаҳои муҳим дар СЭЭ, ки борҳои кашиши нақлиёт (масалан, роҳи оҳан) истифода мешаванд, баррасӣ шудааст. Барои таҳлили таъсири ин резонансҳо ва омилҳои мутақобили параметрҳои шабака, модели таҳлилии низоми таъминоти барқ бо бори кашиш (роҳи оҳан) дар барномаи Matlab/Simulink сохта шудааст. Таҳқиқот нишон дод, ки сабаби аслии хатогиҳо дар шиддат ва қараёнҳои системаҳои таъминоти барқ бо борҳои кашиш ин қараёнҳои ғайрисинусоидаӣ ва речаи резонансии шабакаи кашиш мебошад. Ҳангоми паст шудани тавоноии расиши кӯтоҳи шабакаи беруна, резонанс ба басомадҳои паст ба вуҷуд меояд, ки дар натиҷа амплитудайи гармоникаҳои олии шиддат ва қараён баланд мешаванд.

Мақолаи [7] ба таҳқиқи ҳолатҳои резонансӣ дар гармоникаҳои оӣ дар шабакаҳои барқӣ калон бахшида шудааст. Муаллифон усули нави муайян кардани гиреҳҳои пешниҳод мекунад, ки дар онҳо эҳтимолияти ҳолатҳои резонансӣ дар гармоникаҳои оӣ вуҷуд доранд. Дар усули пешниҳодшуда барои баҳодиҳии ҳолати резонансӣ дар шабака иқтидорҳои фаъол ва ғайрифавқоли таҳрифии гармоникаҳои оӣ пешниҳод карда шудааст. Муаллифон усули пешниҳодшудаи худро дар шабакаҳои Сибири Шарқӣ санҷиданд. Ҳисобҳо нишон доданд, ки речаҳои резонансӣ аксар вақт дар якҷанд гармоникаҳо якбора пайдо мешаванд ва ба минтақаҳои гуногуни шабака таъсир мерасонанд. Усули пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки басомадҳои резонансӣ дақиқ муайян шаванд ва барои пешгирӣ кардани чунин речаҳо, чораҳои зарурӣ андешида шаванд.

Дар [8] раванди се марҳилагӣ таҳия шудааст, ки роҳи кам намудани бавуҷудоии резонанси гармоникаи оӣ аз нуруҳои электрикӣ то истифодабарандагони охирин пешниҳод шудааст. Барои дуруст баҳо додани ба вуҷудоии зухуроти резонанс ду зарбҳои нав пешниҳод шудааст. Зариби якум, барои баҳо додани дараҷа ва ё ҷиддияти резонанс ва зариби дуюм бошад, барои коҳиш додани ин зухурот истифода бурда мешаванд. Дар марҳиллаи аввал, барои сохторбандӣ ва пешниҳоди ҳалли мушкилоти қабули қарор бо истифода аз зариби ҷиддияти резонанси гармоникаҳои оӣ амсилаи миқдорӣ таҳия карда мешавад. Бояд зикр кард, ки зариби ҷиддияти резонанси гармоникаҳои оӣ ҳамчун “функсияи ҳадаф” истифода мешавад. Дар марҳиллаи дуюм, истифодаи “назарияи фойданоки”, ҳамчун меёри қабули қарор барои интиҳоби иқтидори дилҳои конденсатор муҳим аст. Дар марҳиллаи сеюм, баҳодиҳии зарурияти коҳиш додани зухуроти резонанс дар гармоникаҳои оӣ, барои конденсатори мавҷудбуда, зариби коҳишдиҳӣ истифода бурда мешавад. Инчунин, ба сифати мисол, барои нишон додани самаранокии усули нави пешниҳодшуда, дар асоси амсиласозӣ роҳи кам намудани бавуҷудоии резонанси гармоникаи оӣ то се истифодабарандагони охирин, нишон дода шудааст. Раванди самархиллагии назарияи таҳияшуда, усули оқилона аст ва барои таҳлили мушкилоти қабули қарор, ки ба коҳиш додани резонанс дар гармоникаҳои оӣ зарур аст, саривақтӣ мебошад. Натиҷаҳои амсиласозӣ нишон доданд, ки барои истифодабарандагони охирин зарурияти насби конденсатор муҳим нест.

Мақолаи [9] ба ҳассосияти басомади мақомӣ (минбаъд “модалӣ”) барои таҳлили резонансии гармоникаи оӣ дар системаи электроэнергетикӣ бахшида шудааст. Таҳқиқи речаи резонансӣ барои муайян намудани саҳми элементҳои алоҳидаи шабакаи электрикӣ дар вақти резонанс, самаранок аст. Дар таҳлили ҳолати резонанси гармоникаҳои оӣ ду шакли ҳассосият, ҳассосияти муқовимати модалӣ ва ҳассосияти басомади модалӣ, вуҷуд дорад. Дар мақолаи мазкур усули ҳисоби зариби ҳассосияти басомади модалӣ дида шудааст. Натиҷаҳои таҳлил бо натиҷаҳои бо ёрии зариби ҳассосияти муқовимати модалӣ ба даст овардашуда муқоиса карда шудаанд. Ин муқоисакунӣ барои муайян намудани фарқият ва шабоҳати байни зарибҳои ҳассосият зарур аст. Натиҷаҳои муқоисакунӣ нишон доданд, ки ин зарибҳо якдигарро пурра мекунад ва барои ташҳиси мушкилоти резонанси гармоникаҳои оӣ дар системаи электроэнергетикӣ бояд яқоя истифода шаванд.

Мақолаи [10] ба таҳлили масъалаи резонанс дар якҷанд системаҳои хурди панелҳои фотоэлектрикӣ (минбаъд “панелҳои офтобии кластерӣ”), ки ба шабакаи электрикӣ пайваست шудаанд, бахшида шудааст. Дар мақола сухан оиди таъсири манфии резонанс дар ин гуна системаҳо ба сифати энергияи электрикӣ меравад. Барои ҳалли ин мушкилот, дар мақолаи принсипи муайянкунии резонанс таҳлил шудааст. Илова бар ин, принсипи табдилдиҳии вейвлетӣ низ таҳлил шуда, дар асоси он муайянкунии резонанс пешниҳод карда шудааст. Ниҳоят, алгоритми муайян намудани резонанс ҳам дар системаҳои анъанавии панелҳои фотоэлектрикӣ ва ҳам системаи панелҳои офтобии кластерии ба шабака пайваستшуда, пешниҳод шудааст. Натиҷаҳои моделсозӣ самаранокии усули пешниҳодшударо барои ҳалли мушкилоти резонансӣ дар системаи панелҳои офтобии кластерии ба шабака пайвастшуда, тасдиқ менамояд.

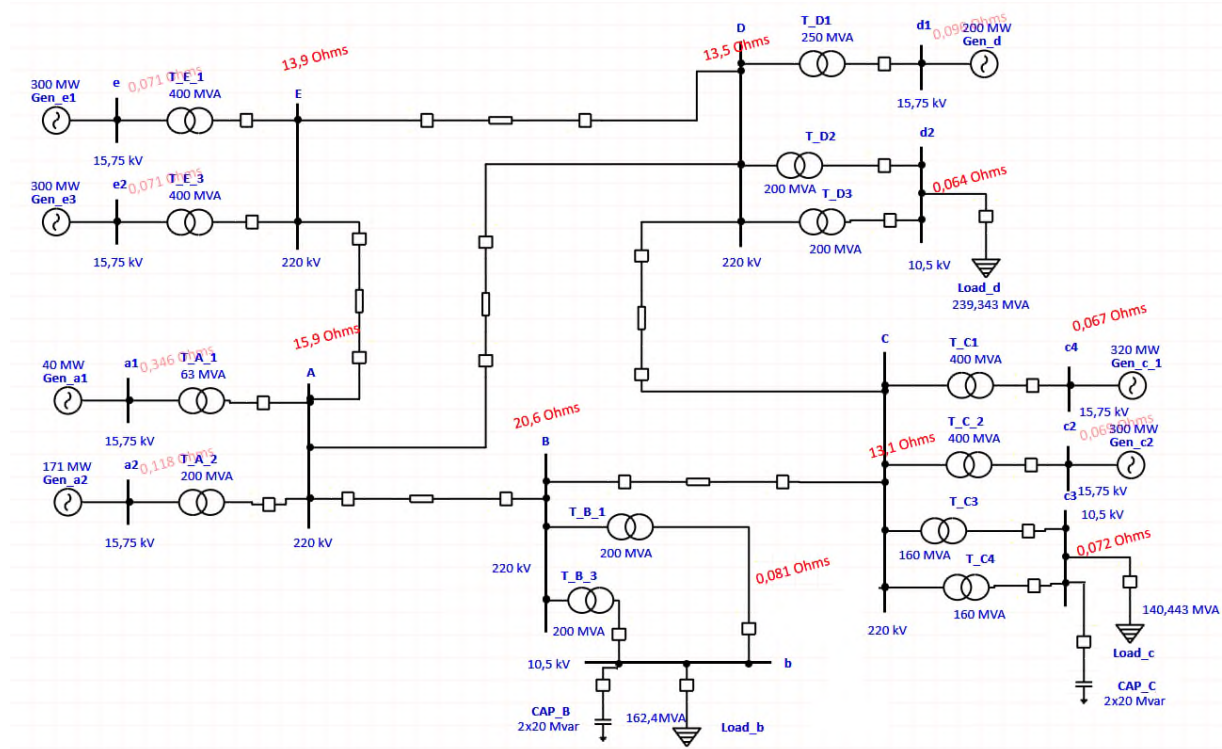
Мақолаи [11] ба таҳлили резонанси қараёнҳо дар системаҳои таъминоти барқӣ (СТБ) бо истифодаи вейвлети табдилдиҳӣ (ВТ) барои муайян кардани ҳодисаи резонанс (ХР) ва дараҷаи гармоникҳои олии қараён (ГОЧ) равона карда шудааст. Муайян намудани имконияти ба вуҷуд омадани резонанс дар СТБ ҳангоми интиҳоби дастгоҳҳои ҷубронкунандаи филтрӣ (ДЧФ) яке аз вазифаҳои асосӣ мебошад. Маълум аст, ки ХР дар

СТБ метавонад, зарари манфӣ расонад, ба монанди гармшавии иловагӣ дар қисмҳои ҷараёнгузари таҷҳизот, пеш аз муҳлат аз қор баромадани батареяҳои конденсаторҳои статикӣ (БКС) ва ғайраҳо оварда мерасонад. Муаллифон усули навро барои ошкор намудани ХР ва маҳдуд намудани таъсири манфии он ба элементҳои шабакаҳои электрикӣ (ШЭ) пешниҳод мекунанд. Ҳамчунин, истифодаи ВТ барои таҳлили функцияҳои ғайрисинусоидалӣ, ки дар речаҳои ғайристатионарӣ дар СТБ ба вуҷуд меоянд, муҳокима мекунанд. Алгоритме пешниҳод шудааст, ки фосилаҳои вақти мавҷудияти гармоникаи олӣ ва басомади пайдоиши резонанси ҷараён дар СТБ, ҳангоми дараҷаи ҷубронкунии тавоноии ғайрифайол бо ёрии БКС бо истифодаи аз ТВ муайян карда мешаванд. Инчунин дар мақола имконияти истифодабарии алгоритми пешниҳодшударо барои ҳисоби параметрҳои шабака ҳангоми речаҳои ғайристатионарӣ ва ғайрисинусоидалии СТБ исбот карда шудааст.

Дар мақолаи [12] усулҳои лоиҳакашӣ ва танзими конденсатори шунтӣ, ба монанди филтрҳои намуни С ва ё басомади баланди тартиби 3-юм пешниҳод карда шудааст. Таҳқиқи математикии усули мазкур исбот кард, ки кафолати кори конденсатори шунтиро бе ба вуҷуд омадани резонанс ва инчунин бе тағйирдиҳии конфигуратсияи он таъмин намояд. Ба ғайр аз ин, исбот карда шудааст, ки параметрҳои филтр аз шартҳои кори шабака вобастагӣ надоранд. Дар асоси натиҷаи ҳисобҳо ҷадвали ҷустуҷӯ барои параметрҳои филтр тартиб дода шудааст, ки имконияти истифодаи усули мазкурро дар истеҳсолот медиҳад. Инчунин таҳқиқи муқоисавии ду намунаҳои филтрҳои номбаршуда оварда шуда, нишон дода шудааст, ки ин филтрҳо дорои тавсифи истеҳсолии қиёсшаванда мебошанд. Филтрҳои басомади баланди тартиби 3-юм дорои бартариатҳои зиёд мебошанд, зеро онҳо андозаи хурд ва нисбатан устувории бештар ба параметрҳои шабака доранд.

Дар асоси таҳлили мақолаҳои баррасишуда гуфтан мумкин аст, ки шартҳои асосии ба амал омадани резонанс дар шабакаҳои электрикӣ ин мавҷуд будани элементҳои дорои муқовимат ва ё ноқилияти индуктивӣ ва ғунҷоишӣ ва манбаъҳои ҷараёнҳои гармоникаи олӣ мебошанд. Инчунин, ба ин раванд конфигуратсияи шабака, яъне пайваست ва ҷудо шудани ягон элементҳои нав дар он боис шуда метавонад.

Ба сифати мисол, ба вуҷуд омадани ҳодисаи резонансро дар речаҳои гуногуни (нормалӣ ва баъдисадамавӣ) кори нақшаи стандартӣ 5 – гиреҳи дар асоси стандартҳои Институти муҳандисони электротехника ва электроника (IEEE) омодашуда дида мебароем. Барои ҳисоб аз яке барномаҳои маъмул барои ҳисоби речаҳои кори СЭЭ – барномаи *Etap* 19.0.1 истифода мебарем. Нақшаи 5 – гиреҳи IEEE, ки дар барномаи *Etap* тасвир карда шудааст, дар расми 4 оварда шудааст, ки дар он қимати муқовиматҳои гиреҳӣ дар гиреҳҳои он оварда шудаанд.



Расми 4 – Тавсири нақшаи 5 – гиреҳи IEEE дар барномаи Etap

Параметрҳои асосии элементҳои нақшаи 5 – гиреҳи IEEE дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Натиҷаҳои амсиласозӣ (расми 5) нишон доданд, ки ҳангоми речаи муътадил мувофиқи параметрҳои додашудаи ҷадвали 1, муқовимати гиреҳи E дар басомади 1400 Ҳз (гармоникаи 28 – ум) ва наздик ба он бениҳоят калон (2266,75 Ом) мебошад. Ин маънои онро дорад, ки ҳангоми дар ҳамин гиреҳ мавҷуд будани гармоникаҳои олии ҷараёни ба ҳамин басомад наздик ҳодисаи резонанс ба амал меояд.

Ҷадвали 1 – Параметрҳои асосии элементҳои нақшаи 5 – гиреҳи IEEE

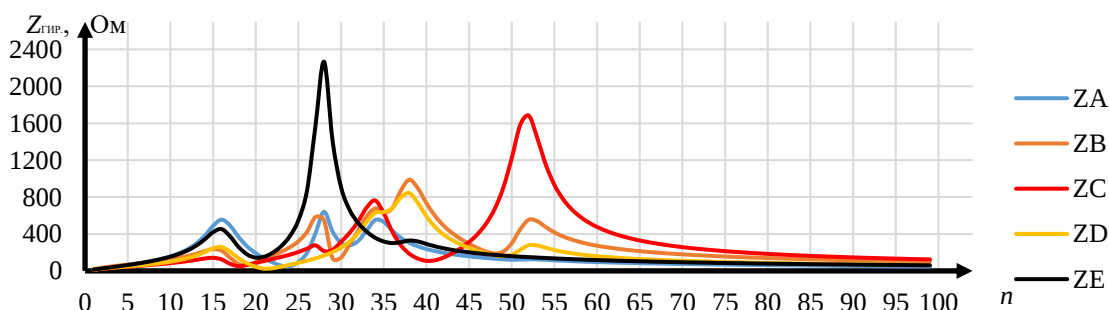
Элемент Гиреҳ	Иқтидори генератор, МВт	Иқтидори тр- р, МВА	Дарозии ХИБ, км	Иқтидори БСК, МВА _р	Иқтидори бор, МВА
A	1×40 1×171	1×63 1×200	A-B, 20км	-	-
B	-	2×200	B-C, 27км	2х20	162,481
C	1×320 1×300	2×400 2×160	C-D, 32км	-	140,443
D	1×200	1×250 2×200	D-A, 40км, D-E, 35км	-	239,343
E	2×300	2×400	E-A, 25км	-	-

Инчунин, муқовимати гиреҳи C дар басомади 2600 Ҳз (гармоникаи 52 – ум) низ ба 1682,4 Ом баробар аст, аммо аз сабаби он ки дар шабакаҳои электрикӣ бо сабаби кам будани қимати гармоникаҳои олии ҷараён дар басомадҳои аз 2000 Ҳз (гармоникаи 40 – ум) боло, мувофиқи ҳуҷҷатҳои стандартии амалкунандаи ҷумҳурӣ (ГОСТ 32144-2013) танҳо то гармоникаи 40 – ум меъёрбандӣ карда мешаванд. Аз ҳамин сабаб дар оянда, танҳо то басомади 2000 Ҳз таҳқиқ менамоем. Аз тарафи дигар дар шабакаҳои электрикӣ асосан гармоникаҳои тоқ қимати назаррас доранд ва асосан манбаҳои гармоникаҳои олий, ҷараёнҳои гармоникаҳои олии тоқ истеҳсол мекунанд, аз ин рӯ, баҳо додани гармоникаҳои олии тоқ мувофиқи мақсад мебошад. Мувофиқи расми 5 дар речаи муътадил муқовиматҳои гиреҳи дар гиреҳи A: дар гармоникаҳои 15 (487,4 Ом), 17 (490,4 Ом), 27 (407,9 Ом), 29 (426,6 Ом) ва 35 (531 Ом); дар гиреҳи B: дар гармоникаҳои 27 (584,1 Ом) ва 35 (633,5 Ом); дар гиреҳи C: дар гармоникаҳои 33 (686,8 Ом) ва 35 (625,3 Ом); дар гиреҳи D: дар гармоникаҳои 33 (636,9 Ом) ва 37 (795,7 Ом) ва дар гиреҳи E: дар гармоникаҳои 15 (419,2 Ом), 17 (373,6 Ом), 25 (549,1 Ом), 27 (1571,5 Ом), 29 (1411,3 Ом), 31 (661,1 Ом), 33 (425,2 Ом) ва 35 (358,8 Ом) баробар аст.

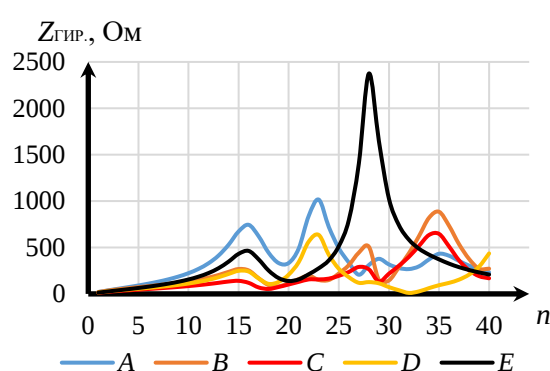
Барои осон намудани баҳодиҳии ҳодисаи резонанс дар шабакаҳо вобастагии байни муқовимати гиреҳ дар басомади резонансӣ ва дар басомади асосӣ, ҳамчун зариби резонансро дар гармоникаи n – ум қабул менамоем:

$$K_{p(n)} = Z_{r(n)} / Z_{r(1)} \quad (6)$$

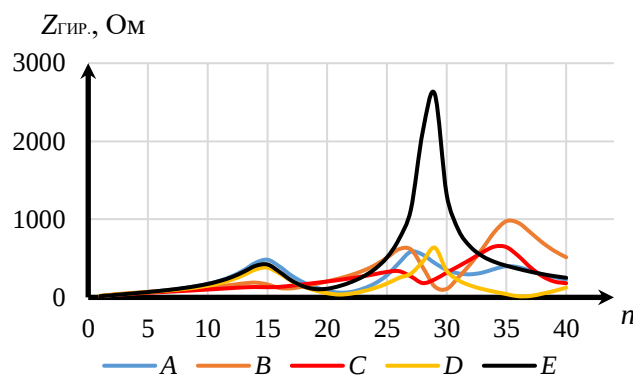
дар ин ҷо, $Z_{r(1)}$ – муқовимати гиреҳ дар речаи муътадил дар гармоникаи якум; $Z_{r(n)}$ – муқовимати гиреҳ дар гармоникаи n – ум мебошанд.



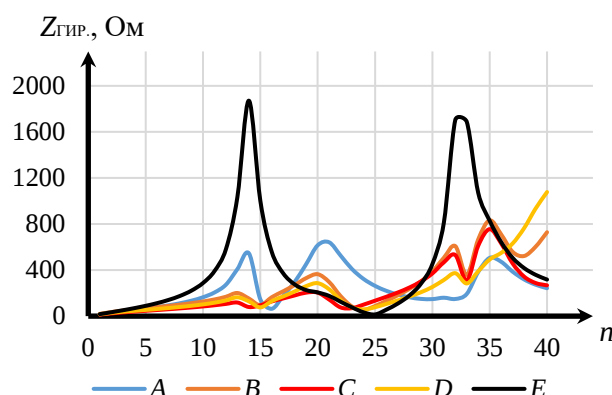
Расми 5 – Тавсифи амплитудавӣ-басомадии нақшаи озмоишӣ 5 – гиреҳи IEEE дар речаи муътадил (нормалӣ)



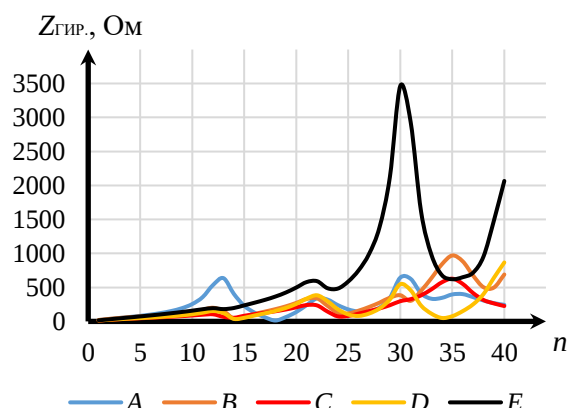
а) A-D



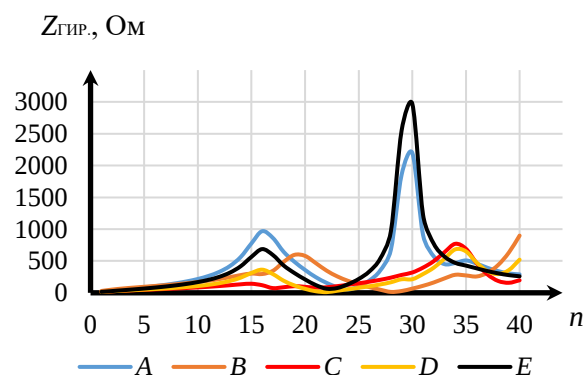
б) C-D



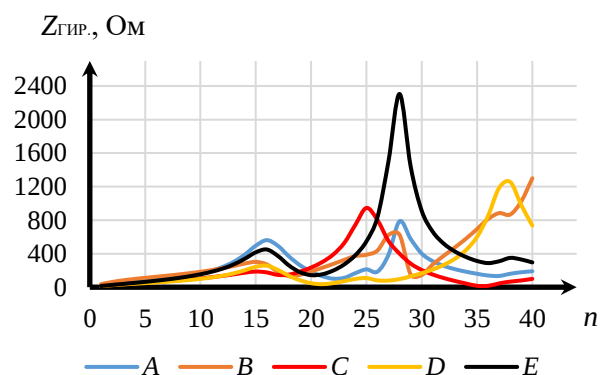
в) D-E



г) A-E



д) A-B



е) B-C

Расми 6 – Тавсифи амплитудавӣ-басомадии схемаи озмоишии 5 – гиреҳи IEEE дар речаи баъдисадамавӣ, ҳангоми хомӯш шудани хати интиқол: а) A-D; б) C-D; в) D-E; г) A-E; д) A-B; е) B-C

Муқовиматҳои гиреҳҳо дар речаи муътадил дар гармоникаи якум барои нақшаи электрикии дар расми 4 овардашуда муттаносибан ба $Z_{A(1)} = 15,35 \text{ Ом}$; $Z_{B(1)} = 19,1 \text{ Ом}$; $Z_{C(1)} = 12,33 \text{ Ом}$; $Z_{D(1)} = 12,91 \text{ Ом}$ ва $Z_{E(1)} = 13,67 \text{ Ом}$ баробар ҳастанд. Бо назардошти гуфтаҳои дар боло зикршуда тавсифи амплитудавӣ-басомадии нақшаи озмоишии 5 – гиреҳи IEEE – ро ҳангоми речаҳои имконпазири баъдисадамавӣ (БС), аниқтараш дар ҳолати хомӯш шудани яке аз хатҳои интиқол, яъне ҳангоми иваз шудани конфигуратсияи нақша дида мебароем.

Барои қиёс намудани натиҷаҳои ҳисоби зарби резонанс, қиммати меъёрии онро муайян намудан зарур аст. Барои ин сараввал бояд қимматҳои меъёрии муқовиматҳои дар дилхоҳ гармоникаҳо муайян намоём:

$$Z_{\Gamma(n)M} = U_{(n)M}/I_{(n)M} \quad (8)$$

дар ин ҷо, $U_{(n)M}$ – қиммати меъёрии гармоникаи (n) – уми шиддат дар шабакаҳои электрикӣ, ки мувофиқи ҳуҷҷати меъёрии [13] (дар Ҷумҳурии Тоҷикистон амалкунанда) муайян карда мешавад; $I_{(n)M}$ – қиммати меъёрии гармоникаи (n) – уми ҷараён дар шабакаҳои электрикӣ, ки мувофиқи ҳуҷҷати меъёрии [14] меъёрбандӣ карда мешавад.

Бо назардошти баробарии (7) қиммати меъёрии зароби резонансро муайян менамоем:

$$K_{p(n)M} = Z_{\Gamma(n)M}/Z_{\Gamma(1)} \quad (8)$$

Қиммати меъёрии гармоникаи (n) – уми ҷараёно дар шабакаҳои электрикӣ вобаста ба бузургии максималии иқтидор дар хати интиқол муайян менамоем:

$$I_{(n)M} = I_{m(1)} \cdot K_{I(n)} / 100 = (P_n / (\sqrt{3} \cdot U_n)) \cdot K_{I(n)} / 100 \quad (9)$$

дар ин ҷо, $I_{m(1)}$ – ҷараёни максималии хати интиқол дар гармоникаи якум, ки вобаста ба қиммати иқтидори натуралии хати интиқол (P_n) муайян карда мешавад; $K_{I(n)}$ – қиммати зароби меъёрии гармоникаи (n) – уми ҷараён дар шабакаҳои электрикӣ; U_n – шиддати номиналии шабака мебошанд.

Чӣ хеле, ки аз графикҳои расми 6 маълум аст, дар ҳамаи речаҳои кори нақшаи электрикии расми 4, гиреҳи E нисбат ба дигар гиреҳҳо ба ҳодисаи резонанс ҳассос мебошад. Зароби резонанс ҳангоми ҳомӯшшавии хати интиқоли $A-D$ ба $K_{p(27)} = 102,7$ ва $K_{p(29)} = 54,2$ баробар мебошанд. Инчунин, дар речаи баъдисадамавии мазкур (ҳомӯшшавии хати интиқоли $A-D$) қимати калони ин зариб дар гиреҳҳои A ($K_{p(15)} = 43,8$; $K_{p(17)} = 40,5$ ва $K_{p(23)} = 66,2$), B ($K_{p(27)} = 23,3$; $K_{p(33)} = 32,6$ ва $K_{p(35)} = 46,3$) ва C ($K_{p(35)} = 52,4$) мушоҳида карда мешаванд. Ҳамин тариқ, қиматҳои зароби $K_{p(n)}$ дар ҳолатҳои боқимонда ва қиматҳои меъёрии зароби резонанс, ки мувофиқи формулаи (8) муайян карда шудаанд, дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Натиҷаҳои ҳисоби речаи нормалии нақшаи электрикии расми 4 нишон доданд, ки сатҳи шиддат дар гиреҳи B , аз меъёри стандартӣ кам мебошад. Аз ин рӯ, барои баланд бардоштани сифати энергияи электрикӣ (сифати шиддат) дар нуқтаи номбурда манбаи энергияи ғайрифаъл (батареяҳои статикӣ конденсаторӣ) пайваст менамоем ва сатҳи шиддатро дубора тафтиш менамоем (расми 7).

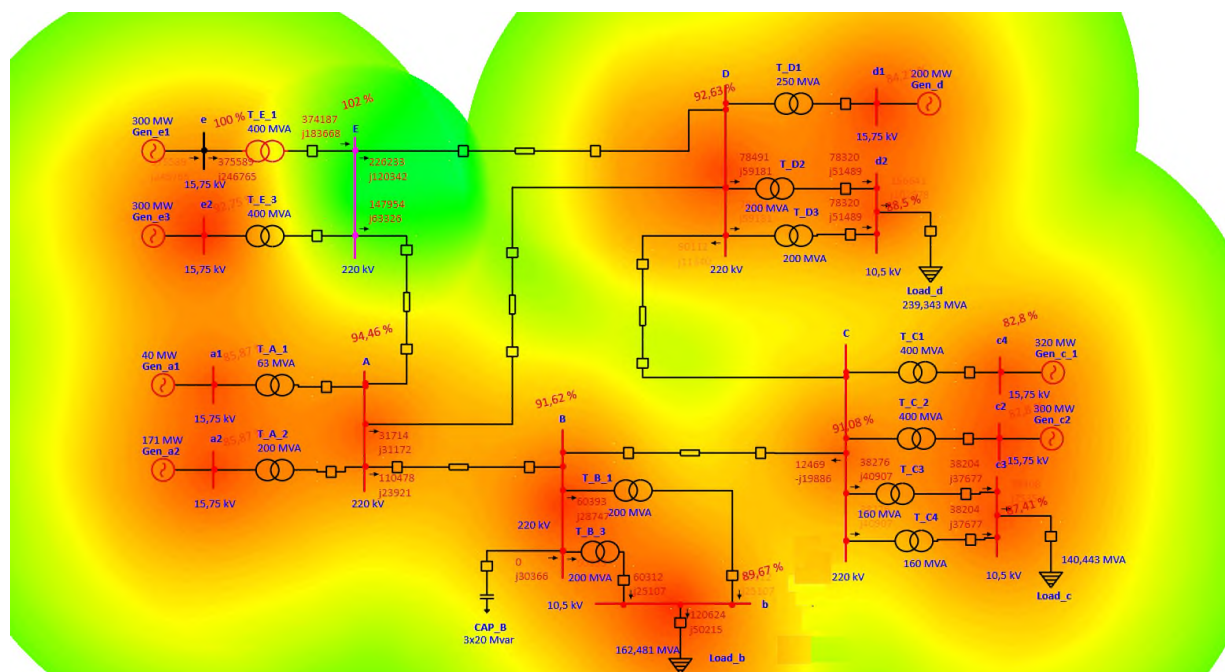
Ҷадвали 2 – Натиҷаи ҳисоби зароби резонанс дар речаҳои баъди баъдисадамавӣ (қиматҳое, ки аз 50 калон ҳастанд)

Речаи БС	Гиреҳ	Гармоникаҳо										
		13	15	23	25	27	29	31	33	35	37	39
Ҳомӯшшавии хати A-D	A	27	44	66	32	13	24	18	19	28	23	17
	B	11	14	8	11	23	8	15	33	46	28	14
	C	10	11	13	16	24	11	25	42	53	29	16
	D	14	19	49	21	10	9	4	2	7	11	22
	E	20	32	20	37	103	121	54	36	27	21	17
Ҳомӯшшавии хати C-D	A	23	31	7	18	38	27	20	21	26	22	17
	B	9	9	18	27	32	7	14	33	51	44	31
	C	10	11	22	26	22	19	32	47	52	31	16
	D	22	30	6	14	24	49	17	8	3	1	6
	E	24	31	19	37	82	191	63	39	30	24	20
Ҳомӯшшавии хати D-E	A	27	9	27	17	12	10	10	13	33	25	18
	B	11	5	4	5	10	16	27	19	44	29	32
	C	10	8	6	11	17	24	38	25	61	37	23
	D	13	6	6	6	11	16	24	22	38	49	72
	E	76	73	6	1	9	21	59	124	61	37	26
Ҳомӯшшавии хати A-E	A	41	15	21	11	9	22	41	22	26	23	17
	B	8	3	12	6	11	18	16	33	51	35	26
	C	5	7	11	6	12	19	26	38	51	33	21
	D	9	4	23	8	9	25	35	9	6	19	50
	E	13	17	35	42	73	156	214	71	45	53	109
Ҳомӯшшавии хати A-B	A	27	51	6	6	22	121	59	29	33	26	20
	B	13	16	13	7	3	2	6	12	14	16	33
	C	10	11	8	12	16	23	32	52	56	23	13
	D	14	24	3	6	10	16	22	41	50	26	28
	E	23	41	5	16	39	187	90	41	31	25	20

Анҷоми ҷадвали 2

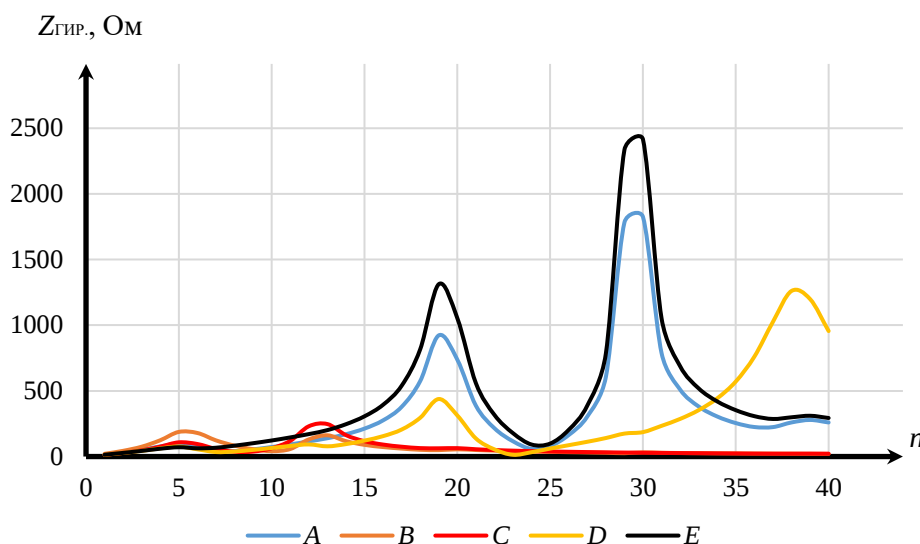
Ҳоҷати Ҳати В-С	A	20	32	7	14	25	37	20	14	10	9	12
	B	13	16	17	20	33	8	14	25	36	46	54
	C	12	15	43	77	45	23	12	6	2	4	6
	D	13	19	5	8	6	10	16	26	46	92	76
	E	20	30	20	40	110	105	48	31	23	22	24
Қиммати меърии зарби резонанс $K_{p(n)}$, в.н.	A	16	6	31	31	16	31	31	31	62	62	31
	B	11	4	22	22	11	22	22	22	43	43	22
	C	18	7	34	34	17	34	34	34	67	67	34
	D	17	6	32	32	16	32	32	32	64	64	32
	E	16	6	30	30	15	30	30	30	61	61	30

Чӣ ҳеле, ки аз расми 7 маълум аст, пас аз насби БСК сатҳи шиддат дар ҳамаи гиреҳҳои шабакаи таҳқиқшаванда дар сатҳи меърии ГОСТ 32144-2013 баробар аст. Аз ин лиҳоз, тавсифи амплитудавӣ-басомадии схемаи озмоиширо ҳангоми пайваст намудани БСК дар зеристгоҳи В (дар тарафи шиддати 10 кВ) тасвир менамоем (расми 8).



Расми 7 – Нақшаи 5 – гиреҳи IEEE дар барномаи Etap бо нишондоди сатҳи шиддат дар гиреҳҳои алоҳидаи он

Графики расми 8 нишон медиҳад, ки зарби резонанс ҳангоми пайваст намудани БСК дар зеристгоҳи В дар гиреҳҳои А ба $K_{p(19)} = 60,1$; $K_{p(29)} = 116,1$ ва $K_{p(31)} = 51,3$, D ба $K_{p(37)} = 79,5$ ва $K_{p(39)} = 92,9$ ва E ба $K_{p(19)} = 96,0$; $K_{p(29)} = 170,8$ ва $K_{p(31)} = 77,0$ баробар мебошанд. Аз ин ҷо, хулосабарорӣ кардан мумкин аст, ки тағйирёбии конфигуратсияи нақшаи электрикӣ ва илова ва ё ҷудо шудани элементҳои нақша ба тағйирёбии тавсифи амплитудавӣ-басомадии схема оварда мерасонад. Бо ҳамин мақсад, тавсия додан мумкин аст, ки ҳангоми интихоби иқтидор ва ҷои насби БСК ва инчунин дар речаҳои баъдисадамавӣ бояд ба вуҷуд омадани ҳодисаи резонансро ба инобат гирифт. Муаллифон пешниҳод менамоянд, ки ҳангоми лоиҳакашӣ ва баҳрабардории шабакаҳои электрикӣ ҳангоми баланд бардоштани сифати энергияи электрикӣ, инчунин ба зухуроти резонанс низ аҳамияти махсус дода шавад. Аз ин рӯ, барои таҳқиқи речаи ғайрисинусоидалӣ ва тавсифи амплитудавӣ-басомадии шабакаҳои электрикӣ бояд алгоритм ва ё барномаи муайян намудани ин нишондодҳо коркард карда шавад.



Расми 8 – Тавсифи амплитудавӣ-басомадии нақшаи озмоишии 5 – гиреҳи IEEE, ҷангоми пайваст намудани БСК дар зеристгоҳи В (дар тарафи шиддати 10 кВ)

Хулоса

Дар мақола сабабҳои асосии пайдоиши зухуроти резонанс дар шабакаҳои электрикӣ дар асоси таҳлил ва баррасии мақолаҳои муаллифони гуногун оварда шудааст. Натиҷаи баррасии усулҳои маъмул нишон доданд, ки асосан барои ҳисоби речаҳои резонансӣ усули шиддатҳои гиреҳӣ истифода бурда мешавад. Барои ҳисоби речаи мазкур барномаҳои мухталифи ҳисоб (ба мисли *Matlab/Simulink*, *Etap* ва ҳоказо) истифода бурда мешаванд. Натиҷаи таҳлилҳо нишон доданд, ки муаллифон барои бартараф намудани речаҳои ғайрисинусидалӣ барои сар назадани ҳодисаи резонанс насби филтрҳои чубронкунанда, реакторҳои шунтӣ, конденсаторҳо ва ғайраҳоро истифода мебаранд.

Барои баҳодиҳии дуруст ва пурра амсилаи нақшаи озмоишии 5 – гиреҳи IEEE дар барномаи *Etap* коркард карда шуда, тавсифи амплитудавӣ-басомадии он дар речаҳои гуногун таҳқиқ карда шудааст. Барои осон намудани баҳодиҳии ҳодисаи резонанс дар шабакаҳо вобастагии байни муқовимати гиреҳ дар басомади резонансӣ ва дар басомади асосӣ, ҳамчун зарби резонанс дар гармоникаи n – ум, қабул шудааст. Дар асоси натиҷаҳои ҳисоб қадвали муайян намудани бавҷуд омадани зухуроти резонанс дар нақшаи электрикӣ таҳқиқшаванда тартиб дода шудааст. Бо ёрии қадвали мазкур ба осонӣ метавон муайян намуд, ки дар кадом гиреҳ ва дар кадом гармоника эҳтимолияти калони ба вучуд омадани ҳодисаи резонанс ҷой дорад.

Рецензент: Қирғизов А.Қ. — қ.т.н., доцент қабедры «Электрические станции» ЛЭТУ имени академика М.С. Осими

Адабиёт

1. Чўраев Ш.Ч. Масъалаҳои математикӣ дар электротехника / Ш.Ч. Чўраев, Ч.Б. Раҳимов, Ш.М. Султонов / Восоити таълимӣ барои иҷрои корҳои мустақилона – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2021, 94 саҳ.
2. Исследование резонансных явлений на высших гармониках в схеме внешнего электроснабжения нелинейной нагрузки / Д.С. Федосов, И.А. Тарасов, Д.В. Воронцов / Вестник ИрГТУ 4(111). – 2016. – С. 145 – 154.
3. Расчет резонансных режимов в электрической сетях при наличии источников высших гармоник / Ощепков В.А, Логунова Я.Ю. / Вестник ЮГУ 2023г. Выпуск 1 (68). С. 147-155.
4. Osipov, D. S. Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform / D. S. Osipov, D. V. Kovalenko, N. N. Dolgikh // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics) (14–16 Nov, 2017) // IEEE Conference Publications. Omsk, Russia. – DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.
5. Обзор современных исследований по идентификации резонансных режимов, возникающих в элементах электрических сетей промышленных предприятий и коммунально-бытового сектора / Д.В. Коваленко, Е.А. Пугачева, Д.А. Рогозина, А.Е. Фридрих. / Омский государственный технический университет, г.Омск. Омский научный вестник №6 (162) 2018. DOI: 10.2.5206/1813-8225-2018-162-103-107.
6. О резонансах высших гармоник в электрической сетях / Д.А. Силкин. Национальный Исследовательский Университет «МЭИ», Россия, г. Москва. С. 184-187.
7. Анализ резонансных режимов в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой / Д.А. Шандрыгин, В.П. Довгун, Д.Э. Егоров, М.В. Маньшин / Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия. Вестник ИрГТУ 2020;24(2):396–407.
8. Коверникова Л.И. Один из подходов к поиску резонансных режимов на высших гармониках / Л.И. Коверникова, С.С. Смирнов // Электричество. – 2005. – № 10. – С. 62 – 69.

9. G. Atkinson-Hope and K. A. Folly, “Decision Theory Process for Making a Mitigation Decision on Harmonic Resonance” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, Issue: 3. pp. 1393 – 1399, July, 2004.

10. Yu Cui and Xiaoyu Wang, “Modal Frequency Sensitivity for Power System Harmonic Resonance Analysis” IEEE Trans. Power Delivery, vol. 27, No: 2. pp. 1010 – 1017, April, 2012.

11. Peng Li; Jing Gao; Jian Sun, “Resonance analysis using wavelet packet transform in clustered grid-connected PV system” 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). 17-21 July 2016. Boston, MA. DOI: 10.1109/PESGM.2016.7741665

12. Расчет резонанса тока высших гармониках в системах электроснабжения на основе пакетного вейвлет-преобразования / Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Н. Н. Долгих / Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Том 5, № 3 68 / Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия, DOI: 10.25206/2310-9793-2017-5-3-68-78

13. Resonance-Free Shunt Capacitors Configurations, Design Methods and Comparative Analysis / Wilsun Xu, Fellow, IEEE, Tianyu Ding, Student Member, IEEE, Xin Li, and Hao Liang, Member, IEE, / 0885-8977 (c) 2015 IEEE. Personal use is permitted, but republication/redistribution requires IEEE permission. See http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html for more information. This article has been accepted for publication in a future issue of this journal, but has not been fully edited. Content may change prior to final publication. Citation information: DOI 10.1109/TPWRD.2015.2507440, IEEE Transactions on Power Delivery

14. ГОСТ Р 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2013.

15. IEEE Std 519-1992, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems”, © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993. 100 p.

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

TJ	RU	EN
Ќуразода Шохин Ќура	Джуразода Шохин Джура	Jurazoda Shohin Jura
н.и.т., дотсенти кафедраи «Электрoэнергетика»	к.т.н., доцент кафедры электрoэнергетики	PhD (Technical Sciences), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering
Донишгоҳи миллии тадқиқоти «ДЭМ», филиал дар ш. Душанбе (Ҷумҳурии Тоҷикистон)	Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал в г. Душанбе (Республика Таджикистан)	National Research University «MPEI», branch in Dushanbe (Republic of Tajikistan)
Телефон:(+992) 93 483 11 00, E-mail: dzhuraevsh@mpei.ru		
TJ	RU	EN
Ҳабибуллозода Зикрулло Ҳабибулло	Хабибуллозода Зикрулло Хабибулло	Habibullozoda Zikrullo Habibullo
Доктор PhD	Доктор PhD	Doctor PhD
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: szhpei@internet.ru		
TJ	RU	EN
Ќаборов Манучехр Камолович	Джаборов Манучехр Камолович	Jaborov Manuchehr Kamolovich
унвончӯ	соискатель	applicant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail: manuchehrjkm@mail.ru		
TJ	RU	EN
Исмоилов Саидҷон Туронович	Исмоилов Саиджон Туронович	Ismoilov Saidjon Turonovich
н.и.т., дотсенти кафедраи асосҳои назарияи радио- ва электротехника	к.т.н., доцент кафедры теоретические основы радио- ва электротехника	Can.tech.scien., Associate Professor, Department of theoretical foundations of radio and electrical engineering
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Телефон:(+992) 93 533 29 33, E-mail: said.ttu@mail.ru		

УДК 620.9:338.3

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**Л.С. Касобов**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Повышение эффективности использования электроэнергии в энергетической системе зависит от многих факторов. Отмечены обзор отечественных и зарубежных научных работ на тему повышения эффективности использования электрической энергии, средства и методы для достижения повышения эффективности в области электроснабжения. Проведен анализ современного состояния электроэнергетической отрасли Республики Таджикистан.

Отмечены основные расчетные формулы для определения фактических потерь электроэнергии на технологическом электрооборудовании. Приведена структура фактических потерь электроэнергии. Указано, что мероприятия по повышению эффективности электроэнергии являются одним из путей достижения оптимизации системы электроснабжения.

Ключевые слова: электроэнергия, повышение эффективности, мероприятие, структура фактических потерь, потери электроэнергии.

БА МАСЪАЛАИ САМАРАНОК ИСТИФОДАИ БУРДАНИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ**Л.С. Қасобов**

Баланд бардоштани самаранокӣ истифодаи энергияи электрикӣ дар системаҳои энергетикӣ аз бисёр омилҳо вобаста аст. Баррасии корҳои илмӣ ватанӣ ва хориҷӣ дар мавзӯи баланд бардоштани самаранокӣ истифодаи энергияи электрикӣ, воситаҳо ва усулҳои ноил шудан ба самаранокӣ баланд дар соҳаи таъмини нерӯи барқ қайд карда шудааст. Таҳлили ҳолати муносири соҳаи электроэнергетикаи Тоҷикистон гузаронида шудааст.

Формулаҳои асосии ҳисобӣ барои муайянкунии талафоти воқеии энергияи электрикӣ дар таҷҳизоти барқии технологӣ қайд карда шудааст. Сохтори талафоти воқеии энергияи электрикӣ оварда шудааст. Гуфта мешавад, ки ҷарабӣи оид ба баланд бардоштани самаранокӣ энергияи электрикӣ яке аз роҳҳои ноил шудан ба оптимизатсияи системаи таъмини барқ мебошад.

Калимаҳои калидӣ: энергияи электрикӣ, баланд бардоштани самаранокӣ, ҷарабиниҳо, сохтори талафоти воқеӣ, талафоти энергияи электрикӣ.

TO THE QUESTION OF ELECTRIC ENERGY EFFICIENCY**L.S. Kasobov**

Improving the efficiency of electricity use in the energy system depends on many factors. The review of domestic and foreign scientific works on the topic of increasing the efficiency of electric energy use, and the means and methods for achieving increased efficiency in the field of electricity supply are noted. An analysis of the current state of the electric power industry of the Republic of Tajikistan was conducted.

The main calculation formulas for determining actual energy losses in technological electrical equipment are noted. The structure of actual losses of electric power is given. It is indicated that the event on increasing the efficiency of electric power is one of the ways to achieve the optimization of the power supply system.

Keywords: electricity, efficiency improvement, event, structure of actual losses, electricity losses.

Введение

В последние годы во всем мире и в Республике Таджикистан (РТ) на фоне постоянно растущих цен на энергоносители, а также в связи с развитием промышленности актуальным становится вопрос эффективного использования выработанной электроэнергии.

Для Республики Таджикистан задача повышения эффективности использования электроэнергии становится первостепенной актуальной задачей по двум причинам:

- во-первых, из-за острой нехватки электроэнергии в зимний период (из-за нехватки гидроресурсов, связанных с погодными условиями);

- во-вторых, в связи с Указом Президента РТ «Об объявлении 2022-2026 годов "Годами развития промышленности"» [1].

Далее с учетом вышеизложенного приведен краткий обзор научных работ, посвященных вопросам эффективного использования электроэнергии.

Климова Г.Н., Литвак В.В., Маркман Г.З., Харлов Н.Н. разработали методы проведения энергетических обследований предприятий с целью анализа показателей энергоэффективности с составлением энергетических балансов и формированием энергетических паспортов. Даются рекомендации по выбору основных критериев для контроля и анализа качества электроэнергии [2].

Золотых С.Ф., Рожков С.В., Лобанова С.В. рассмотрели методы повышения энергоэффективности электродвигателей в машиностроении. Приведены наиболее экономически эффективные методы повышения энергоэффективности электроприводов, даны аргументированные анализы рассматриваемых методов [3].

Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г., Кузьмина К.В., представили результаты реализации энергетической стратегии в направлении повышения эффективности использования электрической энергии (снижения электроемкости ВВП России). На основе статистических данных по разным странам приведена зависимость

динамики развития страны от повышения ВВП и потребления электроэнергии, а также показателей за 20 лет реформирования отрасли с целью ее интегрирования в рыночную экономику [4].

В работе Дыбко М.А. приведены результаты исследования по оценке энергетической эффективности активных силовых фильтров для систем электроснабжения северных регионов РФ методом математического моделирования. Показаны результаты энергетической эффективности активных силовых фильтров при работе на нелинейную и реактивную нагрузку [5].

В работе Лепеша А.Г., Потемкиной Т.В. приведены результаты оценки эффективности использования электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности, а также рассмотрены способы и методы компенсации с учетом исключения резонансных явлений в сети [6].

Вуколов В.Ю. привел результаты исследования по повышению эффективности систем передачи и потребления электрической энергии. Приведена методика определения и предложены мероприятия по снижению коммерческих потерь электроэнергии. Также предлагаются мероприятия, направленные на снижение сверхнормативных потерь электроэнергии [7].

Богачев В.С. показал результаты экспериментальных исследований, сравнивающие пропускную способность линий электропередач (ЛЭП) с компенсированной и некомпенсированной реактивной мощностью при одинаковых параметрах источника питания, получены энергетические характеристики, подтверждающие теоретические положения применения адаптивных ЛЭП переменного тока, где полученные результаты показывают достижение высокой энергоэффективности и пропускной способности [8].

Иванов В. С., Пономарев В. А. в работе [9] представили особенности методов повышения эффективности работы систем электроснабжения. Особое внимание уделяется причинам, повышающим уровень технологических потерь. Выделена в качестве наиболее распространенной причина, по которой повышается уровень технологических потерь – наличие высших гармоник и пути их подавления.

Лачков Г. Г. и др. рассматривали на примере заданных объектов (муниципальных систем электроснабжения) проблему эффективности методом сравнительных анализов альтернативных сценариев развития системы. Также рассмотрены вопросы совершенствования систем электроснабжения удаленных населенных пунктов, где предложен вариант централизованного электроснабжения удаленных населенных пунктов с применением межпоселочных ЛЭП и генерирующей электроэнергии газовых центров. Одним из основных путей повышения эффективности электроснабжения, по мнению авторов, может быть использование распределенной когенерации [10,11,12].

Староверов Б. А., Гнатюк Б. А. в своей работе анализируют возможности введения функций прогнозирования в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). В качестве наиболее перспективного инструмента используют искусственные нейронные сети для создания структуры автоматизированной интеллектуальной системы коммерческого учета электроэнергии АИСКУЭ [13].

В своей работе Геркусов А.А., Грачева Е.И., Шумихина О.А. предлагают способы симметрирования нагрузок в фазах линий снижения составляющих потерь электроэнергии от несимметрии [14].

Назирев Х.Б. предлагает методику моделирования электроэнергетической системы для выявления изменения напряжения, результаты моделирования подтверждаются натурными измерениями параметров согласно ГОСТ – 32144 – 2013. [15]

В работе Юлдашева З.Ш. в соавторстве разработано устройство для получения оперативной информации об эффективном использовании энергии, работающей на основе алгоритма сравнения израсходованной энергии на входе электротехнологического процесса с результатом, полученным на выходе в продукции в течение времени [16].

Авторы работы [17] рассмотрели проблему усовершенствования структуры электро- и теплогенерации через развитие распределённой энергетики (в том числе когенерационных установок).

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, в настоящее время требуются новые усовершенствованные подходы и методы по оценке, анализу и повышению эффективности использования электроэнергии применительно к системам электроснабжения.

Несмотря на достаточную изученность вопроса, методы и средства, обеспечивающие повышение эффективности использования электроэнергии, требуют систематизации по основным показателям и по уровню технической осуществимости.

Анализируя средства и методы обеспечения повышения эффективности использования электроэнергии, направленные на достижение этой цели мероприятия можно условно классифицировать на две группы:

- организационные мероприятия;
- технические мероприятия.

Далее в качестве примера будем рассматривать состояние и возможные пути повышения эффективности использования электроэнергии на примере энергосистемы Республики Таджикистан.

Постановка задачи

В настоящее время в РТ общая установленная мощность всех видов генерируемых электроэнергией источников составляет свыше 6500 МВт [18], а объем производства электроэнергии по итогам 2024 года составил 22,4 млрд. кВт часов, что на 3,0 % больше по сравнению с 2023 годом [18, 19].

Согласно нормативным документам потери электроэнергии в электроэнергетической системе регламентируются в пределах 10 – 15 % от общего объема [20]. По итогам деятельности энергетической

отрасли РТ в 2024 году потери составили 20 %, что на 1,2 % меньше, чем в 2023 году [18,19]. Для обеспечения нормативных показателей потери электроэнергии необходимо проведение ряда организационно-технических мероприятий.

Для определения потери мощности и электроэнергии 1 кВт*час воспользуемся математической моделью, приведенной в таблице 1.

Таблица 1 – Определённые зависимости при установлении потери мощности и электроэнергии

№ пп	Наименование объекта	Расчетная формула
1	Трансформатор	$\Delta P_{\kappa} = 3RI_{\text{ном}}^2 = R \frac{S_{\text{ном}}^2}{U_{\text{ном}}^2}$ $\Delta W_{\text{тр}} = \Delta W_{\text{тр.пер.}} + \Delta W_{\text{тр.х.х.}}$
2	Воздушные линии электропередачи	$\Delta W_{\text{вл}} = \Delta W_{\text{вл.пер.}} + \Delta W_{\text{вл.кор.}} + \Delta W_{\text{вл.ток утечки}}$
3	Кабельные линии	$\Delta W_{\text{кл}} = \Delta W_{\text{кл.пер.}} + \Delta W_{\text{кл.изол}}$
4	Элементы электрической сети	$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$

Обсуждение результатов

Согласно формулам, приведенным в таблице 1, можно определить потери в элементах системы, однако на практике структура фактических потерь зависит от многих факторов. В зависимости от вида потерь ниже приведем структуру фактических потерь (рис. 1)

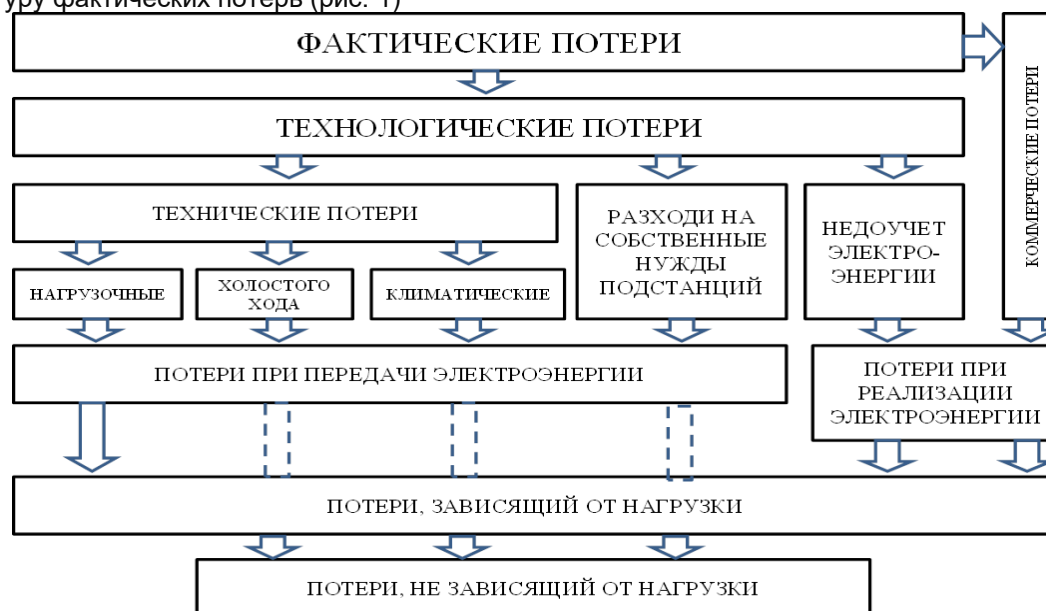


Рисунок 1 – Структура фактических потерь электроэнергии

Заключение

Согласно Национальной Стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года в области энергетики планируется диверсификация генерируемых источников электроэнергии, а также достижение энергетической независимости страны, т.е. покрытие пиковых нагрузок зимнего периода собственной электроэнергией. Повышение эффективности использования электроэнергии является одним из актуальных направлений для достижения этой цели.

Рецензент: Назиров Х.Б. - к.т.н., доцент, зав.кафедрой электроэнергетики Филиала ИЖУ "МЭИ" в г. Душанбе.

Литература

1. Указ Президента Республики Таджикистан от 6 января 2022 года, №309 "Об объявлении 2022-2026 годов "Годами развития промышленности".
2. Климова Г. Н. и др. Энергосбережение и качество электрической энергии. Учебное пособие //Томск: Изд-во ТПУ. – 2005.

3. Золотых С. Ф., Рожков С. В., Лобанова С. В. Анализ методов повышения энергоэффективности электродвигателей в машиностроении //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №. 12-1. – С. 130-135.
4. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г., Кузьмина Е. В. Эффективность использования электрической энергии //Векторы благополучия: экономика и социум. – 2011. – №. 1 (1). – С. 481-485.
5. Дыбко М. А. Оценка энергетической эффективности активных силовых фильтров для систем электроснабжения северных регионов //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – №. 3. – С. 138-152.
6. Лепеш А. Г., Потемкина Т. В. Повышение эффективности использования электроэнергии //Технико-технологические проблемы сервиса. – 2017. – №. 2 (40). – С. 60-72.
7. Вуколов В. Ю. Повышение эффективности систем передачи и потребления электрической энергии: дис. – Ивановский государственный энергетический университет, 2012.
8. Богачев В. С. Повышение энергоэффективности электротехнических комплексов и систем электроснабжения: дис. – Санкт-Петербург, 2011, 2011.
9. Иванов В. С., Пономарев В. А. Методы повышения эффективности систем энергоснабжения промышленных предприятий //Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2017. – №. 59. – С. 158-169.
10. Лачков Г. Г. Повышение энергоэффективности системы электроснабжения Салехарда с применением когенерации //iPolytech Journal. – 2016. – №. 10 (117). – С. 135-141.
11. Лачков Г. Г., Филиппов А. Е. Совершенствование электроснабжения удаленных сел Ненецкого автономного округа (НАО) путем создания газовых энергоцентров //iPolytech Journal. – 2017. – Т. 21. – №. 8 (127). – С. 103-110.
12. Лачков Г. Г., Федяев А. В. Совершенствование энергоснабжения региона путем использования распределенной когенерации //iPolytech Journal. – 2015. – №. 11 (106). – С. 165-170.
13. Староверов Б. А., Гнатюк Б. А. Повышение эффективности системы автоматизированного коммерческого учета электроэнергии за счет введения функций прогнозирования //Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – №. 6. – С. 26-29.
14. Геркусов А. А., Грачева Е. И., Шумихина О. А. Влияние несимметричной нагрузки на потери электроэнергии в распределительных сетях 0, 4-20 кВ //Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. – №. 2 (54). – С. 15-28.
15. Назиров Х. Б. Моделирование электроэнергетической системы Таджикистана для прогнозирования изменения напряжения //Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – №. 1. – С. 54-61.
16. Юлдашев З.Ш., Касобов Л.С. Устройство для получения оперативной информации об эффективном использовании энергии //Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – №. 4 (68). – С. 24-32.
17. Маркова В. М., Чурашев В. Н. Возможности повышения эффективности и оптимизации структуры энергетики: роли «большой» и «малой» генерации //Мир экономики и управления. – 2017. – Т. 17. – №. 3. – С. 62-84.
18. ОАО Барки Точик, Генерация <http://www.barqitojik.tj/about/dependents/generation/>
19. Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, пресс-релиз об итогах деятельности министерства в 2024 году <https://www.mewr.tj/?p=4240&lang=ru> (дата обращения 04.04.2025г.)
20. Электрические системы и сети: учебник / А. В. Лыкин. – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2017. – 363 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).

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

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
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: loiknstu@mail.ru		
0000-0002-9271-6908		

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

УДК 669.017.11.893

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ФАЗЫ В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ БЕРИЛЛИЯ

Т.Д. Джураев, М.И. Халимова, И.Ш. Муслимов, Э.Р. Газизова, Фаридуни Шокир

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В данной статье на основании зависимостей металлохимических факторов произведён прогноз образования промежуточных фаз в двойных системах бериллия с другими элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева. Установлено, что образование промежуточных фаз возможно наблюдать в системах бериллия с Hf, Zr, Ta, W, Re, Os, Ir, Ru, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Hg.

Ключевые слова: промежуточные фазы, бериллий, фазы Лавеса, металлические соединения, объёмный фактор, ионизационный потенциал.

ФАЗАҲОИ МОБАЙНӢ ДАР СИСТЕМАҲОИ ДУЧУЗЪАИ БЕРИЛЛИЙ

Т.Д. Джураев, М.И. Халимова, И.Ш. Муслимов, Э.Р. Газизова, Фаридуни Шокир

Дар ин мақола вобаста бо омилҳои металлохимиявӣ пешгӯии фазаҳои мобайнӣ дар системҳои дучузъаи бериллий бо элементҳои системаи даврии Д.И. Менделеев оварда шудааст. Муайян карда шудааст, ки фазаҳои мобайнӣ дар системҳои дучузъаи бериллий бо Hf, Zr, Ta, W, Re, Os, Ir, Ru, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Hg ҳосил мешаванд.

Калидвожаҳо: фазаҳои мобайнӣ, бериллий, фазаҳои Лавес, пайвастаҳои металлӣ, омилҳои ҳаҷмӣ, потенциали ионизатсионӣ.

INTERMEDIATE PHASES IN TWO-COMPONENT SYSTEMS OF BERYLLIUM

T.D. Juraev, M.I. Halimova, I.Sh. Muslimov, E. R. Gazizova, Fariduni Shokir

In this article on the basis of dependencies of metal chemical factors the prognosis of formation of intermediate phases in double systems of beryllium with other elements of periodic table of D. I. Mendeleev is made. It is established that the formation of intermediate phases can be observed in beryllium systems with Hf, Zr, Ta, W, Re, Os, Ir, Ru, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Hg.

Keywords: intermediate phases, beryllium, Laves phase, a metallic compound, the volumetric factor of the ionization potential.

Введение

Лидерами по переработке природного металлосодержащего сырья с целью получения первичного бериллия на сегодняшний день являются Соединенные Штаты Америки и Китай. Металлический бериллий применяют в качестве основного легирующего компонента многих промышленных сплавов на основе алюминия, железа, меди, никеля и др., т.к. он придает изделиям из них высокую прочность, твердость и коррозионную устойчивость. Чистый бериллий используется в рентгентехнике в качестве проводника рентгеновского излучения, а также в ядерной энергетике как отражатель, замедлитель и источник нейтронов. Более уникальными свойствами обладают химические соединения бериллия. Его оксид эффективнее в качестве замедлителя и отражателя нейтронов, чем сам металл, кроме того, он входит в состав ядерного топлива. Как теплоноситель и растворитель солей урана, плутония и тория в атомных реакторах используют фторид бериллия, который также в них применяется для сварки специального стекла. Аллюминат бериллия является хорошим излучателем в лазерной технике, а его гидрид – добавкой в ракетное топливо. Интерметаллиды бериллия успешно применяются при сборе ракетных двигателей, обшивке ракет и самолетов, а также ловушек ядер инертных газов при конструировании аэрокосмического оборудования [1]. Все эти возможности применения металла в народном хозяйстве обусловлены доминированием у бериллия металлических свойств. Они могут изменяться по мере присоединения к нему того или иного химического элемента. Изучить поведение бериллия при этом можно, построив его двойные диаграммы состояния. Одним из шагов к такому достижению цели является прогноз взаимодействия компонентов системы в твердом и жидком состояниях. В данной статье на основании зависимостей металлохимических факторов произведён прогноз образования промежуточных фаз в двойных системах бериллия с другими элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева.

Методика и обработка результатов

Образование промежуточных фаз определяется рядом условий, главными из которых являются объёмный фактор, разность электроотрицательностей, а также различие химических свойств взаимодействующих компонентов [2]. Роль этих факторов в образовании металлических соединений анализировалась в работах [3, 4], и учитывалось дополнительно [2] влияние температурного фактора и относительного ионизационного потенциала. Нами также использовалась данная зависимость, результаты которой приведены на рисунке 1.

Можно видеть (см. рис. 1), что в область I попадают в основном элементы IIIA (U), VA (Nb, Ta), VIIIA (Ru, Rh, Ir, Pt), IIIB (Ga), IVB (Sn), VB (Bi) групп ПТ. Область I (рис.1) соответствует увеличению температурного фактора, который способствует образованию простых систем (без промежуточных фаз), а увеличение разности относительных ионизационных потенциалов компонентов должно приводить к образованию промежуточных фаз (область II, рис. 1). Граница между областями существования простых систем и систем с промежуточными фазами близка к прямолинейной (штриховая линия). Область существования систем с промежуточными фазами выявлена с помощью статистического анализа [2]. Наблюдается несколько исключений, которые, по-видимому, связаны с близостью атомно-кристаллического строения взаимодействующих элементов.

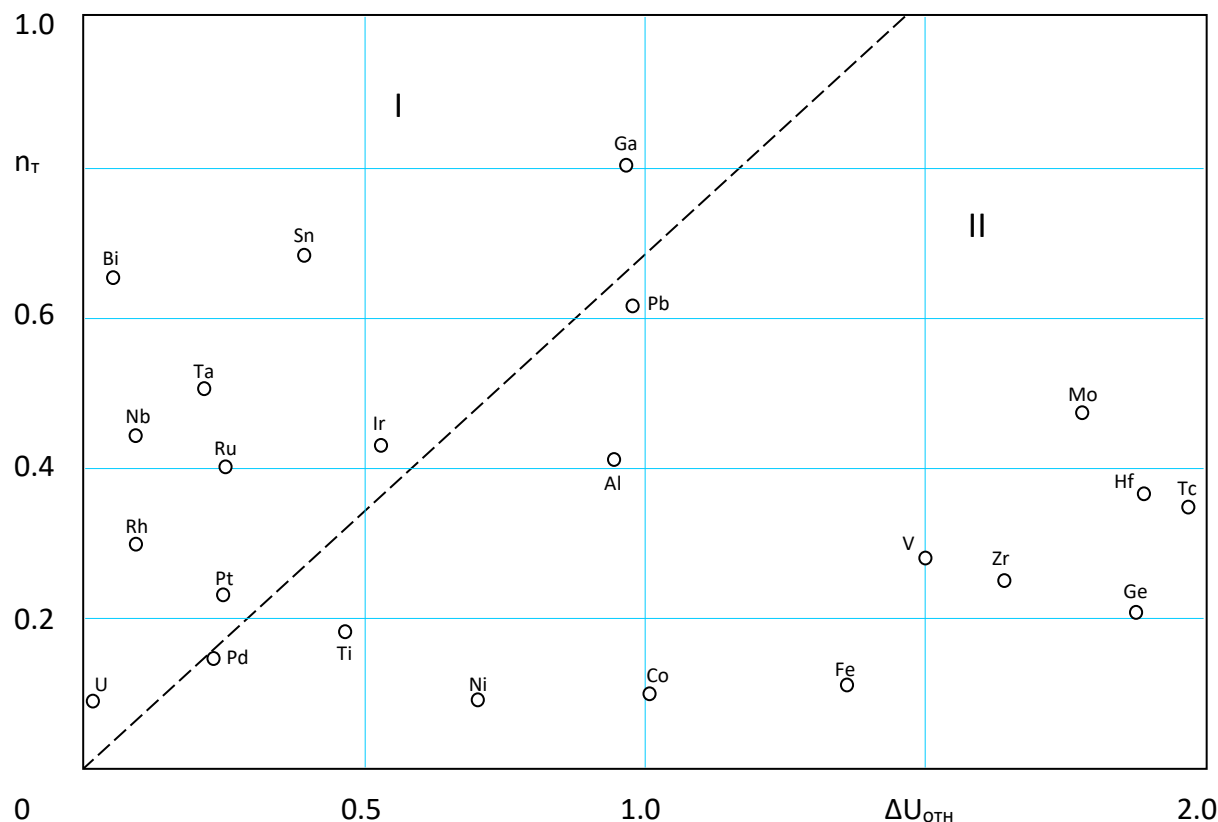


Рисунок 1 – Результаты совместного учёта температурного фактора (n_m) и относительного ионизационного потенциала ($\Delta U_{отн}$) по определению вероятного существования промежуточных фаз с участием бериллия и элементов периодической таблицы.

Для систем на основе бериллия характерным является образование фаз Лавеса [4]. Как известно, фазы Лавеса, к числу которых относятся тесно связанные между собой структуры, изоморфные с соединениями $MgCu_2$, $MgZn_2$ и $MgNi_2$, а также родственным с ними соединением $CaCu_5$, образуются при определённом отношении атомных диаметров взаимодействующих компонентов. Отношения атомных диаметров бериллия и элементов, образующих с ними фазы Лавеса, строго следуют этим пределам образования соединений структурных типов $MgCu_2$, $MgZn_2$ и $CaCu_5$.

В соответствии с работой [5] нами по значениям атомных диаметров и теплот сублимации элементов построен график (рис. 2) для установления возможности образования промежуточных фаз Лавеса в системах на основе бериллия с элементами периодической таблицы, который позволяет предположить, что таковые бериллий образует с элементами IA (Li, Na), IIA (Mg), IIIA (Sc, U, Np, Pu, Am), IVA (Ti), VA (Nb), VIA (Mo), VIIIA (Rh, Pd, Pt), IB (Ag, Au), IIB (Zn, Cd), IIIB (Al, In, Tl), IVB (Sn), VB (Sb, Bi), VIB (Te) групп ПТ.

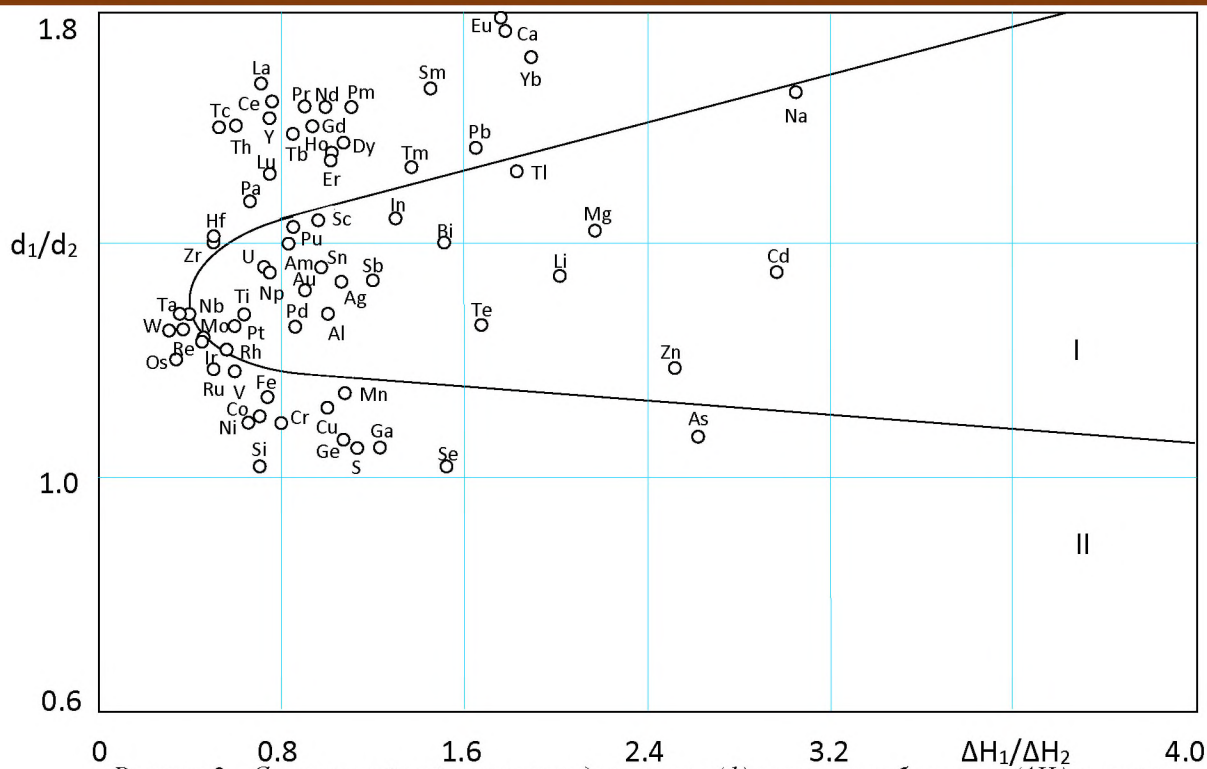


Рисунок 2 – Совместный учёт атомных диаметров (d_i) и теплот сублимации (ΔH_i) элементов для определения вероятности образования фаз Лавеса со структурой $MgCu_2$, $MgZn_2$ и $CaCu_2$ на основе бериллия: I – область систем, в которых образуются соединения; II – область систем, в которых не образуются соединения

Можно отметить, что если одновременно с использованными критериями применить метод аналогии к системам бериллия с некоторыми элементами ПТ, то образование промежуточных фаз возможно наблюдать в системах бериллия с Hf, Zr, Ta, W, Re, Os, Ir, Ru, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Hg.

Образование фаз Лаваса экспериментально установлено для систем бериллия со Sc, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Rh, Ir, Pd, Pt, Cu, Ti, Cu, Ag, Au, B, C и O. Для остальных систем бериллия с элементами ПТ подобные промежуточные фазы не обнаружены, а данные о взаимодействии бериллия с Fr, Ac, Zr, Th, Cd и Am вообще отсутствуют. Таким образом, использование критериев температурного фактора (n_T), относительного ионизационного потенциала ($\Delta U_{\text{отн}}$), атомных диаметров (d_i) и теплот сублимации (ΔH_i) элементов дало возможность спрогнозировать вероятность образования промежуточных фаз на основе бериллия с некоторыми элементами периодической таблицы.

Отдельного внимания требует вопрос об образовании химических соединений типа MeBe_{13} в системах Be-PЗМ . На основании статистических и термодинамических методов прогноза установлено [6, 7], что в обычных условиях бериллий с группой редкоземельных металлов не образует сложных систем с химическими соединениями. Однако экспериментальные данные различных авторов [8-12] опровергают наши выводы, которые мы связываем с возможным образованием химических соединений типа A_{13}B между бериллием и РЗМ при вторичной кристаллизации компонентов. Ещё ранее автором работы [13] было отмечено образование необычного стехиометрического состава бериллидов, обогащённых атомами бериллия, например, MeBe_{13} , MeBe_{17} , которое он объясняет его аномальным поведением.

Кроме того, в работе [14] установлено, что окись бериллия является основной примесью в металлическом бериллии и, следовательно, может существенно влиять на его свойства. Содержание окиси бериллия в основных современных сортах промышленного бериллия составляет обычно 0.7-1.5%, хотя в некоторых образцах металла содержится до 0.3 % BeO , а в специальных сортах до 6%. Существование химических соединений может быть также связано с условиями их получения путём предварительного восстановления окиси бериллия и последующего сплавления компонентов, при котором остаются следы кислорода, провоцирующие обнаружение со стороны экспериментаторов промежуточных фаз в этих системах.

Заключение

Для двойных систем на основе бериллия характерным является образование промежуточных фаз. Они образуются при определённом отношении атомных диаметров взаимодействующих компонентов. В соответствии с этим в представленной работе по значениям атомных диаметров и теплот сублимации элементов построен график такой зависимости, который показал, что промежуточные фазы образуются в системах бериллия с 25 элементами. Вопрос существования между бериллием и редкоземельными металлами

интерметаллидов состава MeBe_{13} остается открытым, но авторы данного сообщения на основании результатов прогноза полагают, что в этих системах образование химических соединений состава MeBe_{13} не предвидится.

Рецензент: Самихов Ш.Ф.-д.т.н., профессор кафедры "Технология химических производств" Таджикского национального университета

Литература

1. Бериллий. [Электронный ресурс]. Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бериллий/25.01.2025>.
2. Воздвиженский, В.М. Прогноз двойных диаграмм состояния / В.М. Воздвиженский. – М.: Металлургия, 1975. – 224 с.
3. Савицкий, Е.М. Прогнозирование неорганических соединений с помощью ЭВМ / Е.М. Савицкий, В.Б. Грибуля. – М.: Наука, 1977. – 194 с.
4. Теслюк, М.Ю. Металлические соединения со структурами фаз Лавеса / М.Ю. Теслюк. – М.: Наука, 1969. – 136 с.
5. Kubaschevsky, O. The physical chemistry of metallic solutions and intermetallic compounds / O. Kubaschevsky. – L.: Asad. Press, 1959. – 306 p.
6. Халимова, М.И. Образование металлических соединений в системах бериллия с другими элементами / М.И. Халимова, Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова // Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы горно-металлургической промышленности РТ и пути их решения». – Душанбе: МИСиС, 2018. – С. 77-80.
7. Джураев, Т.Д. Сплавы бериллия с элементами периодической системы / Т.Д. Джураев, А.М. Сафаров, М.И. Халимова. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co KG, 2012. – 106 с.
8. Хансен, А. Структуры двойных сплавов / А. Хансен, К. Андерко. – М.: Металлургия, 1971. – Т.1-2.
9. Эллиот, Р.П. Структуры двойных сплавов / Р.П. Эллиот. – М.: Металлургия, 1970. – Т.1-2.
10. Шанк, Ф.А. Структура двойных сплавов / Ф.А. Шанк. – М.: Металлургия, 1979, 639 с.
11. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М.: Наука, 1979. – Т.1-9.
12. Лякишев Н.П., Банных О.А., Рохлин Л.Л. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др. – М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001. – Т.1-3. – 992, 1024, 1320 с.с.
13. Корнилов, И.И. Металлохимические свойства элементов Периодической системы / И.И. Корнилов, Н.М. Матвеева, Л.И. Прякина, Р.С. Полякова. – М.: Наука, 1966. – 351 с.
14. Тихинский Г.Ф. Бериллий. Наука и технология / Г.Ф.Тихинский и И.И.Папиров. – М.: Металлургия, 1984. – 624 с.

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

TJ	RU	EN
Чураев Тухтасун Чураевич доктори илмҳои химия, профессор Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Джураев Тухтасун Джураевич доктор химических наук, профессор ТТУ имени академика М.С. Осими	Juraev Tukhtasun Juraevich doctor of chemical sciences, professor Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: mcm45@mail.ru		
TJ	RU	EN
Халимова Мавҷуда Искандаровна номзади илмҳои химия, дотсент Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Халимова Мавджуда Искандаровна кандидат химических наук, доцент ТТУ имени академика М.С. Осими	Khalimova Mavdzhuda Iskandarovna candidate of chemical sciences, assistant professor Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Муслимов Имомали Шоҳимардонович номзади илмҳои химия, дотсент Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Муслимов Имомали Шоҳимардонович кандидат химических наук, доцент ТТУ имени академика М.С. Осими	Muslimov Imomnali Shohimardonovich candidate of chemical sciences, assistant professor Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Газизова Эльвира Рашитовна номзади илмҳои техники, дотсент Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Газизова Эльвира Рашитовна кандидат технических наук, доцент ТТУ имени академика М.С. Осими	Gazizova Elvira Rashitovna candidate of technical sciences, associate professor Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Фаридуни Шокир магистранти курси 1 Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Фаридуни Шокир магистрант 1 курса ТТУ имени академика М.С. Осими	Fariduni Shokir master's student Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

УДК621.923.9

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛУДРАГОЦЕННЫХ И ПОДДЕЛОЧНЫХ КАМНЕЙ

Ф.Б. Холов, И. Мирзоалиев, Т.А. Ходжаев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье рассмотрен анализ конструкции и принципов работы станков для центробежной абразивной обработки. На основе проведённого анализа конструкций существующих станков и принципов их работы, выявлены ограничения традиционных моделей, ограниченный объём загрузки, неравномерность обработки при работе с шарообразными изделиями и высокая степень износа абразивной среды. Для устранения этих недостатков предлагается новая конструкция многодискового центробежного станка, специально адаптированная для обработки шариков из полудрагоценных и подделочных камней.

Ключевые слова: абразивная обработка, полудрагоценные и подделочные камни, многодисковый станок, производительность обработки.

ИСТИФОДАИ КОРКАРДИ МАРКАЗГУРЕЗИ АБРАЗИВӢ ДАР ИСТЕҲСОЛИ МАҲСУЛОТИ САНҒҲОИ НИМҚИМАТБАҲО ВА ОРОИШӢ

Ф.Б. Холов, И. Мирзоалиев, Т.А. Хоҷаев

Дар ин мақола таҳлили тарҳрезӣ ва принсипҳои кори дастгоҳ барои коркарди марказгурези абразивӣ оварда шудааст. Дар асоси таҳлили тарҳрезии дастгоҳи мавҷуда ва принсипҳои кори он маҳдудияти моделҳои анъанавӣ ҳаҷми маҳдудияти сарборӣ, коркарди нобаробар ҳангоми кор бо маснуоти сферикӣ ва дараҷаи баланди фарсудашавии муҳити абразивӣ муайян карда мешаванд. Барои бартараф намудани ин камбудӣҳо, тарҳи нави мошини марказгурези бисёрафзори абразивӣ пешниҳод карда мешавад, ки барои коркарди сакҳо аз сангҳои нимқиматбаҳо ва ороишӣ махсус мутобик карда шудааст.

Калидвожаҳо: коркарди абразивӣ, сангҳои нимқиматбаҳо ва ороишӣ, мошини бисёрафзор, давомнокии коркард.

APPLICATION OF CENTRIFUGAL ABRASIVE TREATMENT IN MANUFACTURING PRODUCTS FROM SEMI-PRECIOUS AND ELECTRO-PRECIOUS STONES

F.B. Kholov, I. Mirzoaliev, T.A. Khodjaev

This article analyzes the design and operating principles of a machine for centrifugal abrasive treatment. Based on the analysis of the designs of existing machines and their operating principles, the limitations of traditional models are identified: limited loading volume, uneven processing when working with spherical products and a high degree of wear of the abrasive medium. To eliminate these shortcomings, a new design of a multi-disc centrifugal machine is proposed, specially adapted for processing balls from semi-precious and ornamental stones.

Keywords: abrasive treatment, semi-precious and ornamental stones, multi-disc machine, processing performance.

Введение

Центробежная абразивная обработка (ЦАО) занимает важное место в технологии механической доводки изделий из полудрагоценных и поделочных камней. Современные станки, применяемые для этой цели, позволяют значительно повысить производительность и качество обработки, обеспечить однородность финишной поверхности и снизить затраты на ручной труд. Применение ЦАО особенно эффективно при массовой или серийной шлифовке, полировке и сглаживании поверхностей твердых, но хрупких материалов, таких как лазурит, змеевик, аметист, офит и другие поделочные и полудрагоценные камни.

Методика и обработка результатов

ЦАО проводится в специальных центробежных барабанах (дисковых), где заготовки вращаются вместе с абразивной средой. За счёт высокой центробежной силы создается интенсивное трение, которое и снимает микрослой материала с поверхности заготовки. Для исследования процесса галтовки нами изготовлен многоинструментальный станок для обработки шариков. Сущность данного станка заключается в том, что в его работе используется принцип центробежной абразивной обработки, при котором обрабатываемые изделия и абразивная среда подвергаются интенсивному взаимодействию под действием центробежных сил. Однако, в отличие от классических центробежных установок, где обработка осуществляется за счёт взаимодействия заготовки с абразивной массой в едином рабочем объёме, в данном устройстве обработка производится одновременно несколькими инструментами, расположенными в зоне действия центробежной силы.

Инструменты в виде абразивных или алмазных дисков установлены внутри цилиндрического барабана в оси совпадающее с осью симметрии цилиндрической части барабана. Расстояния между дисками устанавливаются исходя из размера заготовок. Ось, на которой установлены вращающиеся диски и получают вращение от отдельного электродвигателя. Абразивные диски могут иметь одинаковую или различную зернистость. Когда зернистость абразива дисков различна, они располагаются в порядке убывания зернистости снизу вверх.

«На данном станке обработка ведется алмазными или абразивными дисками, которым сообщается вращательное движение. Конструкция станка приведена на рисунке 1. Станок состоит из корпуса 1, электродвигателя 2, ременной передачи 3, шпинделя 4, абразивных дисков 5, барабана 6, резинового покрытия 7, крышки 8, электронного устройства регулирования частоты вращения электродвигателя 9» [1].

«Вращение шпинделю 4 передается от электродвигателя 2 установленного в корпусе 1, посредством ременной передачи 3. На шпинделе 4 установлены абразивные диски 5 выполняющие роль инструмента при обработке. Для предотвращения выпадения заготовок при обработке сверху барабана 6 установлено предохраняющая крышка 8. Подготовка устройства к работе осуществляется в следующем порядке: устанавливается нижний абразивный диск и заготовки размещают над нижним диском, далее сверху вставляется следующий диск, размещаются заготовки и так далее. Исходными заготовками для загрузки первого являются кубики из самоцветных камней. В качестве заготовок для загрузки второго диска служат заготовки, обработанные в первом диске, а при загрузке третьего диска используются заготовки обработанные во втором диске и тд. После загрузки всех дисков сверху вставляется крышка 8.

При обработке абразивные диски 5 приводятся во вращательное движение посредством шпинделя 4. Вращение шпинделю передается от электродвигателя 2 посредством ременной передачи 3» [1-9].

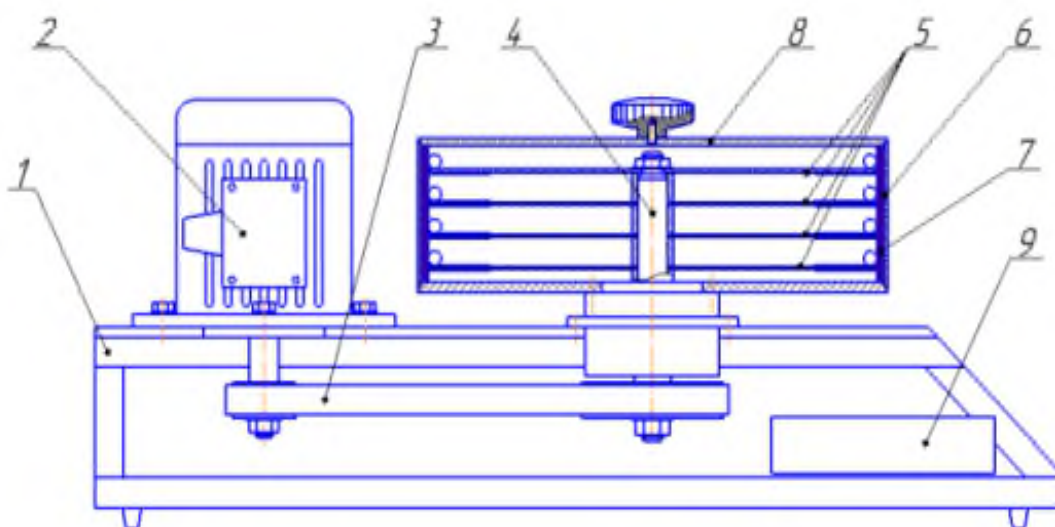


Рисунок 1 – Схема устройства для много инструментальной центробежной абразивной обработки

«Частота вращения шпинделя устанавливается при помощи электронного регулятора 8. При работе станка заготовки, под действием центробежных сил передаются от центра к периферии, соприкасаясь с резиновым покрытием барабана, замедляют скорость перемещения относительно барабана, но при этом возрастает скорость относительного скольжения абразивного диска с заготовкой. За счет интенсивного скольжения заготовок по инструменту и силового взаимодействия происходит съем материала с поверхности заготовки» [4].

ЦАО особенно полезна на следующих этапах изготовления изделий из камня:

1. Первичная шлифовка: используются абразивы крупной зернистости от 320-600 мкр и удаление лишнего материала, сглаживание острых кромок;
2. Промежуточная шлифовка: абразивы средней зернистости от 160-300 мкр и выравнивание поверхности, подготовки к полировке;
3. Финишная полировка: мелкозернистые абразивы и достижение зеркального блеска.

Данное устройство позволяет многократно повысить производительность обработки заготовок, типа шариков из самоцветных камней. При этом открывается возможность одновременного выполнения, формообразование, черновой и чистовой обработки.

После завершения обработки заготовок, отключают станок, открывают крышку и выгружают обработанные заготовки с дисков. Предложенный способ обработки дает возможность существенно повысить производительность обработки. Установление зависимости производительности и точности обработки от технологических факторов требует проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

В ходе экспериментальных исследований были выявлены основные технологические факторы, влияющие на производительность обработки.

Процесс изготовления изделий из полудрагоценных и подделочных камней, требует особого внимания, так как неосторожные действия могут привести к значительной потере ценного материала. Проведённые исследования показали, что применение центробежной абразивной технологии с инструментами с фиксированным абразивом и использованием современных станков позволяет значительно повысить производительность и более рационально обрабатывать материал, преобразуя заготовки сферической формы в кубические. При этом снижается риск поломки камней. Наибольшую эффективность данный процесс демонстрирует при использовании алмазных шлифовальных кругов.

«Обработка при этом производится алмазосодержащим периферийным торцом круга. Количество одновременно обрабатываемых заготовок определяется диаметром круга и размерами кубиков. Максимальное количество одновременно обрабатываемых заготовок на одном инструменте при этом можно определить как:

$$n = \pi D / 1,71A, \quad (1)$$

где:

n -количество заготовок, D -диаметр инструмента, размер куба (длина ребра).

Так как устройство позволяет одновременно обрабатывать несколькими инструментами, общее количество заготовок для одной загрузки можно определить как $n_{об} = nK$, где K количество одновременно работающих инструментов» [6].

Применение инструментов с различной зернистостью позволяет осуществлять как черновую, так и чистовую обработку. Параметры режима обработки оказывают существенное влияние на производительность и эффективность исправления формы шариков. В связи с этим проводятся экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния различных факторов на параметры процесса обработки.

Продолжительность обработки является одним из факторов, влияющих на качество и производительность процесса. Были проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение влияния продолжительности обработки на величину съёма материала. Результаты этих исследований приведены ниже (рисунки 2-7). Анализ данных подтверждает, что в жидкостной среде интенсивность съёма, а соответственно и производительность, выше, чем при сухой обработке.

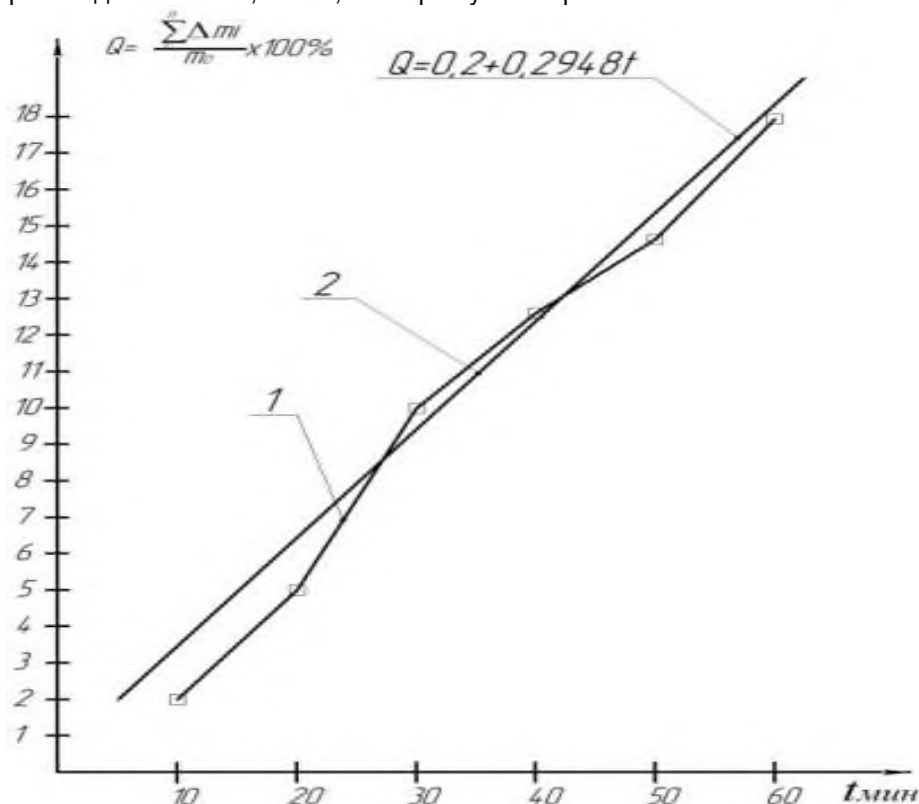


Рисунок 2 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке офита; Условия проведения эксперимента: $V = 7,85$ м/сек ($n = 600$ об/мин)

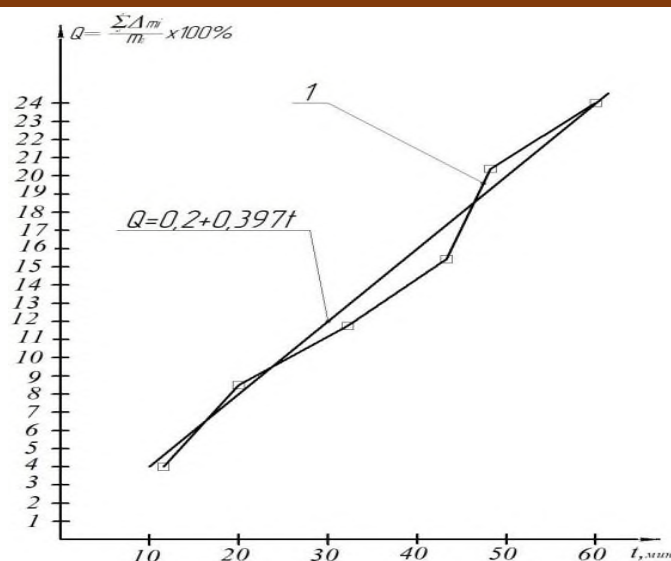


Рисунок 3 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке офита; Условия проведения эксперимента: $V = 13,08 \text{ м/сек}$ ($n = 1000 \text{ об/мин}$)

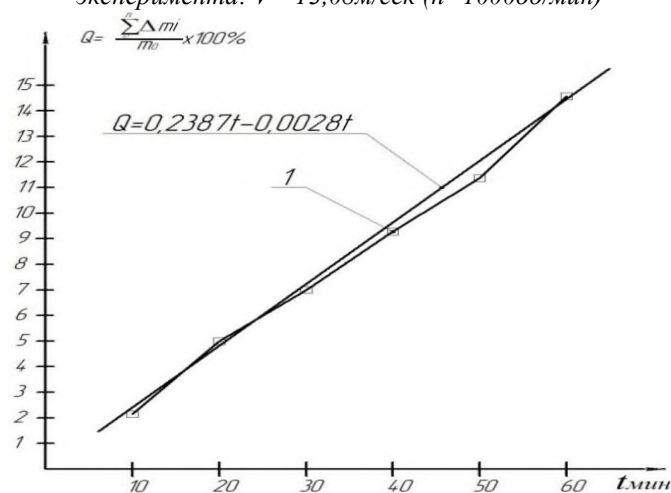


Рисунок 4 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке лазурита. Условия проведения эксперимента: $V = 7,85 \text{ м/сек}$ ($n = 600 \text{ об/мин}$)

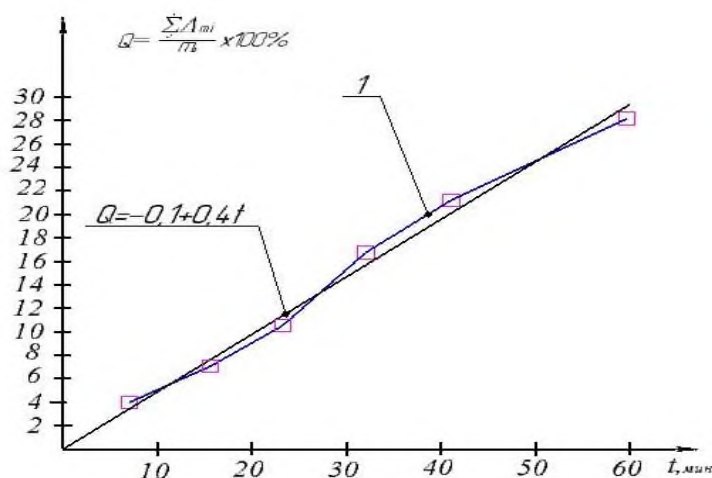


Рисунок 5 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке лазурита. Условия проведения эксперимента: $V = 13,08 \text{ м/сек}$ ($n = 1000 \text{ об/мин}$)

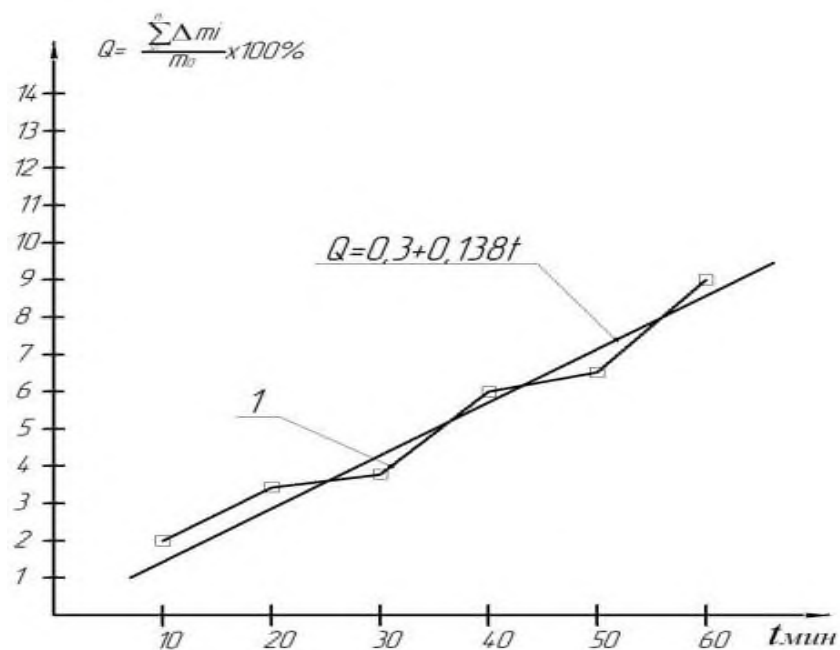


Рисунок 6 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке аметиста. Условия проведения эксперимента:
 $V = 7,85 \text{ м/сек}$ ($n = 600 \text{ об/мин}$)

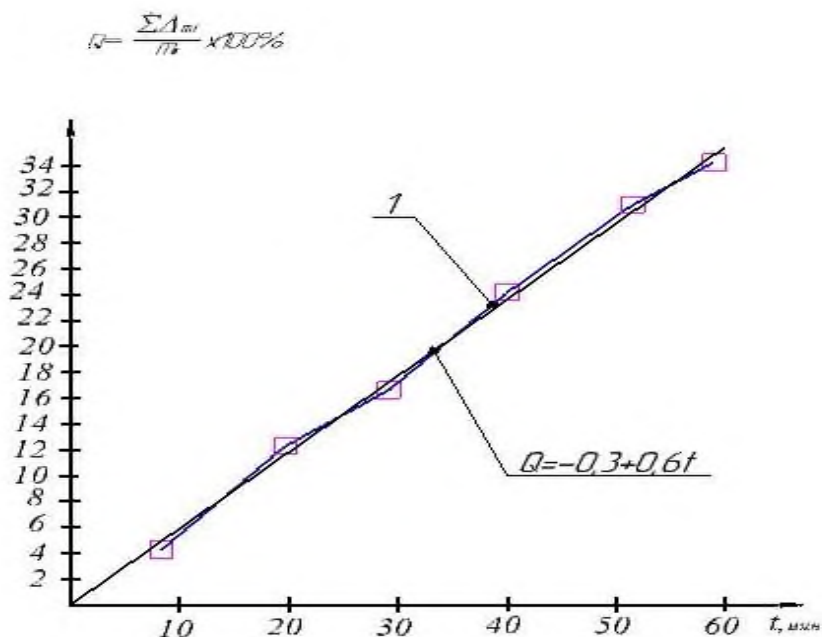


Рисунок 7 – График зависимости производительности от времени при сухой обработке аметиста. Условия проведения эксперимента:
 $V = 13,08 \text{ м/сек}$ ($n = 1000 \text{ об/мин}$)

«При оценке исправления формы измеряли наибольшие и наименьшие размеры исходных заготовок до обработки и после. Исходные заготовки в данном случае, это предварительно галтованные кубики, где сглажены их острые грани и рёбра. Так как исходные заготовки имеют разные размеры, их погрешности сильно отличаются. Для объективной оценки, исправления формы оценивались в процентах. При количестве заготовок в одновременно обрабатываемой партии 50 штук, было произведено измерение каждой заготовки в

отдельности. По результатам измерения определяли среднее значение погрешности до обработки как сумму погрешностей всех заготовок на их количество- $\sum_{i=1}^{50} Li / 50$.

Таким образом, были определены средние значения погрешности при обработке.

Процент исправления формы определяется как соотношение величины исправления погрешности после обработки к первоначальной погрешности заготовки.

Величину исправления погрешности после обработки можно вычислить по формуле $(L_{0cp} - L_{1cp}) - (L_{01cp} - L_{1.1cp})$, где L_{0cp} и L_{1cp} обозначают средние значения наибольшего и наименьшего размеров исходной партии заготовок, а L_{01cp} и $L_{1.1cp}$ — средние значения наибольшего и наименьшего размеров заготовок после их обработки. Например, для исходной заготовки величину погрешности можно определить как: $-\Delta_{1cp} = L_{0cp} - L_{1cp}$. Подобным образом определяем величину погрешности после обработки- $\Delta_{2cp} = L_{01cp} - L_{1.1cp}$.

На рисунке 8 показаны измерения размеров до обработки (рис. 8.а) и после обработки (рис. 8.б)» [6].

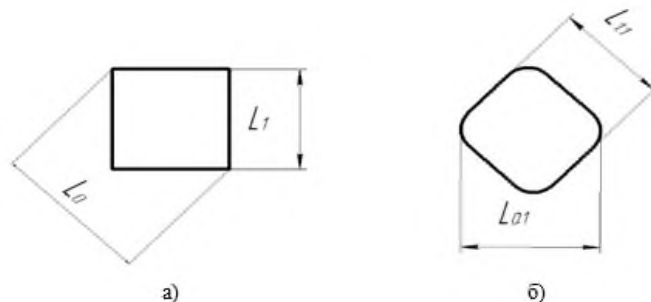


Рисунок 8 – а) Исходные размеры заготовки кубической формы, б) Заготовка после обработки

Изменение формы в результате обработки определяли по формуле:

$$\delta = (L_0 - L_1) - \frac{L_{01} - L_{1.1}}{L_0 - L_1} \times 100\%$$

или

$$\delta = (1 - L_1) - \frac{L_{01} - L_{1.1}}{L_0 - L_1} \times 100\%$$

Здесь L_0 и L_1 наибольший и наименьший размер заготовки до обработки. L_{10} и L_{11} соответственно наибольший и наименьший размеры заготовки после обработки. Пример исходных данных полученные из эксперимента приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Исходные данные, полученные из эксперимента

Материал: Лазурит							
Обработка: Галтовка (без охлаждения)							
Экс №3							
№ п/п	А, мм	В, мм	С, мм	А, сред.	L, max	L, min	ΔL
1	11,13	11,65	10,90	11,23	19,20	10,90	8,30
2	11,05	11,42	11,65	11,37	19,45	11,05	8,40
3	11,66	11,83	11,33	11,61	19,85	11,33	8,52
4	11,59	11,56	10,56	11,24	19,21	10,56	8,65
5	11,95	11,46	11,57	11,66	19,94	11,46	8,48
6	11,20	11,23	11,40	11,28	19,28	11,20	8,08
7	12,04	11,96	11,04	11,68	19,97	11,04	8,93
8	11,63	11,19	11,61	11,48	19,63	11,19	8,44
9	11,45	11,62	10,53	11,20	19,15	10,53	8,62
10	11,79	11,02	10,54	11,12	19,01	10,54	8,47
11	11,88	11,29	11,17	11,45	19,57	11,17	8,40
12	11,77	11,29	11,19	11,42	19,52	11,19	8,33
13	11,10	11,52	10,68	11,10	18,98	10,68	8,30

14	11,81	11,54	10,70	11,35	19,41	10,70	8,71
15	10,81	11,01	11,19	11,00	18,82	10,81	8,01
16	11,56	11,36	11,78	11,57	19,78	11,36	8,42
17	11,13	10,87	11,44	11,15	19,06	10,87	8,19
18	11,50	10,95	10,36	10,94	18,70	10,36	8,34
19	11,32	10,90	10,66	10,96	18,74	10,66	8,08
20	11,29	11,88	10,70	11,29	19,31	10,70	8,61
21	10,42	10,91	11,14	10,82	18,51	10,91	7,60
22	11,54	11,40	10,90	11,28	19,29	10,90	8,39
23	11,23	10,95	11,76	11,31	19,35	10,95	8,40
24	11,33	11,42	10,30	11,02	18,84	10,30	8,54
25	11,46	11,53	10,47	11,15	19,07	10,47	8,60
26	11,12	11,38	10,72	11,07	18,94	10,72	8,22
27	11,38	11,11	12,82	11,77	20,13	11,11	9,02
28	12,18	12,02	12,20	12,13	20,75	12,02	8,73
29	10,93	11,91	11,37	11,40	19,50	10,93	8,57
30	11,18	11,43	11,92	11,51	19,68	11,18	8,50
31	11,27	11,66	10,74	11,22	19,19	11,74	7,45
32	11,78	10,64	11,16	11,19	19,14	10,64	8,50
33	12,05	11,01	12,06	11,71	20,02	11,01	9,01
34	11,91	11,12	10,57	11,20	19,15	10,57	8,58
35	12,30	11,22	11,62	11,71	20,03	11,22	8,81
36	11,09	11,50	11,27	11,29	19,30	11,09	8,21
37	11,53	11,22	10,62	11,12	19,02	10,62	8,40
38	12,14	11,05	12,47	11,89	20,33	11,05	9,28
39	10,54	10,56	11,25	10,78	18,44	10,54	7,90
40	11,36	11,26	11,02	11,21	19,17	11,02	8,15
41	11,78	11,71	11,29	11,59	19,82	11,29	8,53
42	11,39	11,29	12,29	11,66	19,93	11,29	8,64
43	11,18	11,38	10,71	11,09	18,96	10,71	8,25
44	11,39	11,17	10,78	11,11	19,00	10,78	8,22
45	10,85	11,17	11,88	11,30	19,32	10,85	8,47
46	11,29	12,57	11,56	11,81	20,19	11,29	8,90
47	10,51	11,42	11,80	11,24	19,23	10,51	8,72
48	10,89	11,59	11,94	11,47	19,62	10,89	8,73
49	11,02	10,91	11,34	11,09	18,96	10,91	8,05
50	11,27	12,00	10,55	11,27	19,28	10,55	8,73
Сред.	11,40	11,36	11,23	11,33	19,37	10,73	8,65

Таблица 2

Материал: Лазурит							
Обработка: Галтовка							
Экс №4							
№ п/п	А, мм	В, мм	С, мм	А, сред.	L, max	L, min	ΔL
51	11,22	11,32	10,71	11,08	18,95	10,71	8,24
52	12,08	11,50	10,59	11,39	19,48	10,59	8,89
53	11,12	11,57	10,73	11,14	19,05	10,73	8,32
54	11,11	11,26	11,17	11,18	19,12	11,11	8,01
55	11,36	12,00	11,21	11,52	19,70	11,21	8,49
56	11,05	11,38	10,65	11,03	18,86	10,65	8,21
57	11,62	11,42	10,84	11,29	19,31	10,84	8,47
58	11,58	11,27	10,58	11,14	19,06	10,58	8,48
59	12,00	11,80	10,92	11,57	19,79	10,92	8,87
60	11,66	11,96	11,51	11,71	20,02	11,51	8,51
61	10,98	10,99	11,16	11,04	18,88	10,98	7,90
62	11,60	11,17	10,74	11,17	19,10	10,74	8,36
63	11,73	11,39	11,35	11,49	19,65	11,35	8,30
64	10,95	11,80	11,08	11,28	19,28	10,95	8,33
65	11,10	11,26	11,67	11,34	19,40	11,10	8,30
66	12,13	12,20	10,40	11,58	19,80	10,40	9,40
67	10,98	12,24	11,31	11,51	19,68	10,98	8,70
68	11,63	11,37	10,91	11,30	19,33	10,91	8,42
69	11,22	11,07	11,26	11,18	19,12	11,07	8,05
70	11,52	11,43	11,44	11,46	19,60	11,43	8,17
71	11,87	11,67	11,82	11,79	20,16	11,67	8,49
72	12,07	10,87	11,50	11,48	19,63	10,87	8,76
73	11,61	12,34	11,11	11,69	19,98	11,11	8,87
74	10,68	11,46	11,66	11,27	19,27	10,68	8,59
75	11,69	11,74	11,67	11,70	20,01	11,69	8,32
76	11,53	10,56	11,29	11,13	19,03	10,56	8,47
77	11,64	10,83	11,16	11,21	19,17	10,83	8,34
78	11,30	10,90	11,91	11,37	19,44	10,90	8,54
79	11,04	11,45	11,22	11,24	19,21	11,04	8,17
80	11,88	11,76	11,15	11,60	19,83	11,15	8,68
81	11,32	11,85	11,25	11,47	19,62	11,25	8,37
82	11,46	11,78	11,64	11,63	19,88	11,46	8,42
83	11,54	11,02	11,24	11,27	19,27	11,02	8,25
84	10,78	11,40	11,67	11,28	19,29	10,78	8,51

85	10,97	11,14	11,98	11,36	19,43	10,97	8,46
86	11,52	11,59	11,58	11,56	19,77	11,52	8,25
87	11,26	11,39	11,04	11,23	19,20	11,04	8,16
88	10,81	11,25	11,06	11,04	18,88	10,81	8,07
89	11,37	11,98	10,66	11,34	19,39	10,66	8,73
90	11,31	11,14	11,53	11,33	19,37	11,14	8,23
91	11,77	11,84	11,28	11,63	19,89	11,28	8,61
92	11,37	11,23	11,30	11,30	19,32	11,23	8,09
93	11,31	11,71	11,38	11,47	19,61	11,31	8,30
94	11,79	11,76	11,64	11,73	20,06	11,64	8,42
95	11,63	11,27	10,60	11,17	19,10	10,60	8,50
96	11,99	11,68	11,47	11,71	20,03	11,47	8,56
97	11,44	11,97	10,84	11,42	19,52	10,84	8,68
98	11,64	11,72	11,25	11,54	19,73	11,25	8,48
99	12,41	11,33	10,94	11,56	19,77	10,94	8,83
100	11,50	12,46	11,80	11,92	20,38	11,50	8,88
Сред.	11,46	11,51	11,22	11,40	19,49	11,04	8,45

В ходе экспериментальных исследований зависимости производительности и точности формы от режимов обработки в качестве заготовок использовались предварительно галтованные кубики. Размеры этих кубиков варьировались в пределах от 12 до 20 мм. Результаты экспериментов по исправлению формы представлены на рисунках 9-12. На рисунке 9 показана зависимость степени исправления формы от продолжительности обработки при сухой обработке. Заготовки были изготовлены из лазурита. На рисунке 10 представлена аналогичная зависимость, но при обработке в жидкостной среде.

Результаты экспериментов показывают, что вначале процесса обработки происходит интенсивная коррекция формы. После достижения определенного значения коррекция формы замедляется и практически прекращается. Это можно наблюдать на примере обработки лазурита. Так, минимальный и максимальный размеры исходной партии заготовок лазурита составляли 10,30мм и 20,75мм соответственно. В данном случае разница между максимальным и минимальным размерами составляет 8,01мм. Примерно через 25 минут обработки минимальный и максимальный размеры составили 11,17мм и 12,12мм соответственно. Разница в размерах в данном случае составляет 0,95мм. Исправление формы в данном случае составляет 95%. Как видно из графика, исправление формы стабилизируется, и дальнейшая обработка не приводит к дальнейшей уточнение формы.

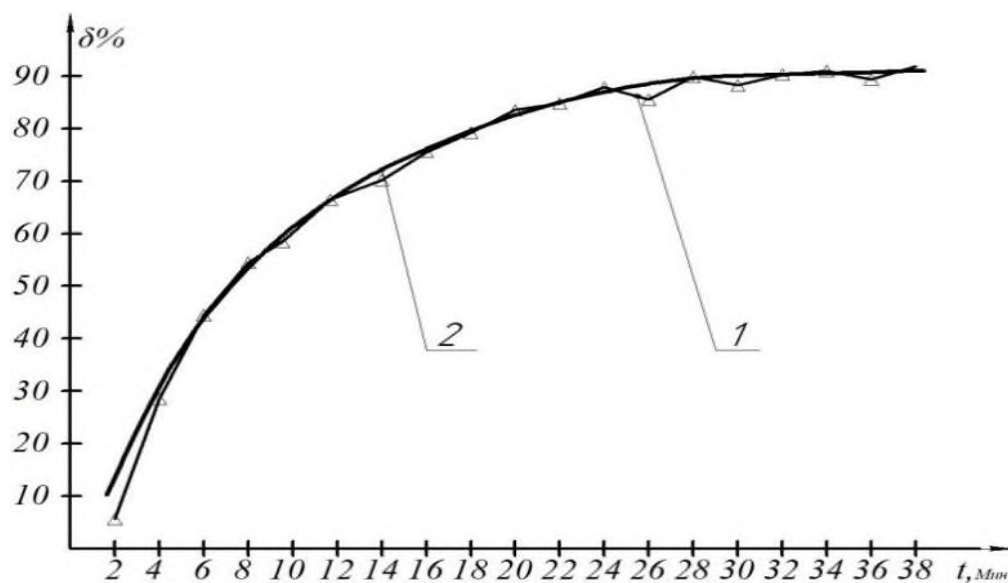


Рисунок 9 – График зависимости исправление формы от времени обработки при сухой обработке лазурита.
Примечание: 1. Расположение экспериментальных точек; 2. Аппроксимация результатов эксперимента

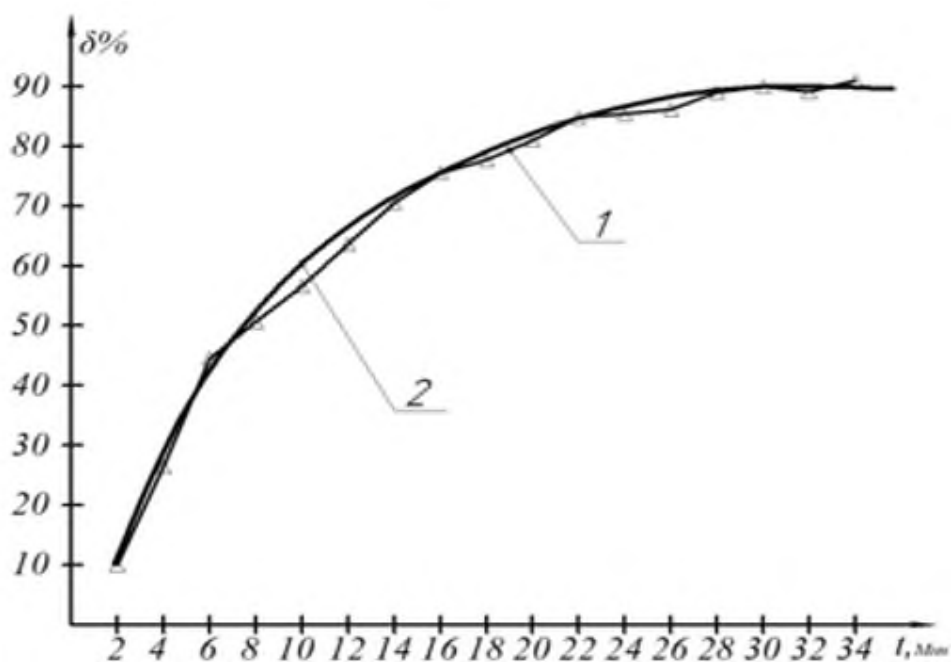


Рисунок 10 – График зависимости исправление формы от времени обработки при мокрой обработке лазурита.
Примечание: 1. Расположение экспериментальных. 2. Аппроксимация результатов эксперимента

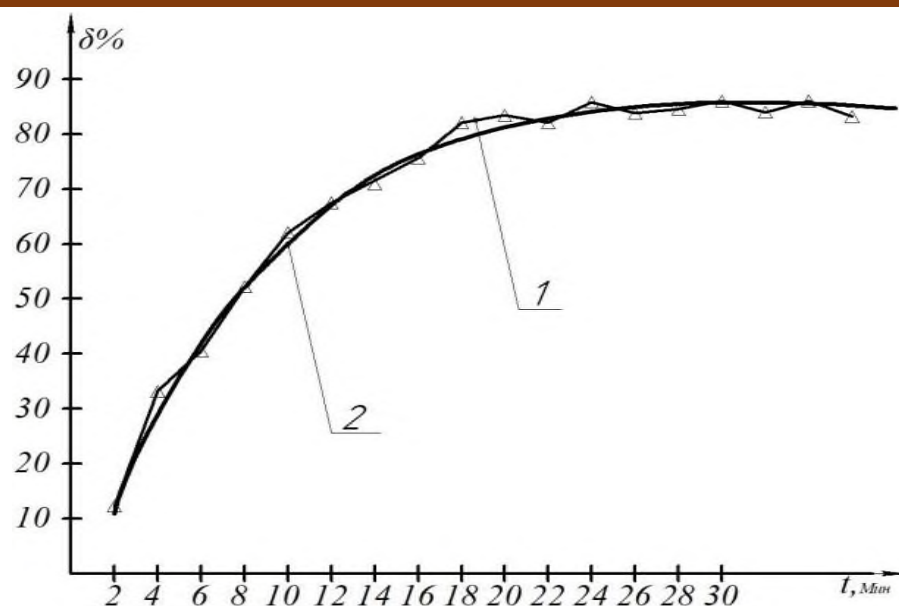


Рисунок 11 – График зависимости исправление формы от времени при сухой обработке офита. Примечание: 1. Расположение экспериментальных точек; 2. Аппроксимация результатов эксперимента

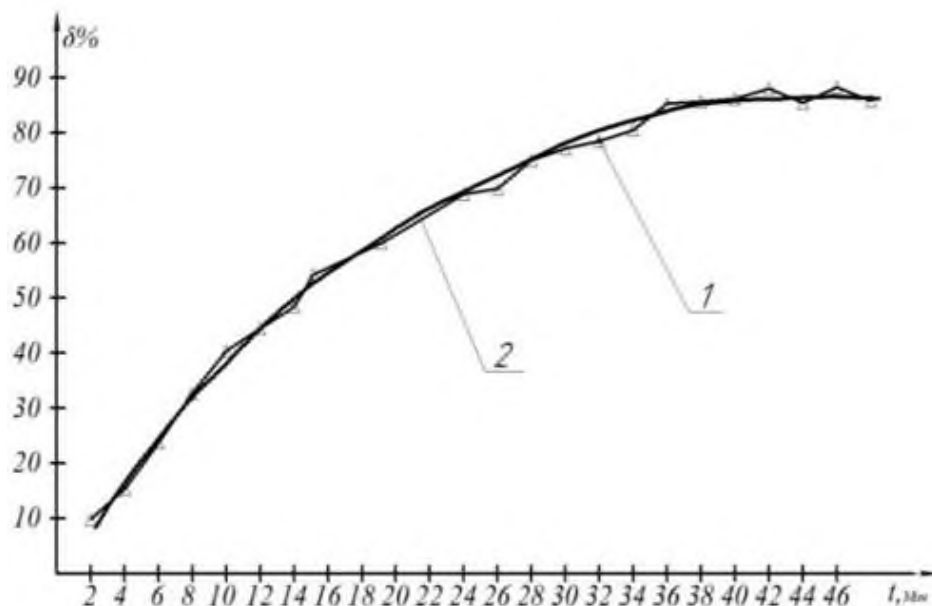


Рисунок 12 – График зависимости исправление формы от времени при сухой обработке аметиста. Примечание: 1. Расположение экспериментальных точек 2. Аппроксимация результатов эксперимента

Заключение

Исследованы пути повышения производительности абразивной галтовки за счет усовершенствования конструкции и выбора подходящего способа обработки. Установлено, что наиболее производительными являются способы галтовки основанные на использовании центробежных сил инерции. Производительность и качество обработки изделия применением методов центробежной абразивной обработки можно существенно повысить. Она сочетает в себе высокую точность, автоматизацию и бережное отношение к материалу, что делает её незаменимой в современных ювелирных и сувенирных производствах.

Рецензент: Иброгимов Х.И. – д.т.н., профессор кафедры технологии текстильных изделий Технологического университета Таджикистана.

Литература

1. Малый патент TJ 1361. Оpubл. 20.04.2023. Заявление №2201668.2023. Устройства для многодисковой центробежной абразивной обработки шариков / Холов Ф.Б.(ТJ); Убайдуллоев А.Н.(ТJ); Мирзоалиев И. (ТJ); Мирзоалиев А.И. (ТJ); Амонов С.Т. (ТJ); Махмадуллоев Р.З. (ТJ); Ашуров К.Х. (ТJ)

2. Повышение эффективности процесса центробежной абразивной обработки изделий из самоцветных камней. Монография / А.И. Мирзоалиев, А.Н. Убайдуллоев, И. Мирзоалиев, Т.А. Ходжаев. – Душанбе, 2020. -127 с.
3. Холов Ф.Б. Исследование процесса многодисковой центробежной абразивной обработки шариков из самоцветных камней / Ф.Б. Холов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. Душанбе: Таджикский национальный университет, 2022. -№3. -С.77-84, ISSN 2664-1534.
4. Холов Ф.Б. Обработка шариков из полудрагоценных и поделочных камней на центробежных станках. [текст]: Дис.док.фил.PhD, 6D071200 – Машиностроение – Душанбе:2025-168с.
5. Холов, Ф. Б. Экспериментальное исследование процесса многодисковой центробежной абразивной обработки шариков из самоцветных камней / Ф. Б. Холов, И. Мирзоалиев, Н. Б. Имомов // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2023. – № 1(1). – С. 4-9. – EDN UDJLZF.
6. Имомов, Н. Б. Исследование возможности обеспечения равномерности изнашивания инструмента при обработке на центробежном станке с направляющими пластинами / Н. Б. Имомов, И. М. Мирзоалиев, Ф. Б. Холов // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2023. – № 2(2). – С. 4-8. – EDN BONSWH.
7. Имомов, Н. Б. Влияние режимов обработки на исправление формы шаровидных изделий из самоцветных камней при обработке на станке с направляющими пластинами / Н. Б. Имомов, И. М. Мирзоалиев, Н. Б. Холов // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2023. – № 3(3). – С. 4-8. – EDN EDQUSH.
8. Перспектива галтовки самоцветных камней для развития формообразования и обеспечения качества продукции / Д. М. Бобоев, А. И. Мирзоалиев, С. Т. Амонов, Ф. Холов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 2(58). – С. 96-102. – EDN DTXWAA.
9. Исследование процесса центробежно - абразивной доводки деталей тел вращения / А. И. Мирзоалиев, И. Мирзоалиев, С. Т. Амонов, А. Н. Убайдуллоев // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2024. – № 3(7). – С. 4-8. – EDN HFUKAE.

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

TJ	RU	EN
Холов Фаридун Буриевич	Холов Фаридун Буриевич	Kholov Faridun Burievich
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: f_3450@mail.ru		
TJ	RU	EN
Мирзоалиев Исроил	Мирзоалиев Исроил	Mirzoaliev Isroil
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: tmmsii74@mail.ru		
TJ	RU	EN
Хочаев Тоҷиддин Авғонович	Ходжаев Тоджиддин Авғонович	Khojaev Tojiddin Avgonovich
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: f_3450@mail.ru		

УДК 539.219.3

ВЛИЯНИЕ ГАЛЛИЯ НА ПОТЕНЦИАЛ КОРРОЗИИ ЦИНКА, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

И.Н. Ганиев, Г.М. Атоев, Р.Д. Исмонов, П.Н. Абдухоликова, М.А. Умаров

Приведены результаты исследования анодного поведения сплавов системы Zn-Ga в среде электролита NaCl. Показано, что добавка галлия (0.01-0.5 мас.%) улучшает коррозионную стойкость цинка на 20%. С ростом концентрации галлия в исходном сплаве потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений. Увеличение концентрации хлорид-иона в растворе NaCl способствует росту скорости коррозии сплавов, что сопровождается смещением в отрицательную область основных электрохимических потенциалов сплавов.

Ключевые слова: цинк, галлий, анодное поведение, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, потенциалы питтингообразования и репассивации, скорость коррозии.

ТАЪСИРИ ГАЛЛИЙ БА ПОТЕНСИАЛИ ЗАҶҶАЗИИ СИНК, ДАР МУХИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl

И.Н. Ганиев, Г.М. Атоев, Р.Д. Исмонов, П.Н. Абдухоликова, М.А. Умаров

Натиҷаҳои омузиши рафтори анодии ҳулаҳои Zn-Ga дар мухити электролитии NaCl оварда шудаанд. Муайян карда шудааст, ки иловаҳои галлий (0,01—0,5 ват.%) тобоварии рӯхро ба зағғазии 20% беҳтар мекунад. Бо зиёд шудани консентратсияи галлий дар ҳулаи аслӣ, потенциалҳои зағғазӣ, шакли питингӣ ва репассиватсия ба тарафи мусбати қиматҳо майл мекунад. Баландшавии консентратсияи хлориди ион дар маҳлули NaCl ба баланд шудани суръати зағғазии ҳулаҳо мусоидат мекунад, ки ин бо гузариш ба тарафи манфии потенциалҳои асосии электрохимиявии ҳулаҳо мушоҳида мешавад.

Калимаҳои калидӣ: рӯх, галлий, рафтори анодӣ, усули потенциостатикӣ, потенциалҳои зағғазии озод, потенциалҳои шакли питингӣ ва репассиватсия, суръати зағғазӣ.

INFLUENCE OF GALLIUM ON THE CORROSION POTENTIAL OF ZINC, IN THE ENVIRONMENT NaCl ELECTROLYTE

Ganiev I.N., Atoev G.M., Ismonov R.D., Abdukholikova P.N., Umarov M.A.

The results of the study of the anodic behavior of Zn-Ga alloys in the NaCl electrolyte environment are presented. It is shown that the addition of gallium (0.01-0.5 wt.%) improves the corrosion resistance of zinc by 20%. With an increase in the gallium concentration in the initial alloy, the corrosion, pitting, and repassivation potentials shift to the positive range of values. An increase in the concentration of chloride ion in the NaCl solution promotes an increase in the corrosion rate of alloys, which is accompanied by a shift to the negative region of the main electrochemical potentials of the alloys.

Keywords: zinc, gallium, anodic behavior, potentiostatic method, free corrosion potentials, pitting and repassivation potentials, corrosion rate.

Введение

Цинк широко используется в цинковании различных изделий в качестве защиты от коррозионных воздействий, кроме чистого цинка, сплавы на его основе также хорошо защищают поверхности от коррозии. Цинкованию подвергаются различные изделия – это листовая сталь, проволока, детали автомашин, приборов, трубы и различные виды арматуры. Так, в строительстве, расход цинка составляет примерно 50% от всего получаемого металлического цинка и примерно 65% оцинкованной листовой стали. Также одним из основных потребителей цинка является автомобильная промышленность, в которой используются оцинкованные листы [1-3].

В промышленности практически не применяется нелегированный цинк, который по сравнению с легированным обладает более низкими механическими, технологическими и физическими свойствами. Поэтому для улучшения различных характеристик цинка принято легировать его различными добавками с целью улучшения определённых заданных свойств [4-6].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния добавки галлия на анодное поведение цинка, которые могут использоваться в качестве эффективных покрытий и протекторов для повышения коррозионной стойкости стальных конструкций, изделий и сооружений.

Материалы и методика эксперимента

Для изучения электрохимических свойств сплавов системы Zn-Ga применяли потенциостатический метод исследования. Сплавы для коррозионно- электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 450 – 500°C путём плавки цинка марки ЦВ00 (ГОСТ 3640-94) и галлия марки Гл-1 (ГОСТ 12797-77). Сплавы цинка содержали 0,01-0,5 мас.% галлия.

При электрохимических испытаниях образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала установившегося при погружении электрода в исследуемый раствор ($E_{св.кор.}$ – потенциал свободной коррозии или стационарный), при котором происходит резкое возрастание тока (рис.1, кривая 1). Затем образцы поляризовали в

обратном направлении до потенциала -1.4 В, в результате чего происходило подщелачивание при электродного слоя поверхности образца (рис. 1, кривые II и III). Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая IV), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируются потенциал питтингообразования. Потенциал репассивации ($E_{\text{реп.}}$) определяли по пересечению кривых I и II.

Скорость коррозии (K), как основной показатель коррозионной устойчивости рассчитывалась по формуле: $K = i_{\text{кор}} \cdot k$, где $k = 1,22$ г/А·час электрохимический эквивалент цинка.

Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплавов проводилось, в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03 и 3,0% при скорости развёртки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.1 по методикам, описанным в работах [7-12].

Графическое изображение методики снятия поляризационных кривых показано на рисунке 1 на примере исходного цинка, в среде электролита 3%-ного NaCl.

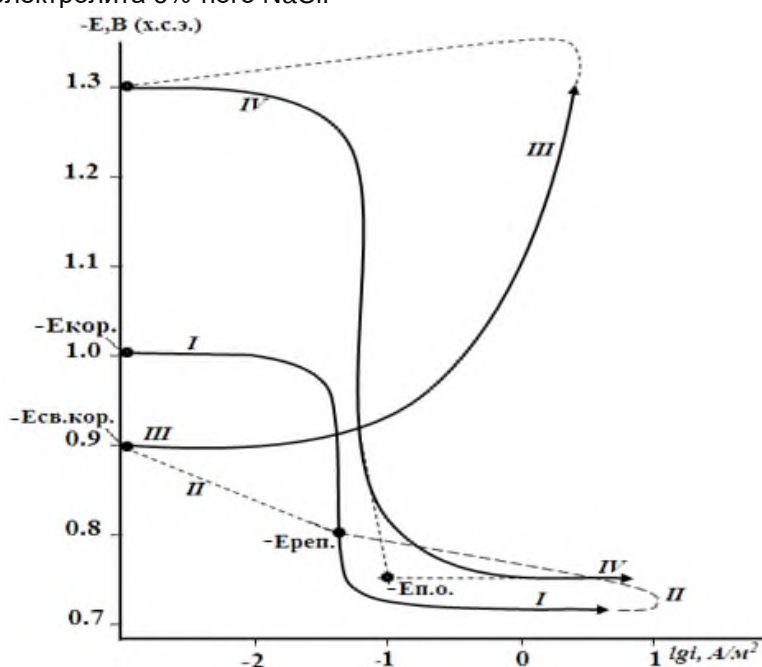


Рисунок 1– Полная поляризационная кривая (2мВ/с) металлического цинка, в среде электролита 3%-ного NaCl

Таблица 1– Изменение потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{\text{св.корр.}}$, В) цинка, легированного галлием во времени, в среде электролита NaCl

Среда, NaCl	Содержание галлия	Время, мин.								
		1/5	1/3	2	5	20	30	40	50	60
мас. %										
0,03	-	1,075	1,030	0,996	0,980	0,973	0,970	0,968	0,966	0,964
	0.01	1,050	1,018	0,987	0,962	0,950	0,946	0,943	0,941	0,941
	0.05	1,040	1,012	0,978	0,953	0,939	0,934	0,929	0,926	0,924
	0.1	1,029	0,997	0,958	0,933	0,920	0,915	0,911	0,908	0,906
	0.5	1,019	0,990	0,948	0,918	0,902	0,896	0,892	0,888	0,888
0,3	-	1,110	1,077	1,025	1,004	0,993	0,989	0,984	0,982	0,980
	0.01	1,083	1,049	1,014	0,996	0,985	0,980	0,976	0,973	0,972
	0.05	1,070	1,037	1,006	0,987	0,975	0,970	0,966	0,962	0,962
	0.1	1,058	1,028	0,998	0,974	0,961	0,955	0,950	0,949	0,949
	0.5	1,047	1,020	0,989	0,962	0,949	0,943	0,939	0,936	0,934
3,0	-	1,126	1,086	1,045	1,027	1,015	1,010	1,007	1,005	1,003
	0.01	1,098	1,066	1,036	1,017	1,005	1,000	0,998	0,996	0,996
	0.05	1,085	1,055	1,023	1,002	0,990	0,985	0,982	0,980	0,980
	0.1	1,073	1,044	1,013	0,990	0,976	0,970	0,965	0,965	0,965
	0.5	1,061	1,035	1,004	0,979	0,966	0,960	0,955	0,953	0,953

Как видно из таблицы 1 с увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплавов цинка с галлием растёт, что свидетельствует о росте коррозионной стойкости цинка к воздействиям хлорид-иона (рис.2). Сравнивая потенциал свободной коррозии цинка и сплавов с добавками галлия, в среде электролита 0.03 и 3%-ного NaCl можно отметить, что его значение для исходного цинка составляет: -0.964 В; -1.003, а у сплавов с добавками 0.5 мас.% галлия оно равняется: -0.888; -0.953 В, соответственно. Из данных таблицы вытекает, что рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl способствует росту скорости коррозии сплавов не зависимо от их химического состава, что сопровождается смещением в область отрицательных значений всех электрохимических потенциалов.

Зависимость плотности тока коррозии сплава цинка с галлием от концентрации NaCl показана на рисунке 3. Модифицирование 0.01-0.5 мас. % галлием снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава на 20%. С ростом концентрации хлорид – иона в электролите NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов.

Анодные ветви поляризационных кривых сплавов цинка, легированного галлием, в среде электролита 0,03%-ного NaCl приведены на рисунке 4. Ход кривых показывает, что с увеличением концентрации галлия происходит их смещение в положительную область и при этом повышается потенциал питтингообразования у легированных сплавов. Кривые 2 и 3 с добавками 0.01 и 0.05 мас.% галлия смещены в область положительных значений потенциалов по сравнению с кривой 1 для исходного сплава. Подобная тенденция имеет место и в других исследованных средах (таблица 2).

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплавов представленные в таблице 2 свидетельствует о том, что добавки галлия в пределах 0.01 и 0.5 мас.% к исходному сплаву в средах электролита NaCl сдвигает потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений и одновременно с этим повышает коррозионную стойкость исходного сплава. Скорость коррозии имеет минимальное значение при легировании исходного цинка 0.01-0.5 мас.% галлием (на 20% меньше по сравнению с цинком), что являются оптимальными в коррозионном отношении (таблица 2).

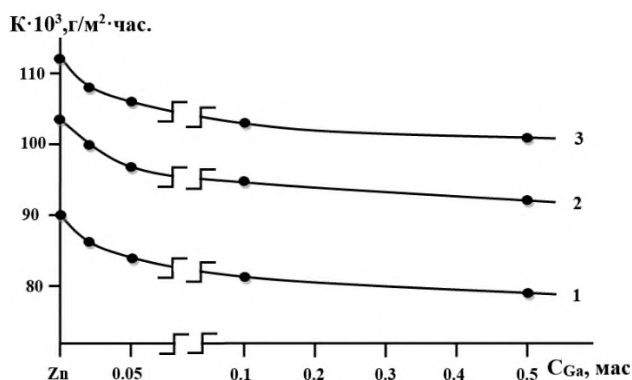


Рисунок 2 - Зависимость скорости коррозии сплавов цинка легированного галлием, в среде электролита 0,03(1); 0,3(2); 3,0(3)-ного NaCl.

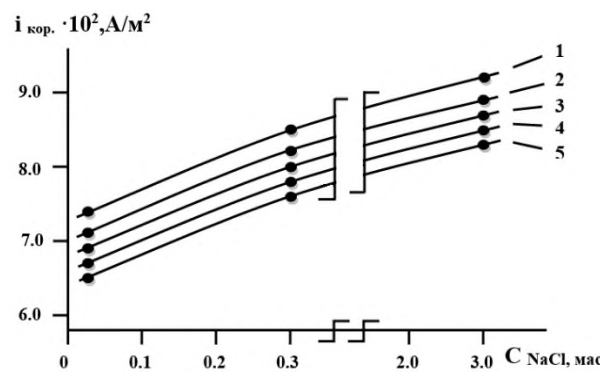


Рисунок 3 - Зависимость плотности тока коррозии сплав цинк (1), содержащего галлия, мас.%.: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), от концентрации NaCl.

Учитывая питтинговый механизм коррозии цинка, особое внимание было уделено определению потенциала питтингообразования сплавов и влиянию концентрации легирующего элемента и электролита на данную характеристику сплавов. Возникновение питтинга связано с нарушением пассивного состояния на отдельных участках поверхности металлов и сплавов в результате воздействия анионов-активаторов. На этих участках происходит ускоренное разрушение оксидных плёнок, что вызывает местное активирование. Последнее может быть связано также с адсорбционным вытеснением кислорода анионами-активаторами на участках, на которых прочность связи кислорода с металлом меньше, чем с анионами.

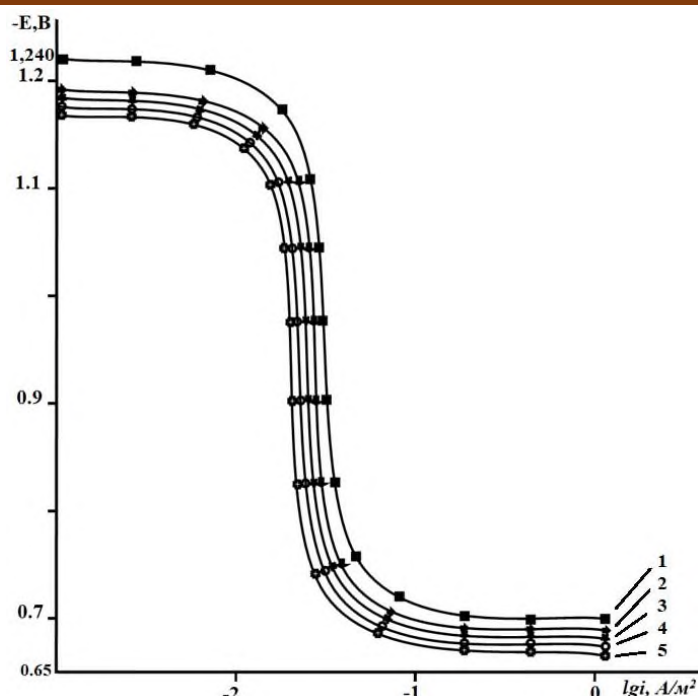


Рисунок 2 – Анодные поляризационные (2мВ/с) кривые цинка (1), содержащие галлий, мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), в среде электролита 0,03% -ного NaCl.

Таблица 2 – Коррозионно-электрохимические характеристики цинка, легированного галлием, в среде электролита NaCl

Среда, NaCl	Содержание галлия в сплаве мас. %	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В			Скорость коррозии	
		-E _{корр.}	-E _{по.}	-E _{реп.}	i _{корр.} · 10 ⁻² А/м²	K · 10 ⁻³ г/м² · ч
0,03	-	0,964	1,223	0,700	0,770	7,4
	0.01	0,941	1,192	0,688	0,750	7,1
	0.05	0,924	1,183	0,678	0,741	6,9
	0.1	0,906	1,174	0,669	0,732	6,7
	0.5	0,888	1,165	0,660	0,723	6,5
0,3	-	1,240	0,735	0,790	8,5	103,7
	0.01	1,214	0,700	0,761	8,2	100,4
	0.05	1,206	0,693	0,753	8,0	97,0
	0.1	1,198	0,685	0,745	7,8	95,1
	0.5	1,190	0,677	0,736	7,6	92,7
3,0	-	1,003	1,300	0,750	0,800	9,2
	0.01	0,996	1,284	0,735	0,787	8,9
	0.05	0,980	1,276	0,727	0,778	8,7
	0.1	0,965	1,268	0,719	0,769	8,5
	0.5	0,953	1,260	0,711	0,760	8,3

Что касается цинка, легированного галлием, то результаты, приведённые в таблице 2 показывают, что с увеличением концентрации галлия до 0.5 мас. % питтингоустойчивость сплавов увеличивается, о чём свидетельствует смещение потенциала питтингообразования в более положительную область значений.

Таким образом, легирование цинка галлием позволяет рекомендовать его в качестве коррозионностойкого сплава (скорость коррозии которой на 20% ниже, чем цинка) с оптимальным содержанием галлия 0.01÷0.5 мас. %.

Выводы

1. Исследованием влияния добавки галлия на анодное поведение цинка показано, что легирование позволяет повысить коррозионную стойкость цинка на 20%, в среде электролита NaCl.

2. Экспериментально показано, что легирование цинка галлием смещает в положительную область значения потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации, что в целом благоприятно влияют на коррозионную устойчивость сплавов.

Рецензент: Сафаров А.Т. – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник ФЭИИ имени С.У. Умарова НАНТ.

Литература

1. Виткин А.И., Тейндл И.И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. М.: Металлургия. 1971. – 493 с.
2. Кечин В.А., Люблинский Е.Я. Цинковые сплавы. М.: Металлургия. 1986. – 247 с.
3. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: Физматлит. 2002. – 336 с.
4. Алихонова С.Д., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Цинк-алюминиевые сплавы Zn5Al и Zn55Al с церием, празеодимом и неодимом. Монография. Душанбе: РТСУ. 2022. – 156 с.
5. Одиназода Х.О., Ганиев И.Н. Сплавы алюминия с бериллием, цинком и редкоземельными металлами. Монография. Душанбе: «Промэкспо», 2021. – 248 с.
6. Рахимов Ф.А., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Коррозия цинкового сплава Zn0.5Al с галлием, галлием и таллием. Душанбе: Дониш., 2022. – 116 с.
7. Ганиев И.Н., Абдухоликова П.Н., Бердиев А.Э., Алихонова С.Дж. Анодное поведение цинкового сплава ЦАМСв4-1-2,5, легированного галлием, в среде электролита NaCl // Цветные металлы. 2022. №5. С.33-37.
8. Сиродждинов М.Э., Ганиев И.Н., Шарипов Дж.Х., Обидов З.Р. Исследование анодного поведения сплава Zn55Al с галлием, в кислых, нейтральных и щелочных средах // Вопросы материаловедения. 2022. №3 (111). С.79-84.
9. Раджабова Ш.Г., Иброхимов П.Р., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Кинетика окисления сплава Zn55Al с молибденом в твердом состоянии // Журнал физической химии. 2023. Т.97, №2. С.237-240.
10. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М., Курбонова М.З. Влияние содержания галлия, галлия и таллия на анодное поведение алюминиевого сплава АБ1 (Al+1%Be), в нейтральной среде // Вестник Сибирский государственный индустриальный университет. 2018. №2 (24). С. 22-26.
11. Раджабова Ш.Г., Амини Р.Н., Ганиев И.Н., Обидов З.Р. Исследование анодного поведения сплава Zn55Al, легированного хромом, в коррозионно-активных средах // Журнал прикладной химии. 2022. Т.95, №4. С. 524-530.
12. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О. Сафаров А.М. Влияние добавок индия на коррозионную устойчивость, теплоемкость и изменений термодинамических функции алюминиевого сплава АБ1 - Вестник Саратовского государственного технического университета, 2022. №3 (94), -С. 81-91.

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

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
Атоев Гулмурод Мирзоевич	Атоев Гулмурод Мирзоевич	Atoev Gulmurod Mirzoevich
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior lecturer
Донишгоҳи давлатии Данғара	Дангаринский государственный Университет	Dangara State University
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
TJ	RU	EN
Абдухоликова Парвина Носировна	Абдухоликова Парвина Носировна	Abdukholikova Parvina Nosirovna
н.и.т.	к.т.н.	Ph.D.
Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон	Российско-Таджикский (Славянский) университет	Russian-Tajik (Slavic) University
TJ	RU	EN
Умаров Мирали Ашуралиевич	Умаров Мирали Ашуралиевич	Umarov Mirali Ashuralievich
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

УДК 669.5: 620.193

ТАЪСИРИ ВИСМУТ БА ГАРМИҒУНҶОИШИ ХОСИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИ НАВЪИ АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3

О.Ш. Давлатов, И.Н. Ганиев, Ҳ.О. Одиназода, С.С. Раҷабалиев

Дар мақолаи мазкур вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш, коэффитсиенти гармиғузариони ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хўлаи алюминийи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, бо висмут ҷавҳаронидашуда, дар речаи хунукшавӣ таҳқиқ карда шудааст. Муқарар карда шуд, ки вобаста ба миқдори компоненти лиғарӣ бузургии гармиғунҷоиш коҳиш ёфта, коэффитсиенти гармиғузариони зиёд мешавад. Дар натиҷа полиномияҳое ба даст оварда шудаанд, ки гармиғунҷоиши хўлаҳоро вобаста аз ҳарорат тавсиф мекунанд.

Калимаҳои калидӣ: АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, висмут, алюминий, гармиғунҷоиши хос, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс.

ВЛИЯНИЕ ВИСМУТА НА УДЕЛЬНУЮ ТЕПЛОЕМКОСТЬ АЛЮМИНИЯ МАРКИ АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3

О.Ш. Давлатов, И.Н. Ганиев, Ҳ.О. Одиназода, С.С. Раҷабалиев

В данной статье исследованы зависимости температуры теплопередачи, коэффициента теплопроводности и изменения термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного висмутом, в режиме «охлаждения». В зависимости от количества легирующего компонента величина теплопередачи уменьшается, а коэффициент теплопроводности увеличивается. В результате получены полиномы, описывающие температурную зависимость коэффициента теплопередачи сплавов.

Ключевые слова: АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, висмут, алюминий, удельная теплоемкость, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

INFLUENCE OF BISMUTH ON SPECIFIC HEAT CAPACITY OF ALUMINUM GRADE АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3

O.Sh. Davlatov, I.N. Ganiev, H.O. Odinzoda, S.S. Rajabaliyev

This article studies the dependences of the heat transfer temperature, thermal conductivity coefficient and change in thermodynamic functions of aluminum alloy AZh2.4M5.3Mg1.1Ts4Kr3 alloyed with bismuth in the "cooling" mode. Depending on the amount of the alloying component, the heat transfer value decreases, and the thermal conductivity coefficient increases. As a result, polynomials are obtained that describe the temperature dependence of the heat transfer coefficient of the alloys.

Keywords: АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, bismuth, aluminum, specific heat capacity, enthalpy, entropy, Gibbs energy.

Маълумоти умумӣ

Дар солҳои охир таваҷҷӯҳ ба коркард ва ҷорӣ намудани маводи принципиалии нави конструксионӣ, ки нисбат ба маводи анъанавӣ хосиятҳои баланди механикӣ ва ба коррозия устуворӣ доранд, меафзояд. Аз ин рӯ, таҳия ва таҳқиқи хўлаи нави алюминий бо элементҳои гуногуни лиғарӣ, ки ба муҳити ғаёол тобовар мебошанд ва тағйирёбии қобилияти парокандашавии энергия доранд, хеле муҳим аст.

Алюминий ва хўлаҳои он аз руи соҳаи истифодабариашон баъди пӯлод дар ҷои дуюм қарор дорад. Истифодаи васеи алюминий ва хўлаҳои он бо маҷмуи арзишманди хосиятҳои химиявӣ, физикӣ ва механикӣ, инчунин захираҳои зиёди табиӣ алюминий дар қабати замин шарҳ дода мешавад. Аммо, бо синтези хўлаҳои нав ва ҷорӣ кардани онҳо дар техника ва технология, инчунин васеъ кардани миқёси истифодаи алюминий ва хўлаҳо дар асоси он, хусусан дар муҳити ғаёол, масъалаҳои муқовимати зангзании алюминий ва хўлаҳои он омӯзиши иловагиро талаб мекунанд.

Набудани маълумот дар адабиёт дар бораи хосиятҳои физикӣ хўлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут таваҷҷӯҳи моро ба омӯзиши хосиятҳои гармӣ, термодинамикии ин хўла ва таҳияи хўлаҳои нав барои истеҳсоли замимаҳои тамоси хатҳои троллейбус ва дигар соҳаҳои саноат водор кард.

Муайян намудани гармиғунҷоиш одатан дар дастгоҳи ИТС-400, ки барои омӯхтани гармиғунҷоиши хос вобаста аз ҳарорат таъин шудааст, гузаронида мешавад [1-11].

Мо тадқиқоти гармиғунҷоиш металлҳоро бо усули дар адабиётҳо нашршуда [1-11] гузаронидаем. Дастгоҳи мазкур ба истифодаи калориметри динамикии С бо қабати адиабатӣ ва ҳароратсанҷ асос ёфтааст [1].

Ченкунии таҷрибавӣ гармиғунҷоиш дар ҳароратҳои гуногун яке аз усулҳои асосии ченкунии хосиятҳои термодинамикии моддаҳо ба ҳисоб меравад. Ҳангоми ҳисоб намудани тағйирёбии энтропия ва энталпияи моддаҳо аз муодилаи гармиғунҷоиш дар фосилаи аз 0 то Т интеграл гирифта шуд:

$$\left. \begin{aligned} [H^0(T) - H^0(T_0)] &= a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \\ [S^0(T) - S^0(T_0)] &= a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Энергияи Гиббс:

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)]. \quad (2)$$

Барои муайян намудани гармиғунҷоиши хоси металлҳо қонуни хунуккунии Нютон – Рихманро истифода мебарем. Ҳамаи металлҳо, ки ҳарораташон аз ҳарорати муҳити атроф болотар аст, хунук мешаванд ва суръати хунукшавии онҳо аз коэффисиенти гармиғузaronӣ ва қобиляти гармиғунҷоишӣ ҳисм вобаста аст [2-5].

Ҳисми қаблан гармкардашуда (вазнаш m), ки миқдори гармии δQ -ро ҳангоми хунуккунӣ (ба T градус) гум мекунад, бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\delta Q = C_p^0 m dT, \quad (3)$$

дар ин ҷо C_p^0 – гармиғунҷоиши хоси модда.

Бо назардошти он ки талафоти энергия тавассути сатҳи ҳисм рух медиҳад, миқдори гармие, ки dQ_S ҳисм дар давоми вақт $d\tau$ тавассути сатҳи худ аз даст медиҳад, ба масоҳати сатҳ S , вақт τ , гуногунии ҳарорати ҳисм (T) ва муҳити атроф (T_0) вобаста буда, бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\delta Q_S = -\alpha(T - T_0) \cdot S d\tau. \quad (4)$$

Ҳангоми фарқияти ҳарорат 1 K коэффисиенти гармидиҳӣ α ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ K})$) на ҳамавақт доимист ва аз фарқияти ҳарорат вобаста аст, ки дар натиҷаи ин қонунияташ тахминӣ мешавад. Ҳангоми дида баромадани селайи гармӣ ҳамчун вектор, бояд ба инобат гирифт, ки он ба сатҳи ҳамвории аз он ҳангоми ҳарорати ягонаи фишордиҳанда α - миқдори гармӣ дар як ченаки вақт бо 1 м^2 додашаванда ба ҳамвории амудӣ равона мебошад. Ба селайи гармӣ як қатор омилҳо таъсир мерасонанд: шакли геометрии ҳисм, ҳолати ҳамворӣ ва самти ҷоришавӣ; речаи гузариш ва намуди конвексия; намуди гармиғузaronанда ва ҳарорати он. Ҳамин тариқ, α - функцияи раванди гармидиҳӣ ченаки ҷадвали ҳисобида намешавад, балки тариқи таҷрибавӣ ҳисоб карда мешавад.

Ҳангоми ҷудошавии гармӣ дар ҳисм ҳарорати ҳамаи нуқтаҳои он якхела тағйир меёбад, дар ин ҳолат баробарии зерин мувофиқ аст:

$$\delta Q = dQ_S \text{ и } C_p^0 m dT = \alpha(T - T_0) \cdot S d\tau. \quad (5)$$

Баробарии 5-ро дар намуди зерин пешкаш менамоем:

$$C_p^0 m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S. \quad (6)$$

Ҳисоб карда шуд, ки C_p^0 , ρ , α , T ва T_0 дар фосилаи ҳарорати ночиз бо координатаҳои нуқтаҳои сатҳи намуна алоқаманд набуда, ҳарорати онҳо ба ҳарорати атроф мувофиқат мекунад. Вобастагии 6 барои ду намуна дар намуди зерин оварда шудааст:

$$C_{p1}^0 m_1 S_2 \alpha_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 m_2 S_1 \alpha_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2. \quad (7)$$

Баробарии мазкур барои ду намуна (яке аз инҳо эталон мебошад), ки андозаҳои якхела $S_1=S_2$ ва ҳолати сатҳи доранд, истифода мешаванд. Дар ин маврид коэффисиенти гармидиҳӣ онҳо ба $\alpha_1=\alpha_2$ баробар буда бо баробарӣ ба намуди зерин қабул карда шудааст:

$$C_{p1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2 \quad (8)$$

Аз ин баробарӣ гармиғунҷоиши хос C_p^0 , суръати хунуккунӣ $\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2$ намунаҳои озмоишӣ ва вазни онҳоро (m_1 ва m_2) истифода намуда, гармиғунҷоиши ҳисмҳоро C_p^0 бо ифодаи зерин ҳисоб менамоем:

$$C_{p2}^0 = C_{p1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2} \quad (9)$$

Муаллифон [8-9] вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши намунаҳои мис ва алюминийро бо усули мазкур муқаррар намудаанд. Натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти дар адабиёт мавҷудбуда мувофиқат намуда истифодаи ин усулро асоснок мекунад [1].

Дар ҷадвали 1 дақиқтарин функцияҳои термодинамикии алюминийи дар диапазони ҳарорат аз 300 K то 800 K , мувофиқи [8-9] нишон дода шудааст. Дар ҷадвали мазкур барои муқоиса маълумотҳои таҷрибавӣ гармиғунҷоиши бадастовардаи дигар муаллифон, нишон дода шудааст.

Қимати миёнаи гармиғунҷоиши хоси алюминийи А5N, ки муаллифон [5] бо усули калориметрӣ чен кардаанд (дар ҳудуди $303\text{--}371\text{ K}$) $826,14\text{ Ҷ}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ва ҳангоми ҳисоб кардани формулаи (9) ба $892,4\text{ Ҷ}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ баробар мешавад.

Чадвали 1 – Гармиғунҷоиши хоси (Дж)/(кг·К)) алюминийи тамғаи А5N аз тарафи муаллифони гуногун пешниҳод карда шудаанд

T, K	[5]	[6]
300	854.62	985
400	949.48	1020
500	1044.58	1085
600	1132.48	1140
700	1205.74	-
800	1256.92	-

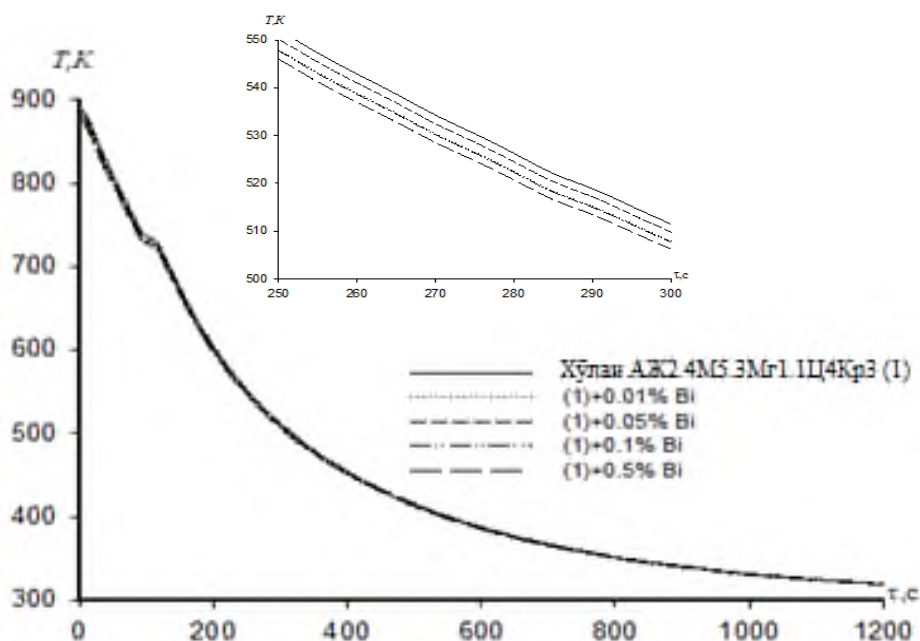
Муқаррар карда шудааст, ки баробари баланд шудани дараҷаи тозагии алюминий қобилияти гармиғунҷоиши хоси он зиёд мешавад. Масалан, гармиғунҷоиши хоси алюминий бо дараҷаи тозагии махсус ба 1256,92 Ҷ/(кг К) баробар аст. Дар чадвали 2 арзёбии муқоисавии қиматҳои термодинамикии алюминийи тамғаи А5N бо қиматҳои алюминийи тоза оварда шудааст [2-6]. Читавре маълум аст ҳангоми кам шудани миқдори ғаши энергияи Гиббс, энтропия ва энталпия кам мешавад.

Таблица 2 - Қиматҳои муқоисавии функсияҳои термодинамикӣ барои алюминийи тамғаи А5N ва алюминийи тоза

T, K	[H ^(T) -H ⁽⁰⁾], Ҷ/моль		ΔS(T), Ҷ/моль		ΔG(T), Ҷ/моль	
	Al [82]	Al тамғаи А5N	Al [83]	Al тамғаи А5N	Al [82]	Al тамғаи А5N
300	4.610	6.098	28.501	103.81	13.134	-23.20
400	7.117	8.397	35.703	110.77	17.911	-31.21
500	9.738	11.089	41.547	116.74	22.072	-38.07
600	12.473	14.030	46.531	122.07	25.743	-43.28
700	15.340	17.190	50.948	126.91	29.033	-46.32
800	18.365	20.520	54.984	131.31	32.028	-46.71

Барои тадқиқи гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут то 0,5 %-и вазн ҷавҳаронидашуда, намунаҳо дар оташдони тамғаи СШОЛ гирифта шудааст. Миқдори висмут дар таркиби хӯлаҳо бо истифода аз микроанализатор бо микроскопи электрони Корейи Чанубӣ, силсилаи AIS-2100 назорат карда шудааст. Намунаҳои тадқиқотӣ дар шакли цилиндр бо баландии 30 мм ва қутри 16 мм пешниҳод карда шуданд.

Қаҷхаттаҳои хунуккунии намунаҳои хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ҷавҳаронидашуда вобаста аз вақт, ки бо таври таҷрибавӣ бадаст оварда шудаанд, дар чадвали 3 нишон дода шудааст.



Расми 2 – Қаҷхаттаи хунукишавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ва эталон (Си марки М00).

$$T = T_0 + \frac{1}{2}[(T_1 - T_0)e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0)e^{-\tau/\tau_2}]. \quad (10)$$

Суръати хунукшавии намуна бо муодилаи 11 ҳисбо карда шудааст. Дар ҷадвали 3 барои ҳулаҳо қимати коэффитсентҳо $\Delta T_{01}, \tau_1, \Delta T_{02}, \tau_2$ -и муодилаи 11 нишон дода шудааст.

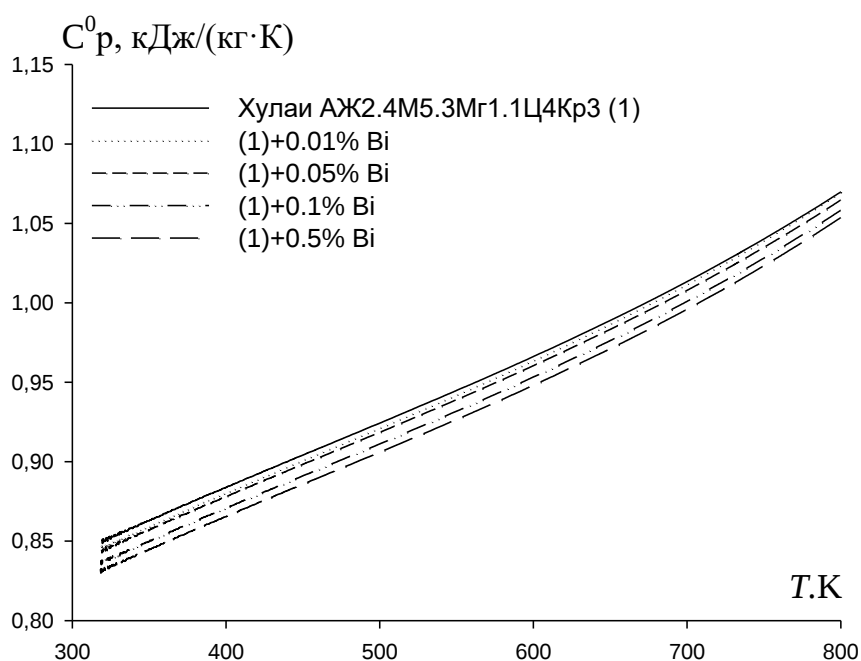
$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[-\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right)e^{-\tau/\tau_1} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right)e^{-\tau/\tau_2} \right]. \quad (11)$$

Ҷадвали 3 – қимати коэффитсентҳо $\Delta T_{01}, \tau_1, \Delta T_{02}, \tau_2$ -и муодилаи 11 барои ҳулаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ҷавҳаронидашуда

Содержание висмута в сплаве, мас. %	$\Delta T_{01}, K$	τ_1, C	$\Delta T_{02}, K$	τ_2, C	$\Delta T_{01}/\tau, K/c$	$\Delta T_{02}/\tau, K/c$	$\Delta T_0, K$
0.00	309,37	280,71	283,21	280,68	1,10	1,01	315,40
0.01	308,127	280,70	282,08	280,68	1,10	1,01	315,23
0.05	307,21	280,71	281,22	280,68	1,09	1,00	315,10
0.1	307,06	280,71	281,08	280,68	1,09	1,00	315,08
0.5	305,18	280,71	279,37	280,68	1,0872	0,99	314,83

Бо истифода аз барномаи Sigma Plot натиҷаҳои тадқиқоти суръати хунукшавии намунаҳои озмоишӣ аз ҳулаи алюминий ва эталонро коркард карда гармиғунҷоиши ҳулаи мазкурро бо муодилаи 9 ҳисоб намудем.

Гармиғунҷоиши хоси ҳулаи алюминийи навъи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ҷавҳаронидашуда дар расми 3 оварда шудааст.



Расми 3 – Гармиғунҷоиши хоси ҳулаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ҷавҳаронидашуда вобаста аз ҳарорат

Инчунин барномаи Sigma Plot ва муодилаи 9 – ро истифода намуда барои муодилаи 12 коэффисиентҳои зерин ба даст оварда шудаанд, ки гармиғунҷоиши хоси ҳулаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут ҷавҳаронидашуда вобаста аз ҳарорат, ҳисоб карда шуд. Қимати коэффисиентҳо барои муодилаи 12 дар ҷадвали 4 нишон дода шудааст.

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3; \quad (12)$$

Қадвали 4 – Қимати коэффитсентҳо a , b , c , d – и муодилаи 12 барои эталон ва ҳулаи алюминийи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, бо висмут чавҳаронидашуда

Микдори висмут дар таркиби ҳула %-и масса	a	$b \cdot 10^{-4}$	$c \cdot 10^{-7}$	$d \cdot 10^{-10}$	Коэффитсиенти коррелятсия R
0.00	0.6605	8.10	-8.85	6.40	1.00
0.01	0.654	8.26	-9.16	6.66	1.00
0.05	0.6543	8.13	-8.95	6.49	1.00
0.1	0.6466	8.18	-9.07	6.60	1.00
0.5	0.6411	8.21	-9.17	6.69	1.00

Ҳангоми ҳисоб намудани тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс вобаста аз ҳарорат бо муодилаҳои (1), интегралҳо аз гармиғунҷоиши хос бо муодилаи (2) истифода карда шуданд.

Натиҷаҳои ҳисоби тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс вобаста аз ҳарорат, барои ҳулаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут чавҳаронидашуда, нисбат ба эталони миссин (Cu тамғаи М00) баъди ҳар як 100К дар қадвали 5 оварда шудааст.

Қадвали 5 – Тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ вобаста аз ҳарорат барои ҳулаи алюминийи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут чавҳаронидашуда

Ҳарорат, К	Ҳулаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3	+0.01% Bi	+0.05% Bi	+0.1% Bi	+0.5% Bi
$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг барои ҳулаҳо}$					
300	1,555317	1,548301	1,544297	1,531377	1,521653
400	87,84032	87,47472	87,23034	86,52254	85,98386
500	178,2493	177,5632	177,034	175,6387	174,5647
600	272,7403	271,7801	270,9177	268,8479	267,2365
700	371,6553	370,491	369,233	366,514	364,373
800	475,7203	474,4614	472,721	469,3972	466,7492
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)], \text{кҶ/(кг} \cdot \text{К) барои ҳулаҳо}$					
300	0,0052	0,005177	0,005164	0,00512	0,005088
400	0,253133	0,252075	0,251373	0,249331	0,247777
500	0,454707	0,452933	0,451597	0,44802	0,445272
600	0,626869	0,624593	0,622652	0,617844	0,614117
700	0,779254	0,776662	0,774112	0,768303	0,763759
800	0,91813	0,915409	0,912217	0,9056	0,900378
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг барои ҳулаҳо}$					
300	-0.0042	-0,00479	-0,00478	-0,00474	-0,00471
400	-6.278	-13,3553	-13,319	-13,2097	-13,1269
500	-22.72	-48,9032	-48,7647	-48,3714	-48,0714
600	-47.56	-102,976	-102,673	-101,859	-101,233
700	-79.58	-173,172	-172,645	-171,298	-170,258
800	-117.95	-257,866	-257,052	-255,082	-253,553

Рецензент: Сафаров А.Т. – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник ФНПМ имени С.У. Умарова НАЭНП.

Адабиётҳо

1. Иброхимов, Н.Ф. Физикохимия сплава АМг2 с редкоземельными металлами [Текст] / Н.Ф. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Х.О. Одинаев. – Душанбе, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, 2016. – 153 с.

2. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. –М.: Энергия, 1973. – 144 с. Малый патент № ТЈ 510 Республика Таджикистан. Установка для измерения теплоемкости твердых тел / З. Низомов, Б. Гулов, Р. Саидов, З.Р.Обидов, Ф. Мирзоев, З. Авезов, Н.Ф. Иброхимов. Приоритет изобретения от 03.10.2011.
3. Измерение удельной теплоемкости твердых тел методом охлаждения / З. Низомов, Б. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Авезов // Вестник Таджикского национального университета. –2010. –Вып.3(59). –С.136-141.
4. Гулов, Б.Н. Исследование температурной зависимости термодинамических свойств сплава АК1+2% Cu / Б.Н. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Низомов // Вестник Таджикского технического университета. –2011. –Вып.3. –С.123-130.
5. Маджидов, Х. Теплоёмкость особо чистого алюминия в зависимости от температуры / Х. Маджидов, Б. Аминов, М. Сафаров [и др.] // Доклады АН ТаджССР. 1990. –Т.33. –№6. –С.380-383.
6. Низомов, З. Исследование температурной зависимости удельной теплоёмкости алюминия марок ОСЧ и А7 / З. Низомов, Б. Гулов, И.Н. Ганиев [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2011. –Т.54. –№1. –С.53-59.
7. Дасоян, М.А. Химические источники тока // М.А. Дасоян. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. –231 с.
8. Раджабалиев, С.С. Теплофизические свойства алюминия марки А7 и сплава Al + 2,18% Fe / С.С. Раджабалиев, И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов // Международная научно-практическая конференция «Новая наука: от идеи к результату». –Сургут, Российская Федерация, 2016.
9. Раджабалиев, С.С. Теплофизические и термодинамические функции алюминия, железа и сплава Al+2,18% Fe / С.С. Раджабалиев, И.Н.Ганиев, И.Т. Амонов, Н.Ф. Иброхимов // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в Республике Таджикистан», посвященной Дню химика и 80-летию со дня рождения д.т.н., проф., академика Международной инженерной академии А.В. Вахобова. – Душанбе, 2016. –С.88-91.
10. Теплофизические свойства и термодинамические функции сплава АМг4, легированного лантаном // Иброхимов С.Ж., Эшов Б.Б., Ганиев И.Н., Кобулиев З.В., Иброхимов Н.Ф. Доклады академии наук республики таджикистан. 2015. Т. 58. № 11. С. 1029-1036.
11. Сравнение температурной зависимости теплоемкости и коэффициента теплоотдачи алюминия марки А7 различной чистоты / Гулов Б.Н., Мирзоев Ф.М., Иброхимов Н.Ф., Саидов Р.Х., Низомов З. Вестник Таджикского технического университета. 2011. № 1. С. 8-11.

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

TJ	RU	EN
Давлатов Ориф Шералиевич	Давлатов Ориф Шералиевич	Davlatov Orif Sheralievich
Муаллими калон	ст. преподаватель	Senior Lecturer
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: davlatov_orif@mail.ru		
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
Одиназода Хайдар Одина	Одиназода Хайдар Одина	Odinazoda Haidar Odina
Узви вобастаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, д.и.т., профессор	член-корр. Национальной академии наук Таджикистан, д.т.н., профессор	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: odhaidar@mail.ru		
TJ	RU	EN
Рачабалиев Сафомудин Сайдалиевич	Раджабалиев Сафомудин Сайдалиевич	Rajabaliyev Safomudin Saidaliyevich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: safomudinradjabaliyev@gmail.com		

ТЕХНОЛОГИИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК 662.74

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ УГЛЕЙ ФОН-ЯГНОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

¹З.Х. Гайбуллаева, ²Т.Х. Гадоев, ¹Б.И. Асроров, ¹Г.Г. Шодиев, ²Ф.М. Рахимов

¹Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими

²ОАО АЗОТ

В статье приведены результаты термогравиметрического анализа угля Фон-Ягнобского месторождения (Таджикистан) для выделения летучих веществ его состава. Выделение летучих веществ оценено по уменьшению массы исследуемой пробы при её нагревании до температуры 900°C. Основная масса летучих веществ выделяется из состава угля при температурах до 400-440°C.

Ключевые слова: уголь, состав, многокомпонентный, термическая обработка, летучие вещества, термогравиметрический анализ.

ҶУДО НАМУДАНИ МОДДАҲОИ САБУКИ АНГИШТИ ФОН- ЯҒНОБ БО УСУЛИ ТАДҚИҚОТИ ТЕРМОГРАВИМЕТРӢ

З.Х. Гайбуллоева, Т.Х. Гадоев, Б.И. Асроров, Г.Г. Шодиев, Ф.М. Раҳимов

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти термогравиметрии ҷудо намудани моддаҳои сабуки ангишти Фон-Ягноб (Тоҷикистон) оварда шудаанд. Ҷудошавии моддаҳои сабук вабаста аз камшавии массаи намунаи тадқиқшаванда дар ҳолати то 900°C гарм намудани ангишт баҳодиҳӣ шудааст. Миқдори асосии моддаҳои сабук аз таркиби ангишт дар ҳароратҳои то 400-440°C ҷудо мешавад.

Калимаҳои калидӣ: ангишт, таркиб, бисёрӯзӯва, гармкунии ҳароратӣ, моддаҳои сабук, таҳлили термогравиметрӣ.

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF VOLATILE MATTER RELEASE FROM THE FON-YAGHNOB COAL DEPOSIT

Z.H. Gaibullaeva, T.H. Gadoev, B.I. Asrorov, G.G. Shodiev, F.M. Rakhimov

The article presents the results of thermogravimetric analysis of coal from the Fon-Yaghnob deposit (Tajikistan) for the isolation of volatile substances of its composition. The emission of volatile substances was estimated by reducing the mass of the sample under study when it was heated to a temperature of 900°C. The bulk of volatile substances are separated from the composition of coal at temperatures up to 400-440°C.

Keywords: coal, composition, multicomponent, thermal treatment, volatile substances, thermogravimetric analysis.

Введение

Уголь является важным природным ресурсом благодаря своей многокомпонентности и энергетической ценности. Его ресурсы и разведанные запасы как по миру, так и в Таджикистане многократно превышают ресурсы и запасы других энергоносителей [1-2]. Таджикистан располагает свыше 4,5 млрд. т потенциальных угольных ресурсов, из которых 320,3 млн. т оценены как запасы для промышленного использования. В связи с этим в стране уголь остается в числе наиболее востребованных энергоресурсов, и имея такие запасы, страна удовлетворяет свои потребности в развитии энергетики и промышленности использованием существующего потенциала. Объем производства энергоносителей и их получение является важным процессом развития промышленных производств и в целом в развитии экономики [2-3]. В последние годы наблюдается усиление климатической повестки и в связи с этим проводится множество научных исследований над экологизацией применения угля [3-4].

Постановка задачи

Основная доля промышленной добычи угля в Таджикистане приходится на месторождение Фон-Ягноб [5], средняя теплотворность угля данного месторождения варьируется в пределах 7936-8463 ккал/кг.

Уголь в качестве энергоносителя широко применяется в отраслях экономики, в том числе:

- в энергетике для генерации электричества;
- в металлургии в производствах железа и стали;
- в химической промышленности как сырьё для производства химических веществ, включая пластмассы, резину и искусственные волокна;
- в строительной промышленности в качестве энергоносителя для производства таких строительных материалов как цемент, кирпич, асфальт, битум и др.;

- из угля получают сорбенты для очистки воздуха, воды, удаления тяжелых металлов, органических соединений, дымовых газов.

Исследование состава и свойств угля при разработке экологически чистой технологии комплексного использования углей играет важную роль. Атомы таких химических элементов как углерод (C), водород (H₂), кислород (O₂), азот (N₂), сера (S) составляют органическую часть угля. Приведенные атомы образуют ароматические, гидроароматические, гетероциклические и алифатические фрагменты, содержащие группы CH, CH₂, CH₃, -OH, -COOH, -NH₂, SH, C=O [5-6]. Металлы натрия (Na), кальций (Ca), магний (Mg), алюминий (Al), кремний (Si) и неметаллический фосфор (P) в виде химических соединений оксидов и солей сульфидов, карбонатов, фосфатов, хлоридов и др. составляют неорганическую фракцию угля [6-7].

Термическая деструкция угля в основном зависит от атомов кислорода состава угля, и они влияют на получение летучих и жидких химических соединений. Такие органические соединения состава угля, как гетероциклические кольца, альдегидные и кислотные группы с участием кислорода для выделения, требуют высокую температуру нагрева. Необходимыми для изучения процесса деструкции являются радикальные мостиковые связи «углерод-кислород», которые заменяется связью «углерод-углерод» в процессе протекания газификации угля. Данное превращение приводит к уменьшению концентрации кислорода в угле.

На рис. 1 приведен фрагмент структурной формулы угля (на примере месторождения Фон Ягноб), в состав летучих веществ которого входят молекулярный водород, азот, кислород, окись углерода, углеводородные газы как: CH₄, C₂H₄ и др. Представленная структура свидетельствует о связи атомов углерода с органическими ароматическими соединениями. Атомы элементов кислорода и серы находятся в боковых цепях в виде соединений кислот и битумов.

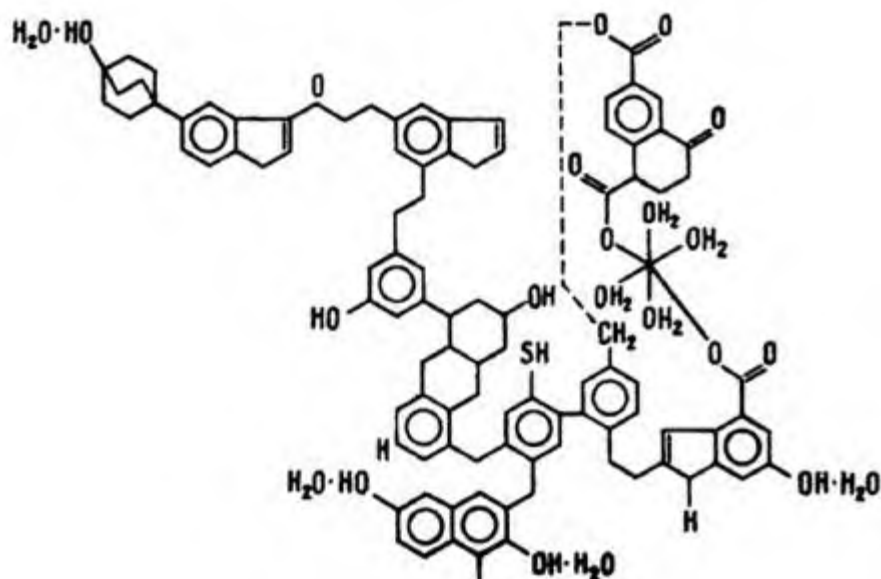


Рисунок 1- Фрагмент из структурной формулы угля с месторождения Фон-Ягноб

Необходимо отметить, что летучие вещества, выделяемые из состава угля в виде соединений сернистого газа, аммиака, серного водорода, синильной кислоты, сульфида углерода относятся к ядовитым веществам и связаны присутствием в углях неуглеродных атомов. С увеличением массовой доли элемента в угле (табл.1) увеличивается количество летучих веществ, которые приводят к загрязнению окружающей нас атмосферы.

Таблица 1- Содержание основных компонентов в составе угля

Образцы из пластов угля месторождения Фон-Ягноб	%, масс		
	O	N	S
16 ^a	15	0.5	0.2
15 ^a	17	1,2	1,5
14 ^a	28	0.8	0.9
12 ^c	10	1.2	2.0
12	16	0.7	1.4
11	30	1.0	1.9

Значения термической устойчивости химических соединений свидетельствуют о количестве выхода летучих веществ и их температуры выделения (табл.2).

Таблица 2 - Характеристика высокой реакционной способности углей

Образец	Выход летучих веществ, % об.	Температура начала выхода летучих веществ, °С
Уголь месторождения Фон - Ягноб	30-60	90-450

Материалы и методы

Химические реакции, протекающие в результате нагрева угля, представляют сложный химический процесс, называемый термической деструкцией. При разработке технологии углепользования, протекающей в устройствах использования угля, актуальной задачей является комплексное использование всех его компонентов состава.

На основе экспериментальных данных изучена скорость реагирования химических реакций превращения компонентов состава угля. Для проведения экспериментальных исследований использован термогравиметрический метод анализа (ТГА), который является наиболее распространённым в подобных исследованиях [7-8].

Целью проведения термогравиметрического исследования выделения летучих веществ состава угля является определение механизма термохимического превращения углей месторождения Фон-Ягноб и определение выхода летучих веществ при его термообработке. Термогравиметрический анализ фиксирует изменение массы пробы образца в процессе термической её деструкции. Прибор ТГА позволяет с высокой точностью контролировать изменение массы и температуру навески пробы образца. Кинетика процесса разложения угля изучается на основе полученных данных ТГА анализа. В качестве критериев используют показатели максимальной температуры и скорость нагрева [7].

В качестве объектов исследования использовались пробы угля месторождения Фон-Ягноб, на которых изучали выход летучих веществ его состава. В работе [5] такие исследования проведены на пробах углей месторождения Зидди Республики Таджикистан. В наших исследованиях выход газов определяли в среде аргонового газа и смеси кислорода и азота. Характеристика исследуемых проб угля представлена в таблице 3. Эксперименты проводились в термогравиметрическом анализаторе labsys Evo (рис.3) при неизотермических условиях нагрева со скоростью 5 и 10 0С/сек. Масса исходных образцов составляла 10 мг, средний диаметр частиц 150 мкм.



Рисунок 2 – Проба угля



Рисунок 3 – Термогравиметрический анализатор Labsys Evo

Таблица 3 - Характеристика исследуемой пробы угля

Проба угля	Зольность, A, %	Влажность, W, %	Выход летучих веществ, V, %
Уголь месторождения Фон- Ягноб	5.3	4.0	0,98

Результаты и обсуждения

На рис. 4 приведены исходные кривые превращения пробы угля в среде аргонного газа и на рис. 5 кривые превращения пробы образца в смеси газов кислорода и азота со скоростью нагрева навески в 5 и 10⁰ C.

Результаты кривых нагрева пробы образца углей в среде инертного аргонного газа показывают продолжительность выхода летучих веществ. Убыль массы пробы в представленной инертной среде составляет 30-33% при достижении температуры нагрева 900⁰C.

Результаты термогравиметрического анализа в среде смеси кислорода и азота свидетельствуют об образовании остаточного зольного образования при нагреве пробы образца. Результаты анализа показывают не изменяемость массы пробы образца после нагрева температурой 600⁰ C.

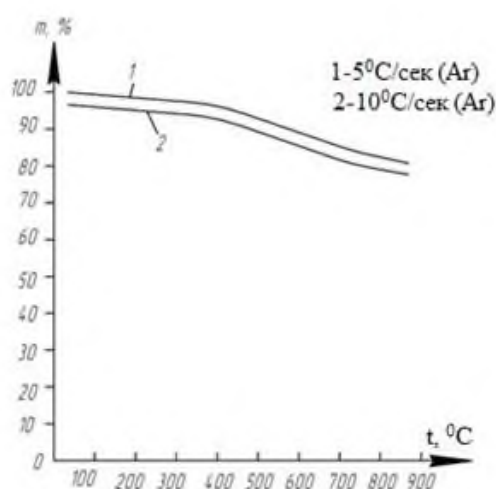


Рисунок 4 – График зависимости убыли массы от температуры в среде аргонного газа со скоростью нагрева навески 5 и 10⁰ C

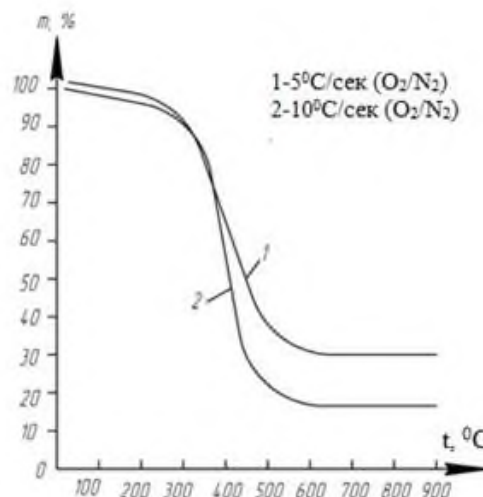


Рисунок 5 – График зависимости убыли массы от температуры в среде смеси газов кислорода и азота со скоростью нагрева навески 5 и 10⁰ C

Однако расхождение остаточной массы двух образцов составило не более 6%. Образование расхождений остаточной массы прежде всего связано с неоднородностью использования проб образцов углей исследования.

Процесс медленного нагрева пробы образца углей в термогравиметрическом анализаторе приводит к меньшему выходу летучих веществ по отношению к быстрому нагреву в муфельной печи в соответствии с методикой проведения технического анализа [8].

На рис. 6 и 7 приведены зависимости скорости убыли массы исследуемых образцов в среде аргонного газа и смеси кислорода и азота.

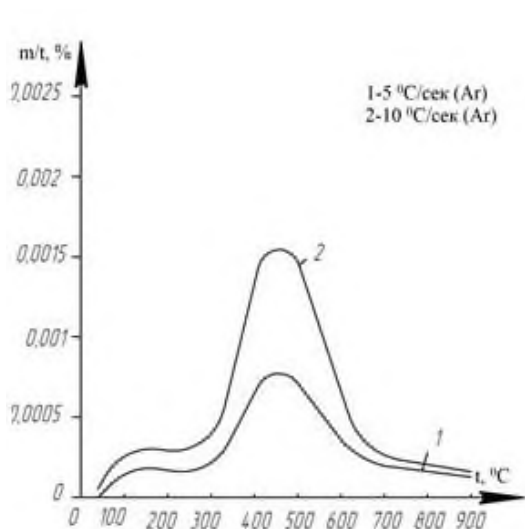


Рисунок 6 – График зависимости термодеструкции пробы образца от температуры при разных скоростях нагрева в среде аргонного газа

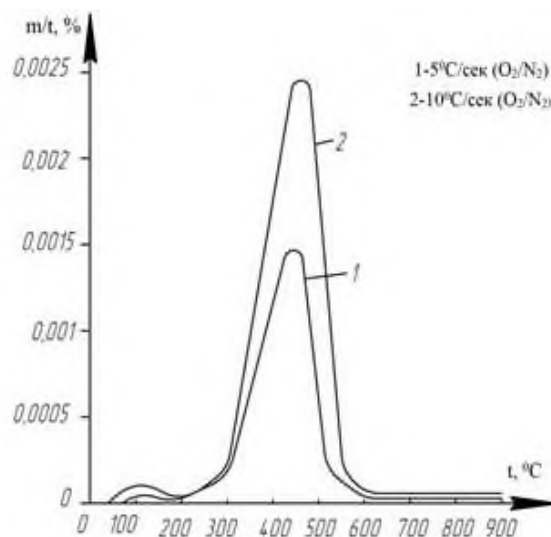


Рисунок 7 – График зависимости термодеструкции пробы образца от температуры при разных скоростях нагрева в среде смеси газов кислорода и азота

Результаты анализов показывают образование пиков, соответствующих кривой 1 выходу влаги и кривой 2 выходу летучих веществ.

Как видно из рис.7, окислительная среда влияет не только на убыль массы за счет выхода летучих веществ, но и добавляет убыль массы за счет процесс выгорания коксового остатка.

Сопоставление характера выхода летучих веществ в различной атмосфере нагрева показывает, что в окислительной среде выход летучих веществ начинается при более низких температурах, чем в инертной среде.

Пик убыли массы приходится на температуру 400-440°C. Количество потери массы пробы образца в среде кислорода больше по отношению к среде аргонного газа, что объясняется химической реакцией окисления. Различие полученных результатов заметно, особенно при низких скоростях нагрева. Увеличение скорости нагрева на 10°C/с на всех стадиях разложения повышает значения температуры $T_{\max}$ (общие изменения $\Delta T_{\max}$ – от 83 до 153°C для аргонной среды и от 69- до 139°C для среды кислорода) и скорости $v_{\max}$ деструкции, соответствующие максимумам основного разложения дифференциальных кривых ТГА.

Увеличение скорости процесса нагрева в проведенном исследовании с пробами образцов показывает протекание термолиза веществ состава угля. Данная характеристика способствует интенсивному выходу летучих веществ.

Однако используемый для исследования термогравиметрический анализ при использовании аргонной среды для навесок показывает продолжительность выхода летучих веществ состава пробы образца с меньшей скоростью на протяжении всего процесса нагрева. В отличие от аргонной среды в окислительной среде выгорание проб образцов завершается при температуре 600°C.

Заключение

Термогравиметрический метод изучения выхода летучих веществ состава угля оценен по уменьшению массы исследуемой пробы образца. Для углей месторождения Фон-Ягноб нагревание проводили в температурном интервале от 0 до 900°C. Химические процессы разложения компонентов массы угля при нагревании в принятом температурном интервале позволяют понять общие закономерности и специфику химических соединений. Определен температурный предел основной массы выделения летучих веществ, который показал их выделение при температурах до 400-440°C. Данные исследования используют для определения кинетики процесса.

Определение модели термохимического превращения углей месторождения Фон-Ягноб посредством термогравиметрического анализа способствует определению количества и температурного интервала выхода летучих веществ состава угля. В дальнейшем данная модель может использоваться в устройствах углепользования, а выделенные летучие вещества использованы как продукты по назначению.

Рецензент: Пулатов Э.Х. — д.х.н., зав. лаборатории "Органический синтез" Института химии имени В.И. Никитина НАНТД

Литература

1. Иванов А.С., Матвеев И.Е. Российский внешнеэкономический вестник. №11. 2010. С. 11-28.
2. Таджикский статистический ежегодник 2024: Стат. Сб. Таджстат. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stat.tj/ru/analiticheskie-tablicy> (Дата обращения 12.03.2025 г).
3. Новак А. Угольная промышленность XXI века: закат или ренессанс // Энергетическая промышленность. 2022. №10. С. 25-35.

4. Кирсанов А.К., Шкаруба Н.А., Курчин Г.С., Майоров Е.С., Тешаев У.Р. Обзор угольной промышленности Республики Таджикистан // Уголь. 2023. №8. С.107-112.

5. Исабоев М.Д., Пулатов Э.Х., Абдуллаев Т.Х., Турдалиев М.З., Давлатназарова М., Мингбоев Ш.А. Кинетика термического разложения высокомолекулярных соединений, входящих в состав угля / Известия АН РТ, отд. физико-математических, химических геологических и технических наук, №3,(152), 2013. С.52-58.

6. Аллеханович А.Н. Влияние минеральной части на показатели и характеристики энергетических углей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.chipk.ru/data/conf4/k07pokazateli.pdf> (дата обращения: 10.03.2025).

7. Звягинцев Е.В., Скрипченко Г.Б. Оценка реакционной способности углеродных материалов на основе термогравиметрических данных // Химия твердого топлива. 2000. №5. С. 67-78.

8. Mureddu, M. Air- and oxygen-blown characterization of coal and biomass by thermogravimetric analysis // Fuel. 2018. V.212. P. 626-637. DOI: doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.005

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ОИДИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Гайбуллоева Зумрат Ҳабибовна д.и.т., профессор	Гайбуллаева Зумрат Ҳабибовна д.т.н., профессор	Gaibullaeva Zumrat Habibovna Doctor of technical science, professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after M.S.Osimy
E-mail: zumrathabib@rambler.ru		
TJ	RU	EN
Гадоев Тоҷиддин Ҳусниддинович	Гадоев Тоджиддин Хусниддинович	Gadoev Tojiddin Husniddinovich
Директори техникии ҚСҚ АЗОТ	Технический директор ОАО АЗОТ	Technical director ОАО AZOT
E-mail: gadoev.80@mail.ru		
TJ	RU	EN
Асроров Баҳодур Илхомович Унвонҷӯӣ	Асроров Баҳодур Илхомович Соискатель	Asrorov Bahodur Ilhomovich Applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Tajik Technical University named after M.S.Osimy
E-mail: bahodur177@inbox.ru		
TJ	RU	EN
Шодиев Ғолибдҷон Ғаюровиҷ Муаллими калони кафедраи “Технологияи истеҳсолоти химиявӣ”	Шодиев Голибдҷон Гаюровиҷ Старший преподаватель кафедры «Технология химического производства»	Shodiev Golibjon Gaurovich Assistant professor of Department of Chemical Production Technology
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Tajik Technical University named after M.S.Osimy
E-mail: G_shodiev@mail.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимов Фаррух Махмадалиевич	Рахимов Фаррух Махмадалиевич	Rahimov Farruh Mahmadalievich
Оператори коргоҳи синтези аммиак	Оператор цеха синтеза аммиака	ammonia synthesis plant operator
ҚСҚ АЗОТ	ОАО АЗОТ	ОАО AZOT
E-mail: rahimov_farruh@mail.ru		

УДК 546.712+546.714

ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ В ГОМОГЕННОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ $Mn(II)$ - $Mn(IV)$ - CH_3COOH - C_2H_5OH

Э.Ф. Файзуллозода¹, Дж.А. Давлатшоева¹, М. Рахимова¹, Г.Б. Бобоназарзода², Ф. Мираминзода²¹Таджикский национальный университет²Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета

В гомогенной окислительно-восстановительной системе $Mn(II)$ – $Mn(IV)$ – CH_3COO – C_2H_5OH при температуре 298,15 К и ионной силе раствора 1,0 моль/л изучено ступенчатое комплексообразование $Mn(II)$ и $Mn(IV)$ с ацетат-ионами в широком интервале pH от 2,2 до 10,2. Соли $Mn(IV)$ не растворяются в воде, поэтому все эксперименты проведены в спиртовом растворе. Установлено, что в системе последовательно формируются координационные соединения следующего состава: $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$; $[Mn^{IV}AcOH(C_2H_5OH)_4]^{2+}$; $[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$; $[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^{+}$; $[Mn^{II}(Ac)(OH)(C_2H_5OH)_2]^0$ и $[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$, два из них являются чисто ацетатными (во внутренней сфере комплекса находятся в качестве лиганда только ацетатные ионы), четыре – гидроксиацетатными, два из которых – гетеровалентные. Составлены химические модели реакций образования всех формирующихся комплексов.

Ключевые слова: марганец(II), марганец(IV), уксусная кислота, комплексные соединения, концентрационные параметры, гетеровалентный, ЭДС, наклоны, экспериментальные кривые.

ОМУЗИШИ РАВАНДҲОИ КОМПЛЕКСҲОСИЛШАВИ ДАР СИСТЕМАИ ГОМОГИНИ ОКСИДУ БАҶҚАРОРШАВИИ $Mn(II)$ - $Mn(IV)$ - CH_3COOH - C_2H_5OH

Э.Ф. Файзуллозода¹, Дж.А.Давлатшоева¹, М. Рахимова¹, Г.Б. Бобоназарзода², Ф. Мираминзода²

Дар системаи гомогении оксиду баҷқароршавии $Mn(II)$ – $Mn(IV)$ – CH_3COOH – C_2H_5OH дар ҳарорати 298,15 К ва қувваи иони маҳлули 1,0 молл/л комплекташкилшавии зинагии $Mn(II)$ ва $Mn(IV)$ бо ионҳои ацетат дар ҳудуди васеи pH аз 2,2 то 10,2 омӯхта шудааст. Намакҳои $Mn(IV)$ дар об ҳал намешаванд, аз ин рӯ ҳамаи таҷрибаҳо дар маҳлули спирти гузаронида шуд. Муайян гардид, ки дар система пайвастаҳои комплекси таркиби зерин пай дар пай ҳосил мешаванд: $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$; $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_3]^{+}$; $[Mn^{IV}AcOH(C_2H_5OH)_4]^{2+}$; $[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$; $[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^{+}$ ва $[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$, ки аз инҳо ду пайвастаҳои ацетатӣ (дар сфераи дохилӣ ба сифати лиганд танҳо ионҳои ацетат ҷойгиранд), чорто – гидроксиацетатӣ, дуто – гетеровалентӣ мебошанд. Модели химиявии таомулҳои ҳосилшавии пайвастаҳо сохта шудааст.

Калидвожаҳо: манган(II), манган(IV), кислотаи ацетат, пайвастаҳои мураккаб, параметрҳои концентратсионӣ, гетеровалентӣ, ҚЭХ, моилҳо, қатъаҳои таҷрибавӣ.

THE STUDY OF COMPLEXATION PROCESSES IN HOMOGENEOUS REDOX

$Mn(II)$ - $Mn(IV)$ - CH_3COOH - C_2H_5OH SYSTEM

E.F. Fayzullozoda¹, J.A.Davlatshoeva¹, M. Rakhimova¹, G.B. Bobonazarzoda², F. Miraminzoda²

In the homogeneous $Mn(II)$ – $Mn(IV)$ – CH_3COOH – C_2H_5OH redox system at a temperature of 298.15 K and an ionic strength of 1.0 mol/l solution, the stepwise complexation of $Mn(II)$ and $Mn(IV)$ with acetate ions in a wide pH range from 2.2 to 10.2 was studied. $Mn(IV)$ salts do not dissolve in water, so all experiments were carried out in an alcoholic solution. It has been established that coordination compounds of the following composition are consistently formed in the system: $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$; $[Mn^{IV}AcOH(C_2H_5OH)_4]^{2+}$; $[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$; $[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^{+}$; $[Mn^{II}(Ac)(OH)(C_2H_5OH)_2]^0$ and $[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{+}$, two of them are purely acetate (only acetate ions are present as a ligand in the inner sphere of the complex), four – hydroxylacetate, two of which – heterovalent. Chemical models of formation reactions of all emerging complexes have been compiled.

Keywords: manganese(II), manganese(IV), acetic acid, complex compounds, concentration parameters, heterovalent, EMF, slopes, experimental curves.

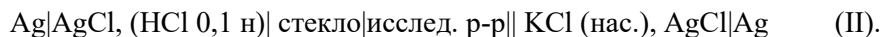
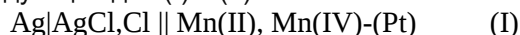
Введение

Марганец является важным микроэлементом для жизни человека, животных и растений. Он участвует во многих жизнеобеспечивающих процессах биосистем, в синтезе различных ферментов, особенно координационных соединений. Уксусная кислота сама биологически активная. Поэтому исследование процессов комплексообразования марганца в разных степенях окисления с уксусной кислотой имеет большое теоретическое и практическое значения.

В настоящей работе использован метод окислительного потенциала [1-5] Кларка-Никольского. С использованием этого метода ранее были изучены процессы моно-, полиядерного, гомо- и гетеровалентного, гетероядерного комплексообразования в системах $Fe(II)$ – $Fe(III)$; $Fe(0)$ – $Fe(II)$; $Fe(II)$ – $Fe(III)$ – $Co(II)$; $Fe(II)$ – $Fe(III)$ – $Mn(II)$ в водных растворах органических кислот, аминокислот и нейтральных лигандов [6-11].

ЭДС системы измеряли на установке, состоящей из термостата, ячейки с термометром [12], электродами стеклянной трубочки для газа (азот, аргон) для перемешивания рабочего раствора и предотвращения окисления восстановленной формы металла-комплексообразователя. Измерение ЭДС системы проводили с помощью двух гальванических элементов, состоящих из окислительно-

восстановительного, хлорсеребряного и стеклянного электродов. Для исследуемой системы $\text{Mn(II)}\text{--}\text{Mn(IV)}\text{--}\text{CH}_3\text{COOH}\text{--}\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ использовали следующие два (I) и (II) гальванических элемента:



По ЭДС цепи (I) и (II) (E , мВ) можно определить окислительный потенциал исследуемой системы:

$$\varphi_{\text{Mn(IV)/Mn(II)}} = E + \varphi_{\text{Ag/Ag,Cl}} \quad (1)$$

При соблюдении всех необходимых положений теории метода [1-4] выведено уравнение окислительного потенциала системы $\text{Mn(II)}\text{--}\text{Mn(IV)}\text{--}\text{CH}_3\text{COOH}\text{--}\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, а общая формула $[\text{M}^{\text{ox}}_q \text{M}^{\text{red}}_p (\text{H}_{b-n} \text{L}^{n-})_l (\text{OH})_k]^{q+}$ - в конкретное моно-, полиядерное, гомо-, или гетероядерное, или гетеровалентное координационные соединения. Их состав устанавливается предварительно по наклонам экспериментальных зависимостей окислительного потенциала φ (или ЭДС системы) от одного из переменных: pH , $\text{pC}_{\text{Ac(L)}}$, $\text{pC}_{\text{Mn(IV)}}$ и $\text{pC}_{\text{Mn(II)}}$ при постоянстве всех остальных. При использовании зависимостей системы от концентрационных параметров все расчеты осуществляются на основе общего уравнения ЭДС системы:

$$\begin{aligned} \text{ЭДС} = \text{ЭДС}^0 + \nu / e \lg C_{\text{Mn}^{4+}} / C_{\text{Mn}^{2+}} + \nu / e \lg \sum_{q=1}^q \sum_{p=0}^p \sum_{s=0}^s \sum_{l=0}^l \sum_{k=0}^k q p \beta_{\text{qpslk}}^{1/q} G_{\text{qpslk}}^{(q-1)/q} [\text{H}_{b-n} \text{L}^{n-}]^{1/q} h^{-k/q} [\text{Mn}^{4+}]^{q/p} \\ - \nu / e \lg \sum_{q=0}^q \sum_{p=1}^p \sum_{s=0}^s \sum_{l=0}^l \sum_{k=0}^k p q \beta_{\text{qpslk}}^{1/p} G_{\text{qpslk}}^{(p-1)/p} [\text{H}_{b-n} \text{L}^{n-}]^{1/p} h^{-k/p} [\text{Mn}^{2+}]^{p/q} \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнении (2) приняты следующие обозначения: q – количество атомов окисленной формы металла во внутренней координационной сфере комплекса; p – количество атомов восстановленной формы металла во внутренней координационной сфере комплекса; s – количество протонов лиганда; l – количество лиганда; k – количество гидроксильных групп во внутренней координационной сфере комплекса, β_{qpslk} – общая константа образования комплекса, G_{qpslk} – концентрация полиядерных форм, H – обозначение атома водорода, L – обозначение лиганда, n – ступени ионизации поликарбоновой кислоты (для одноосновной уксусной кислоты $n = 1$); e – число электронов.

Перед экспериментом необходимо подготовить и проверить электроды: хлорсеребряный и стеклянный, а также платиновый. Выполнение функций стеклянного электрода следует регулярно проверять (калибровать его). Процесс комплексообразования исследуется при постоянном значении ионной силы рабочего раствора. Её величину (I) могут создавать индифферентные электролиты (HNO_3 ; HClO_4 ; NaNO_3 и NaClO_4).

ЭДС (окислительный потенциал) гомогенной системы при постоянной температуре (T) и ионной силе раствора (I) зависит от четырех концентрационных переменных: $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+}$; $\text{pC}_{\text{Mn(IV)}} = -\lg C_{\text{Mn(IV)}}$; $\text{pC}_{\text{Mn(II)}} = -\lg C_{\text{Mn(II)}}$; $\text{pC}_{\text{Ac(L)}} = -\lg C_{\text{Ac(L)}}$. При совместном анализе экспериментальных кривых ЭДС от всех концентрационных параметров определяют составы, области существования и доминирования: формирующихся в системе координационных соединений. Экспериментальные условия должны быть таковыми:

$$1. \text{ ЭДС} - \text{pH (при } T; I; \text{pC}_{\text{Mn(IV)}}; \text{pC}_{\text{Mn(II)}}; \text{pC}_{\text{Ac(L)}} = \text{const}) \quad (3);$$

$$2. \text{ ЭДС} - \text{pC}_{\text{Mn(IV)}} \text{ (при } T; I; \text{pH}; \text{pC}_{\text{Mn(II)}}; \text{pC}_{\text{Ac(L)}} = \text{const}) \quad (4);$$

$$3. \text{ ЭДС} - \text{pC}_{\text{Mn(II)}} \text{ (при } T; I; \text{pH}; \text{pC}_{\text{Mn(IV)}}; \text{pC}_{\text{Ac(L)}} = \text{const}) \quad (5);$$

$$4. \text{ ЭДС} - \text{pC}_{\text{Ac(L)}} \text{ (при } T; I; \text{pH}; \text{pC}_{\text{Mn(IV)}}; \text{pC}_{\text{Mn(II)}} = \text{const}) \quad (6).$$

Согласно теории метода вначале по данным экспериментов получена зависимость ЭДС системы от pH раствора. Соли Mn(IV) не растворяются в воде. Поэтому для проведения всех экспериментов использовались растворы солей окисленной и восстановленной форм марганца в этиловом спирте. Рабочие растворы готовились по методике [6]. По полученным данным построен график зависимости ЭДС системы от pH раствора (рис. 1), который дает полную информацию об интервале процессов комплексообразования по шкале pH .

Как видно из приведенного рисунка, до $\text{pH } 2,2$ процесса формирования комплексных соединений нет (рис. 1, первый прямолинейный участок). Поэтому ЭДС системы не изменяется. Величина ЭДС держится на уровне 260 мВ. С дальнейшим увеличением pH среды ЭДС уменьшается.

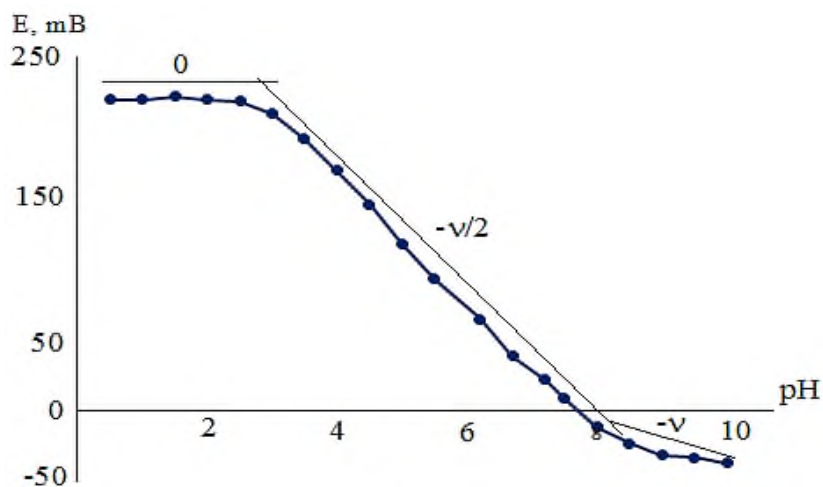


Рисунок 1 – Зависимость ЭДС (E , мВ) системы $Mn(II)-Mn(IV)-CH_3COOH-C_2H_5OH$ от pH при ионной силе раствора 1.0; $C_{Mn(II)} = C_{Mn(IV)} = 1 \cdot 10^{-4}$; $C_{HAc} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; температуре 298,15 К с указанием численных значений наклонов прямолинейных участков кривой.

Это связано (согласно уравнения Нернста) со снижением концентрации (количества) окисленной формы центрального металла комплексообразователя. Часть катиона металла окисленной формы расходуется на формирование комплекса. На этом участке наклон кривой составляет -29 мВ или - v (рис. 1, второй прямолинейный участок). После pH 5,0 до 7,0 зависимость продолжает уменьшаться, теперь наклон кривой становится равным $-2v$ (рис. 1, третий прямолинейный участок) или 58-59 мВ. В рассмотренном интервале pH образуются только комплексные соединения окисленной формы марганца. При дальнейшем росте pH наклон экспериментальной кривой увеличивается на v и становится равным $-v$, что свидетельствует об образовании в системе новой ступени комплексообразования с формированием комплексного соединения нового состава.

На процессы образования комплексов оказывают сильное влияние концентрационные параметры (рис. 2, кр. 1-3). Как видно из указанного рисунка с повышением концентрации окисленной и восстановленной форм марганца, а также уксусной кислоты кривые ЭДС от pH смещаются влево, комплексы начинают формироваться раньше. Следовательно, комплексообразующая способность базисных частиц системы возрастает, а формирование комплексов продолжается до слабощелочной среды, до pH 10. Далее начинается процесс гидролиза, и ЭДС системы резко падает.

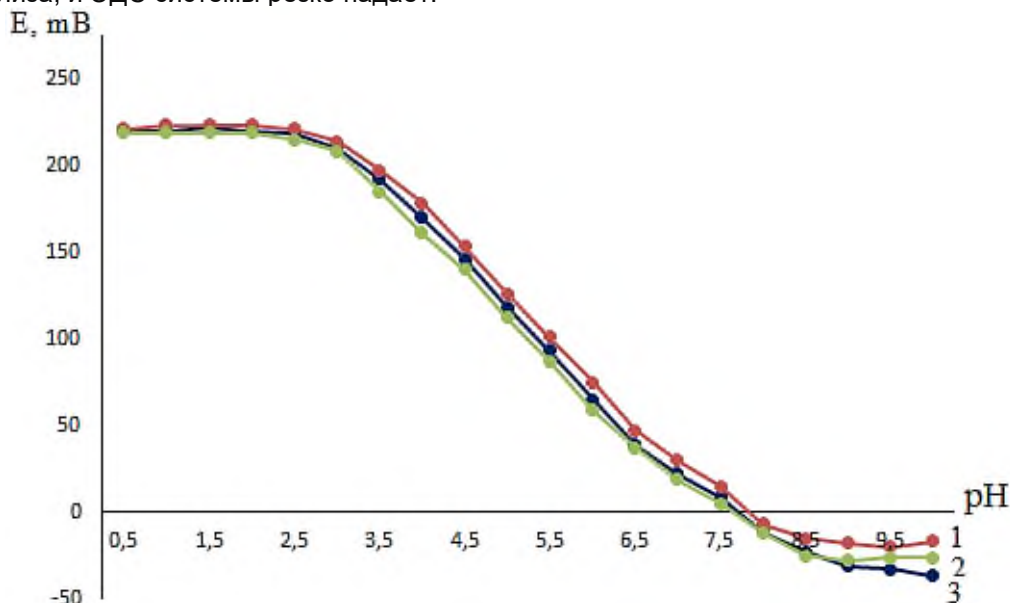


Рисунок 2 – Зависимость ЭДС (E , мВ) системы $Mn(II)-Mn(IV)-CH_3COOH-C_2H_5OH$ от pH при ионной силе раствора 1.0 моль/л; температуре 298,15 К. Кривые относятся к концентрациям, моль/л: 1 – $C_{Mn(II)} = C_{Mn(IV)} = 1 \cdot 10^{-4}$ и $C_{HAc} = 1 \cdot 10^{-2}$; 2 – $C_{Mn(II)} = C_{Mn(IV)} = 1 \cdot 10^{-3}$ и $C_{HAc} = 1 \cdot 10^{-2}$; 3 – $C_{Mn(II)} = C_{Mn(IV)} = 1 \cdot 10^{-3}$ и $C_{HAc} = 1 \cdot 10^{-1}$.

Из полученных экспериментальных кривых зависимости ЭДС от pH видно, что процесс образования комплексов начинается после pH 2,2 и протекает вплоть до pH 10,0.

Согласно теории метода окислительного потенциала [14-16] ядерность комплексов марганца(II) и марганца(IV) устанавливается по наклонам экспериментальных кривых ЭДС от концентраций окисленной и восстановленной формы металла-комплексобразователя (рис. 3 и 4), соответственно. Из зависимости E-pC₀ следует, что она состоит из прямолинейных участков с тангенсами угла наклона $\nu\nu(-29 \text{ mV})$, что согласно теории метода соответствует образованию в системе мооядерных комплексных соединений Mn(IV). Частное производное общего уравнения ЭДС по концентрации Mn(IV) имеет следующий вид:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial pC_{Mn(IV)}} \right)_{pCr, pH, pC_{Ac}} = -\frac{\vartheta}{nq} = 29 \text{ mV} \quad (7)$$

только при $g = 1$

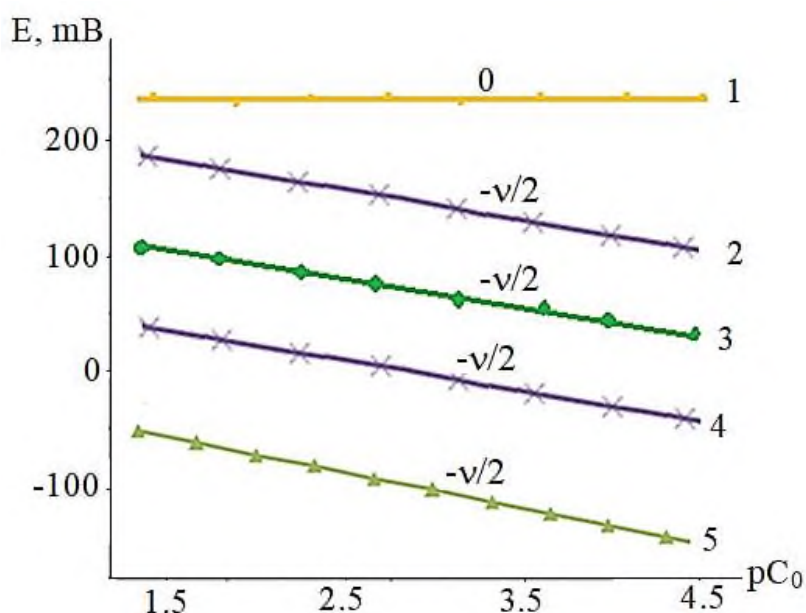


Рисунок 3 – Зависимость ЭДС (E, mV) системы Mn(II)–Mn(IV)–CH₃COOH–C₂H₅OH от pC_{Mn(IV)} при ионной силе раствора 1,0; C_{Mn(II)} = 1·10⁻⁴ и C_{HAc} = 1·10⁻³ моль/л; температуре 298,15 К. Кривые относятся к pH: 1 – 2,0; 2 – 3,5; 3 – 5,5; 4 – 7,0; 5 – 9,5.

По наклонам экспериментальных точек зависимостей E-pC_{Mn(II)} при различных значениях pH необходимо определить количество атомов восстановленной формы металла во внутренней координационной сфере образованных комплексов (рис. 4). На всех кривых во всем изученном интервале pH можно провести один линейный участок с наклоном $\nu/2$ (29 mV). Частное производное общего уравнения ЭДС по концентрации Mn(II) имеет следующий вид:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial pC_{Mn(II)}} \right)_{pC_o, pH, pC_{Ac}} = \frac{\vartheta}{np} = 29 \text{ mV} \quad (8)$$

только при $p = 1$

Полученная производная отвечает формированию мооядерных комплексов марганца(II), так как базисная частица $p = 1$.

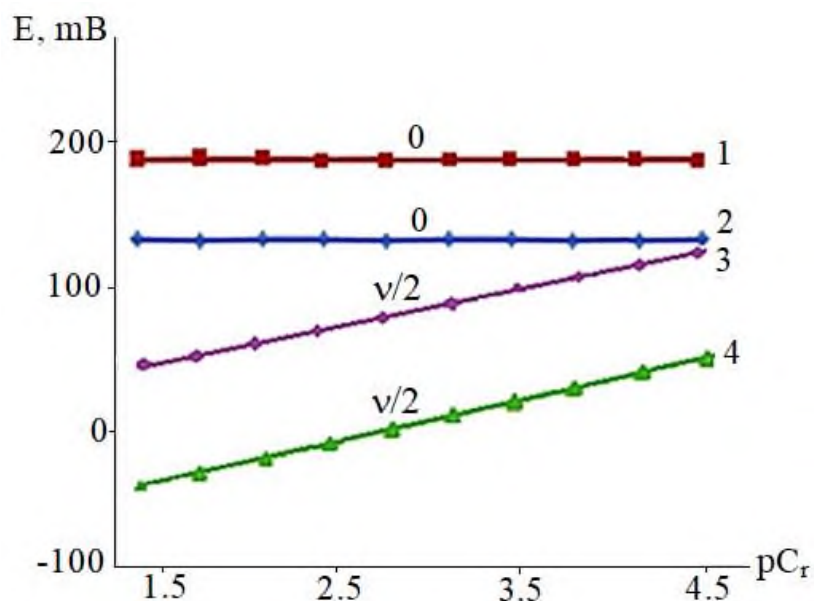


Рисунок 4 – Зависимость ЭДС (E , мВ) системы $\text{Mn(II)}-\text{Mn(IV)}-\text{CH}_3\text{COOH}-\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ от $pC_{\text{Mn(II)}}$ при ионной силе раствора 1,0; $C_{\text{Mn(IV)}}=1 \cdot 10^{-4}$ и $C_{\text{HAc}}=1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, температуре 298,15 К. Кривые относятся к pH: 1 – 3,0; 2 – 5,0; 3 – 7,0; 4 – 9,0.

На основании анализа наклонов экспериментальных зависимостей $E-pC_L$ определяется число ацетат-ионов, входящих во внутреннюю координационную сферу комплекса как лиганд (рис. 5). На указанных кривых можно выделить прямолинейные участки с угловыми коэффициентами $v/2$, v (29 и 58 мВ). Частная производная общего уравнения ЭДС системы по показателю концентрации лиганда имеет следующий вид:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial pC_{\text{Ac}}} \right)_{pC_o, pC_r, pH} = -\frac{v}{n} \left(\frac{l}{p} - \frac{x}{q} \right) = \frac{v}{2} \text{ и } v \quad (9)$$

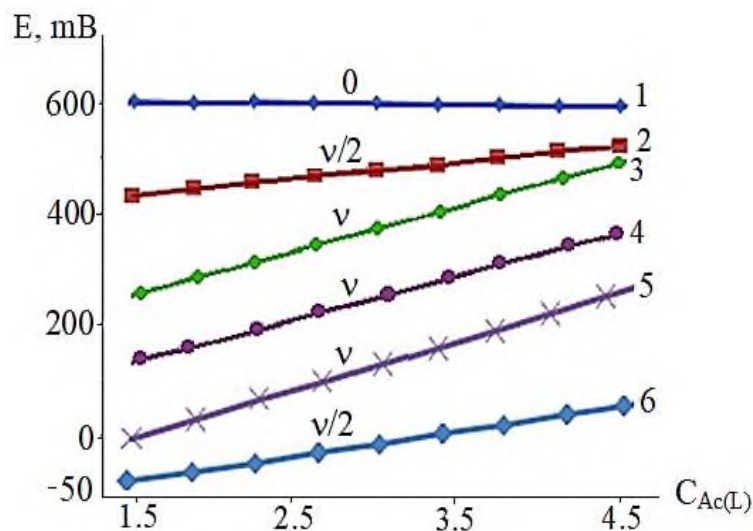


Рисунок 5 – Зависимость ЭДС (E , мВ) системы $\text{Mn(II)}-\text{Mn(IV)}-\text{CH}_3\text{COOH}-\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ от $pC_{\text{Ac(L)}}$ при ионной силе раствора 1,0; $C_{\text{Mn(II)}}=C_{\text{Mn(IV)}}=1 \cdot 10^{-4}$ и $C_{\text{Ac(L)}}=1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; температуре 298,15 К. Кривые относятся к pH: 1 – 2,0; 2 – 4,5; 3 – 6,5; 4 – 7,5; 5 – 9,0; 6 – 10,0.

Последовательное формирование линейных участков с тангенсами углов наклона равными: 0, $v/2$, v , $v/2$, согласно теории метода оксредметрии, свидетельствует о ступенчатом комплексообразовании в гомогенной окислительно-восстановительной системе $Mn(II)-Mn(IV)-CH_3COOH$. Сравнение результатов эксперимента показывает, что в изученной системе по мере увеличения концентрации ацетат-иона в состав внутренней координационной сферы комплексов входит один и два лиганда, соответственно.

Зависимости ЭДС от pH, по которым можно определить общее количество связанных лигандов с центральным ионом комплексообразователя. Частная производная общего уравнения ЭДС системы по pH при постоянстве всех остальных переменных имеет следующий вид:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial pH}\right)_{pC_{Mn(IV)}, pC_{Mn(II)}, pC_{Ac}} = -v \left(\frac{(l+\vartheta)}{p} - \frac{(x+y)}{q} \right) = -v, \text{ или } -2v, \text{ или снова } -v. \quad (10)$$

Поэтому на указанной кривой образуются наклоны $-v$, $-2v$, $-v$. По полученным результатам составлена химическая модель ионных равновесий изученной системы, которая представляет собой таблицу из столбиков (общее количество базисных частиц, которые для простоты обозначены (grlk) и строчек (количество возможных численных вариантов) (табл.1).

Таблица 1 – Химическая модель реакций образования комплексов $Mn(IV)$ и $Mn(II)$ системы $Mn(II)-Mn(IV)-CH_3COOH-C_2H_5OH$ при ионной силе раствора 1,0; $C_{Mn(II)} = C_{Mn(IV)} = 1 \cdot 10^{-4}$ и $C_{HAc} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; температуре 298,15 K.

№, п/п	Mn^{4+}	Mn^{2+}	Ac^-	OH^-	Состав комплекса
	q	p	l	k	
1	1	0	1	0	$[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$
2	1	0	1	1	$[Mn^{IV}Ac(OH)(C_2H_5OH)_4]^{2+}$
3	1	1	2	2	$[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{2+}$
4	0	1	1	0	$[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^+$
5	0	1	1	1	$[Mn^{II}Ac(OH)(C_2H_5OH)_2]^0$
6	0	1	2	2	$[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^{2+}$

Полный анализ наклонов экспериментальных кривых и составленные химические модели реакций образования комплексов показали формирование в системе следующего состава координационных соединений окисленной: $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$; $[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^+$; $[Mn^{IV}Ac(OH)(C_2H_5OH)_4]^{2+}$ и восстановленной $[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^+$; $[Mn^{II}(Ac)(OH)(C_2H_5OH)_2]^0$ и $[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^+$ форм марганца. Третье и последнее соединения являются гетеровалентными и содержат как окисленную, так и восстановленную формы марганца. Кроме того, эта комплексная частица является смешаннолигандной, гидроксоацетатной, так как в слабощелочной среде гидроксильные – ионы конкурируют с ацетатными лигандами за место во внутренней координационной сфере.

Выводы

1. Методом окислительного потенциала Кларка-Никольского в гомогенной окислительно-восстановительной системе $Mn(II)-Mn(IV)-CH_3COOH-C_2H_5OH$ при температуре 298,15 K и ионной силе раствора 1,0 моль/л изучено ступенчатое комплексообразование $Mn(II)$ и $Mn(IV)$ с ацетат- и гидроксильными ионами в широком интервале pH от 2,2 до 10,2.

2. Установлено, что в изученных экспериментальных условиях формируются координационные соединения следующего состава: $[Mn^{IV}Ac(C_2H_5OH)_5]^{3+}$; $[Mn^{IV}Ac(OH)(C_2H_5OH)_4]^{2+}$; $[Mn^{IV}Mn^{II}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^+$; $[Mn^{II}Ac(C_2H_5OH)_3]^+$; $[Mn^{II}(Ac)(OH)(C_2H_5OH)_2]^0$ и $[Mn^{II}Mn^{IV}(Ac)_2(OH)_2(C_2H_5OH)_6]^+$.

3. Показано, что образующиеся комплексы являются чисто ацетатными (первое и четвертое соединение), смешаннолигандными – гидроксо- и ацетатные (второе и пятое соединение), а также гетеровалентные (третья и шестая частицы).

4. Выявлено, что как $Mn(II)$, так и $Mn(IV)$ склонны к ступенчатому гидроксильному комплексообразованию, так как сначала образуется координационное соединение с одной гидроксильной, а затем на следующей ступени - с двумя гидроксильными группами во внутренней координационной сфере, далее начинается гидролиз марганца, и ЭДС системы резко падает.

Рецензент: Шагоев М.М. — к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории “Комплексная переработка сырья и отходов” Института химии имени В.И. Никитина НАНП

Литература

1. Никольский, Б.П. Оксредметрия. – Л.: Химия, 1975, -304 с.
2. Якубов, Х.М. Применение оксредметрии в комплексообразовании. – Душанбе: Дониш, 1966, -119 с.
3. Захарьевский, М.С. Оксредметрия. – Л.: Химия, 1968, -327 с.
4. Юсупов, З.Н. Применение оксредметрии к изучению гетеровалентного и гетероядерного комплексообразования. «Координационные соединения и аспекты их применения». – Душанбе: Сино, 1996, -С. 5–14.
5. Рахимова, М. Теоретические основы метода окислительного потенциала Кларка-Никольского / М. Рахимова, Э.Ф. Файзуллоев, Дж.А. Давлатшоева, А.С. Маметова / Учебник по физической химии. ТНУ и ОшГУ. – Душанбе: Эр-граф, 2020, -312 с.
6. Zhorobekova, M. Study of heteronuclear complexation in $Fe(II)-Fe(III)-Mn(II)-CH_3COOH-H_2O$ system / M. Zhorobekova, A. Mametova, F. Miraminzoda // - E3S Web of Conferences, 2023, 401. 04064, Conmechydro.
7. Rakhimova, M. Oxidimetric study of complex formation in the $Fe(II)-Fe(III)-CH_3COOH-H_2O$ system / M. Rakhimova, Dzh.A. Davlatshoeva, Sh.S. Emomadova [et al.] // -Russian Journal of Physical Chemistry. 2022, Vol. 96, No. 12, -PP. 2621–2626.
8. Davlatshoeva, J.A. Processes of formation of glycinate complexes of iron (II) and iron (III) under various ionic forces of solution / J.A. Davlatshoeva, G.B. Eshova, M.M. Rahimova [et al.] // - American Journal of Chemistry, 2017, 7(2), -PP. 58–65.
9. Рахимова, М.М. Аспарагинатные координационные соединения железа, модели процессов их образования / М.М. Рахимова, Т.М. Нурматов, Н.З. Юсупов [и др.] // Журн. коор. химии, 2013, Т. 39, № 10, -С. 636–640.
10. Davlatshoeva, J.A. Processes of complex formation in an $Fe(II)-Fe(III)-H_2Sal-C_2H_5OH-H_2O$ System J.A. Davlatshoeva, M. Rakhimova, G.B. Eshova, F. Miraminzoda -Russian Journal of Physical Chemistry, 2023, V. 97, N. 3, -PP. 48–54.
11. Жоробекова, М.Б. Химическая модель комплексообразования в системе $Fe(II)-Fe(III)-Mn(II)-CH_3COOH-H_2O$ / М.Б. Жоробекова, Г.Б. Эшова, Ф. Мираминзода, А.С. Маметова // - Сборник статей V международной научной конференции на тему «Вопросы физической и координационной химии». – Душанбе, 2021, С. 209–215.
12. Эшова, Г.Б. Влияние концентрационных параметров на комплексообразование в системе железо(0)–железо(II)–глицин–вода / Г.Б. Эшова, Дж.А. Давлатшоева, М. Рахимова, Л.В. Квятковская, М.О. Гуриев // Журн. неор. химии. -2018. – Т. 63, № 4. - С. 525 - 530.
13. Эшова, Г.Б. Процессы образования глицинатных координационных соединений железа(II) при различных ионных силах раствора / Г.Б. Эшова, Дж. А. Давлатшоева, М. Рахимова, М.О. Гуриев, Л.В. Квятковская // Журн. неор. химии. -2018. Т. 63, № 6. - С. 736 - 740.
14. Рахимова, М. Образование глицинатных комплексов железа(II) при различных ионных силах раствора / М. Рахимова, Г.Б. Эшова, Дж.А. Давлатшоева, Л.В. Квятковская, Ф. Мираминзода // ЖФХ. 2020. Т. 94. № 8. -С. 1179–1184.
15. Рахимова, М. Влияние концентрационных параметров раствора гомогенной системы $Fe(II)-Fe(III)$ -глицин- $Na(H)ClO_4-H_2O$ на состав образующихся комплексов / М. Рахимова, Э.Ф. Файзуллоева, Дж.А. Давлатшоева, Г.Б. Эшова // От химии к технологии шаг за шагом. 2023. Т. 4, вып. 1. -С. 15-21.

16. Эшова, Г.Б. Исследование процессов комплексообразования в системе $\text{Fe(II)-Fe(III)-L-Ala-H}_2\text{O}$ / Г.Б. Эшова, М. Рахимова, Дж. А. Давлатшоева, Ф. Мираминзода, М.А. Тоирзода // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2025. Т. 66. № 3. -С. 261-268.

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

TJ	RU	EN
Файзуллозода Эркин Фатхулло	Файзуллозода Эркин Фатхулло	Fayzullozoda Erkin Fatkhullo
н.и.х., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: e120286@inbox.ru		
TJ	RU	EN
Давлатшоева Ҷаҳонгул Асанхоновна	Давлатшоева Джахонгул Асанхоновна	Davlatshoeva Jahonul Asankhonovna
н.и.х., дотсент	к.х.н., доцент	Candidate of Chemical Sciences, docent
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: kfk1964@mail.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимова Мубаширхон	Рахимова Мубаширхон	Rakhimova Mubashirkhan
д.и.х., профессор	д.х.н., профессор	Doctor of Chemical Sciences, Professor
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: mubashira09@mail.ru		
TJ	RU	EN
Бобоназарзода Гулрухсор Бобоназаровна	Бобоназарзода Гулрухсор Бобоназаровна	Bobonazarzoda Gulrukhsor Bobonazarovna
н.и.х., дотсент, ходими калони илмӣ	к.х.н., доцент старший научный сотрудник	Candidate of Chemical Sciences, docent, Senior Researcher
Институти илмию таҳқиқоти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University
E-mail: eshova81@mail.ru		
TJ	RU	EN
Мираминзода Фарида	Мираминзода Фарида	Miraminzoda Farida
Корманди илмӣ	Научный сотрудник	researcher
Институти илмию таҳқиқоти Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Научно-исследовательский институт Таджикского национального университета	Research Institute of the Tajik National University
E-mail: miraminzoda@mail.ru		

УДК 656.13

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ СИЛ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ НА УКЛОНЕ

Р.А. Давлатшоев

В данной работе рассматривается задача моделирования тормозных процессов и тепловых нагрузок, возникающих при торможении автомобиля на уклоне. Целью исследования является количественная оценка термонагруженности тормозных механизмов в различных режимах движения, а также выявление факторов, влияющих на эффективность торможения. Получены зависимости для оценки изменения температуры тормозов во времени, температурной зависимости коэффициента трения и тормозного пути. Представлены расчётные данные, отражающие снижение эффективности торможения при нагреве тормозных механизмов. Результаты исследования подтверждают необходимость учёта теплового состояния тормозной системы при проектировании и эксплуатации автомобилей, особенно в горных условиях.

Ключевые слова: термонагруженность, тормозной путь, коэффициент трения, уклон, температура тормозов, безопасность движения.

МОДЕЛСОЗИИ ҚҶВВАҲОИ БОЗДОРӢ ВА РАВАНДИ ҲАРОРАТӢ ҲАНГОМИ ҲАРАКАТИ АВТОМОБИЛ ДАР НИШЕБӢ

Р.А. Давлатшоев

Дар ин кор масъалаи моделсозии равандҳои боздорӣ ва сарбории ҳароратие, ки ҳангоми боздории автомобил дар нишебӣ ба вучуд меоянд, баррасӣ мегардад. Ҳадафи таҳқиқот арзёбии миқдории сарбории ҳароратии механизмҳои боздорӣ дар речаҳои гуногуни ҳаракат, инчунин муайянсозии омилҳои мебошад, ки ба самаранокии боздорӣ таъсир мерасонанд. Ифодаҳои вобастагии тағйирёбии ҳарорати механизмҳои системаи боздорӣ аз вақт, вобастагии ҳароратии коэффитсиенти соиш ва роҳи боздорӣ ба даст оварда шудаанд. Маълумоти ҳисобии хоҳиши самаранокии боздорӣ ҳангоми гармшавии механизмҳои боздорӣ пешниҳод гардидааст. Натиҷаҳои таҳқиқот зарурати ба назар гирифтани ҳолати ҳароратии системаи боздориро ҳангоми тарҳрезӣ ва истифодаи автомобилҳо, махсусан дар шароити кӯҳсор, тасдиқ менамоянд.

Калидвожаҳо: Сарбории ҳароратӣ, роҳи боздорӣ, коэффитсиенти соиш, нишебӣ, ҳарорати механизмҳои боздорӣ, беҳатарии ҳаракат.

MODELING OF BRAKING FORCES AND THERMAL PROCESSES DURING VEHICLE MOVEMENT ON A SLOPE

R.A.Davlatshoev

This paper addresses the problem of modeling braking processes and thermal loads that occur during vehicle braking on a slope. The aim of the study is to quantitatively assess the thermal stress of braking mechanisms under various driving conditions and to identify the factors affecting braking efficiency.

Relationships have been derived to evaluate the change in brake temperature over time, the temperature dependence of the friction coefficient, and the braking distance. The calculated data reflecting the decrease in braking efficiency due to the heating of braking mechanisms are presented. The results of the study confirm the necessity of considering the thermal state of the braking system during the design and operation of vehicles, especially under mountainous conditions.

Keywords: thermal stress, braking distance, friction coefficient, slope, brake temperature, driving safety.

Введение

Торможение транспортных средств в горных условиях сопровождается интенсивной генерацией тепла, что может привести к перегреву тормозных механизмов и снижению их эффективности. Перегрев, в свою очередь, вызывает снижение коэффициента трения, ухудшение замедления и удлинение тормозного пути.

В данной работе рассматриваются расчётные зависимости, позволяющие количественно оценить влияние температуры на тормозной процесс.

Цель исследования — разработать модель, учитывающую термическое состояние тормозной системы, и оценить его влияние на замедление и путь торможения автомобиля при движении под уклон.

Исследовательская часть

1. Замедление на уклоне без учёта перегрева

Для оценки замедления транспортного средства при движении на уклоне используется базовое уравнение динамики:

$$j_z = g \cdot (\varphi \cdot \cos \alpha - \sin \alpha), \quad (1)$$

где:

g — ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

φ — коэффициент сцепления дороги на уклоне, $\varphi = 0,7$;

α — продольный уклон дороги, $\alpha = 5^\circ$

Это уравнение позволяет анализировать тормозной процесс на уклоне без учёта температурного влияния. Однако в реальных условиях тормозные механизмы подвергаются тепловой нагрузке, что

оказывает существенное влияние на коэффициент трения и, как следствие, на замедление и тормозной путь. Поэтому важно учитывать термическое состояние тормозной системы при расчётах.

2. Необходимость учёта температурного влияния

Для более точной оценки эффективности торможения при нагреве необходимо использовать математическую модель, учитывающую изменение температуры тормозных дисков и их влияние на тормозные силы. Такое моделирование основывается на уравнениях теплопередачи и позволяет учитывать:

- тепловую нагрузку, возникающую при торможении;
- зависимость коэффициента трения от температуры;
- снижение замедления и увеличения тормозного пути при перегреве.

Основной задачей данного исследования является построение модели, которая в сочетании с уравнением движения позволит оценить влияние термонагруженности на замедление транспортного средства и изменение тормозного пути в горных условиях.

3. Определение нормальных реакций на осях

При торможении на уклоне нормальные реакции на переднюю и заднюю оси рассчитываются с учётом действующих на автомобиль сил, уклона дороги и возникающих тормозных моментов. Расчётные формулы имеют вид:

$$R_{z1} = \frac{m_a \cdot g}{L} \cdot \left(b \cdot \cos \alpha + \frac{h_{ц.м.} \cdot j_3}{g} + h_{ц.м.} \cdot \sin \alpha \right),$$

$$R_{z2} = \frac{m_a \cdot g}{L} \cdot \left((L - b) \cdot \cos \alpha - \frac{h_{ц.м.} \cdot j_3}{g} - h_{ц.м.} \cdot \sin \alpha \right),$$
(2)

где:

j_3 - замедление, м/с²; b - расстояние от центра масс до задней оси, м; $h_{ц.м.}$ - высота центра масс, м; L - колесная база, м

4. Изменение температуры тормозных механизмов во времени.

Температура тормозных механизмов в процессе торможения изменяется по закону теплового баланса с учётом теплоотдачи в окружающую среду. В начальной фазе торможения температура возрастает почти линейно, однако по мере увеличения времени влияние теплоотдачи становится более значительным, и рост температуры замедляется. При этом используется модель, предполагающая, что часть выделенной теплоты рассеивается, а оставшаяся энергия аккумулируется в тормозных элементах. Температурное поведение описывается следующим образом [4]:

а) для тормозных механизмов передней оси:

$$T_1 = T_0 + \frac{W_1}{\alpha_1 \cdot F_1} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_1 \cdot F_1 \cdot t}{c_1 \cdot m_1}} \right);$$
(1)

б) для тормозных механизмов задней оси:

$$T_2 = T_0 + \frac{W_2}{\alpha_2 \cdot F_2} \left(1 - e^{\frac{-\alpha_2 \cdot F_2 \cdot t}{c_2 \cdot m_2}} \right),$$
(2)

где:

$T_0 = 293$ К – температура тормозных механизмов перед торможением; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи тормозных механизмов в окружающую среду, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$; F_1, F_2 – площади охлаждения соответствующих тормозных механизмов, м²; c_1, c_2 – теплоемкость материала тормозных дисков, Дж/(кг·К); m_1, m_2 – масса тормозных дисков, кг; t – текущее время торможения, с.

Поглощаемая мощность тормозными механизмами находится по выражению:

$$W_1 = F_{\text{торм.1}} \cdot v_a ; \quad W_2 = F_{\text{торм.2}} \cdot v_a,$$

где:

$F_{\text{торм.1}}, F_{\text{торм.2}}$ – тормозные силы на колесах соответствующих осей; v_a – скорость автомобиля, м/с

Тормозные силы на каждой оси i могут быть выражены через нормальную нагрузку и температурно-зависимый коэффициент трения:

$$F_{\text{торм.i}} = \mu(T_i) \cdot R_{zi},$$
(5)

где:

- $F_{\text{торм.i}}$ – тормозная сила на оси i , Н;
- $\mu(T_i)$ – коэффициент трения в зависимости от температуры тормозного механизма на оси i ;

- R_{zi} — нормальная (вертикальная) нагрузка на i -ю ось, Н.
Значения коэффициента трения:
- при нормальных условиях: $\mu = 0,35$
- при перегреве ($T > 250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$): $\mu \approx 0,2$

5. Температурная коррекция коэффициента трения

При температуре выше критической ($250\text{--}300^{\circ}\text{C}$) коэффициент трения начинает снижаться по экспоненциальной зависимости:

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot e^{-k \cdot (T - T_0)} \quad (6)$$

где:

- μ_0 — коэффициент трения при начальной температуре T_0 ;
- $k=0,035$ — температурный коэффициент чувствительности (зависит от материала накладок ($k=0,01$ до $0,05$));
- T — текущая температура тормозного диска, К.

6. Замедление с учётом уклона и температурной зависимости

Для определения сил, действующих на автомобиль при торможении на уклоне, используется уравнение продольного равновесия:

$$F_{\text{торм.1}} + F_{\text{торм.2}} - m_a \cdot g \cdot \sin \alpha = m_a \cdot j_3^t, \quad (7)$$

где:

- $F_{\text{торм.1}}, F_{\text{торм.2}}$ — тормозные силы от передней и задней осей, Н;
- m_a — масса автомобиля, кг;
- g — ускорение свободного падения, м/с²;
- α — уклон дороги, рад;
- j_3^t — замедление с учётом температурного влияния, м/с².

Из уравнения (7) определяем j_3^t :

$$j_3^t = \frac{1}{m_a} \sum_{i=1}^2 F_{\text{торм.i}} - g \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Таким образом, повышение температуры тормозных механизмов при интенсивном торможении, особенно в горных условиях, приводит к снижению коэффициента трения $\mu(T_i)$, что, в свою очередь, вызывает уменьшение эффективного замедления:

$$j_3^t = \frac{1}{m_a} \sum_{i=1}^2 \mu(T_i) \cdot R_{zi} - g \cdot \sin \alpha \quad (9)$$

7. Тормозной путь с учётом температурного влияния рассчитывается по формуле:

$$S_T^t = \frac{v_a^2}{2 \cdot j_3^t}, \quad (10)$$

где:

- S_T^t — тормозной путь с учетом температурного влияния, м;
- j_3^t — замедление с учётом температуры, м/с²

8. С целью учета различий в тепловой нагрузке между тормозными механизмами передней и задней осей вводится температурный коэффициент распределения k_t , определяемый по следующему выражению:

$$k_t = \frac{T_2}{T_1},$$

где T_1 и T_2 — температуры переднего и заднего тормозных механизмов соответственно.

Данный коэффициент позволяет учесть неравномерность нагрева тормозов, возникающую, в частности, при длительном торможении на уклоне.

Для анализа влияния термонагруженности на замедление транспортного средства на уклоне, а также на изменение тормозного пути в горных условиях были проведены расчёты на примере легкового автомобиля Mercedes-Benz W211. В качестве исходных данных были использованы реальные параметры автомобиля, приведённые в таблице 1 [2].

Таблица 1-Параметры автомобиля Mercedes-Benz W211

№ п/п	Параметры	Обозначение	Размерность	Значения
1	Масса автомобиля с водителем	m_a	кг	1600
2	Наружный диаметр диска передних колес	$d_{н1}$	м	0,3
3	Внутренний диаметр диска передних колес	$d_{вн1}$	м	0,18
4	Наружный диаметр диска задних колес	$d_{н2}$	м	0,29
5	Внутренний диаметр диска задних колес	$d_{вн2}$	м	0,17
6	Толщина диска передних колес	t_1	м	0,025
7	Толщина диска задних колес	t_2	м	0,020
8	Средний радиус трения переднего диска	$r_{\mu 1}$	м	0,24
9	Ширина колодки переднего тормоза	b_{k2}	м	0,1945
10	Средний радиус трения заднего диска	$r_{\mu 2}$	м	0,23
11	Ширина колодки заднего тормоза	b_{k2}	м	0,1413
12	Диаметр переднего цилиндра	$d_{ц1}$	м	0,038
13	Диаметр заднего цилиндра	$d_{ц2}$	м	0,032
14	Теплоёмкость чугуна диска передних колес	c_1	$\frac{кДж}{кг \cdot K}$	0,447
15	Теплоёмкость чугуна диска задних колес	c_2	$\frac{кДж}{кг \cdot K}$	0,447
16	Коэффициенты теплоотдачи тормозных механизмов	$\alpha_1 = \alpha_2$	$\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	43
17	Плотность чугуна диска	ρ	кг/м ³	7200
18	Высота центра масс	h ц.м.	м	0,55
19	Колесная база	L	м	2,85
20	Расстояние от центра масс до задней оси	b	м	1,7
21	Скорость автомобиля	v_a	м/с	10

Расчёт выполнен с учётом конструктивных особенностей тормозных механизмов, характеристик материалов и условий эксплуатации, включая массу автомобиля, геометрические размеры тормозных дисков и теплофизические свойства.

На основе этих данных произведён расчёт ключевых параметров тормозной системы (см. таблицу 2), включая распределение вертикальных нагрузок по осям, тормозные силы, поглощаемую мощность тормозных механизмов, площади охлаждения и массы тормозных дисков.

Замедление, рассчитанное без учёта температурных эффектов, составило 5,984 м/с² — этот показатель принят в качестве эталонного для дальнейшего сравнения.

Таблица 2-Параметры тормозной системы

№	Параметр	Значение	Единицы
1	Нормальная (вертикальная) нагрузка на переднюю ось	$R_{z1} \approx 11482,8$	Н
2	Нормальная (вертикальная) нагрузка на заднюю ось	$R_{z2} \approx 4213,2$	Н
3	Замедление на уклоне без учёта перегрева	$J_3 = 5,984$	м/с ²
4	Сила торможения на переднем колесе	$F_{\text{торм.1}} = 2009,45$	Н
5	Сила торможения на заднем колесе	$F_{\text{торм.2}} = 737,31$	Н
6	Поглощаемая мощность тормозного механизма переднего тормоза	$W_1 = 20094,55$	Вт
7	Поглощаемая мощность тормозного механизма заднего тормоза	$W_2 = 7373,1$	Вт
8	Площадь охлаждения переднего тормоза	$F_1 = 0,384$	м ²
9	Площадь охлаждения заднего тормоза	$F_2 = 0,291$	м ²
10	Масса переднего тормозного диска	$m_1 \approx 8,14$	кг
11	Масса заднего тормозного диска	$m_2 \approx 6,24$	кг

Однако в условиях длительного торможения, особенно на спусках, температура тормозных механизмов существенно возрастает, что влияет на коэффициенты трения и соответственно на эффективность торможения. Для оценки этого влияния были рассчитаны зависимости коэффициентов

трения, замедления и тормозного пути от времени торможения с учётом температурного нагрева. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3-Влияние температурного нагрева на коэффициент трения и параметры торможения

Время торможения (t), с	T_1 , К	T_2 , К	$\mu(T_1)$	$\mu(T_2)$	$k_t = T_2/T_1$	j_3^t , м/с ²	S_T^t , м
0	293	293	0,35	0,35	1	2,56	19,48
20	398,58	343,56	0,24	0,293	0,86	1,64	30,41
40	495,01	389,79	0,17	0,249	0,78	1,03	48,37
60	583,07	432,04	0,13	0,215	0,74	0,61	81,11
80	663,49	470,68	0,095	0,187	0,70	0,32	154,95
100	736,94	505,99	0,074	0,166	0,67	0,11	453,35

На основе результатов расчётов построены графики изменения температурных характеристик тормозных механизмов передней и задней осей, а также графики замедления с учётом снижения коэффициента трения при повышении температуры. Представленные зависимости наглядно демонстрируют влияние термонагруженности на эффективность торможения автомобиля.

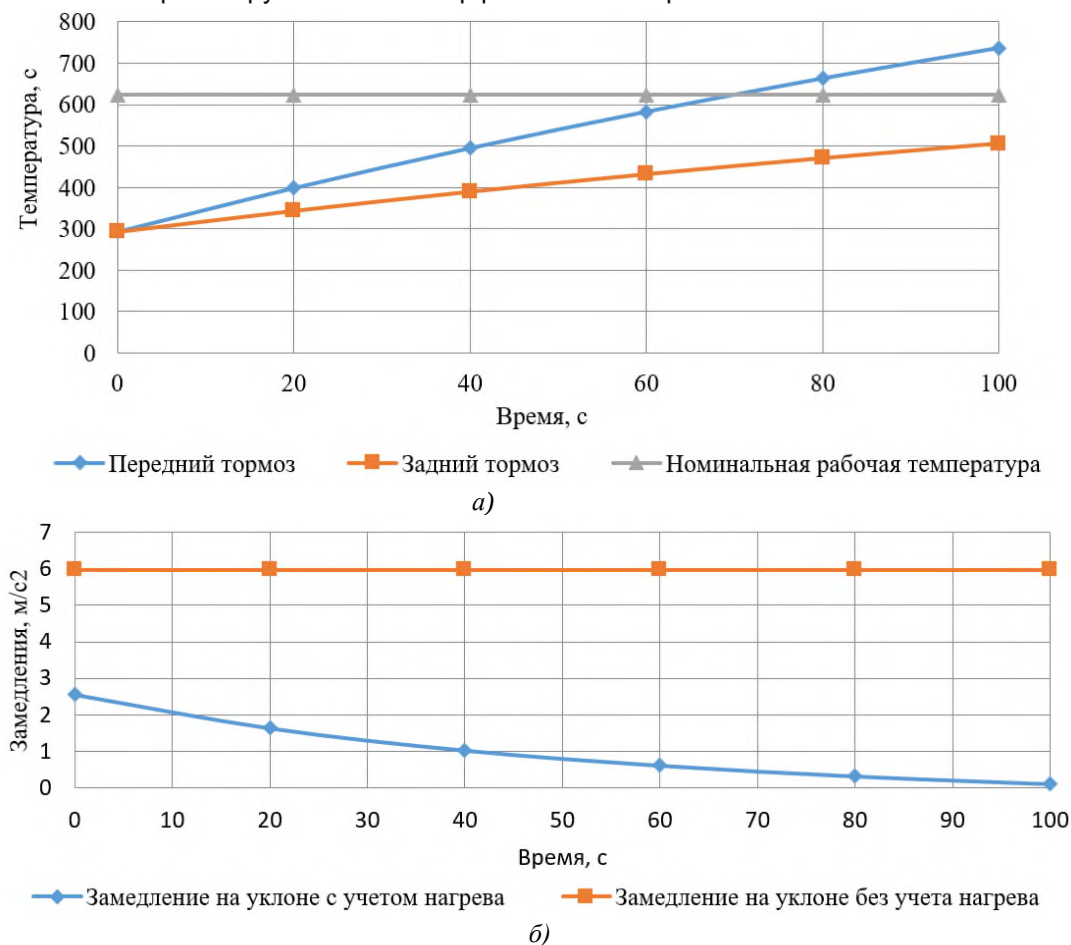


Рисунок 1 – Зависимость температурных параметров (T_1 , T_2)

(а) и замедления (j_3^t) (б) от времени торможения: а) Температура тормозных механизмов (T_1 и T_2) по времени показывает, как нагреваются передние и задние тормоза с течением времени; б) Рост температуры вызывает снижение замедления (j_3^t).

Результаты исследования

На основе проведённого моделирования и расчётов были получены количественные зависимости, отражающие влияние температурной нагруженности тормозных механизмов на эффективность торможения автомобиля Mercedes-Benz W211 при движении на уклоне. Начальное замедление без учёта термических эффектов составило 5,984 м/с², что принято в качестве эталонного значения.

С увеличением времени торможения наблюдается устойчивый рост температур тормозных механизмов: температура передних механизмов (T_1) за 100 секунд увеличивается до 736,94 К, задних (T_2) — до 505,99 К. Это сопровождается снижением коэффициентов трения с 0,35 до 0,074 на передней оси и до 0,166 на задней. Температурный коэффициент распределения (k_t) снижается от 1 до 0,67, что указывает на неравномерный нагрев тормозных механизмов.

Соответственно, эффективное замедление (j_3^t) уменьшается с 2,56 м/с² до 0,11 м/с², а тормозной путь увеличивается с 19,48 м до 453,35 м при скорости автомобиля 10 м/с, что свидетельствует о почти полной потере тормозной эффективности. При времени торможения свыше 70 секунд наблюдается превышение температурой передних тормозных механизмов нормативного значения рабочей температуры (673 К), что указывает на риск перегрева и выхода системы из допустимого температурного режима. Построенные графики подтверждают, что при длительном торможении происходит заметное ухудшение тормозных характеристик.

Таким образом, моделирование показало, что температура оказывает значительное влияние на тормозные силы через снижение коэффициента трения, особенно при длительной работе тормозной системы в горных условиях. Это требует обязательного учёта термонагруженности при проектировании тормозных систем и разработке регламентов эксплуатации автомобилей.

Заключение

Полученные результаты исследования подчёркивают критическую важность учёта тепловых процессов в тормозных системах автомобилей, эксплуатируемых в горных условиях. Перегрев тормозных механизмов способен существенно снизить их эффективность и увеличить тормозной путь, что может привести к аварийным ситуациям.

На основании проведённого анализа можно сформулировать следующие выводы:

1. Проведённый анализ подтвердил значительное влияние термонагруженности на характеристики торможения автомобиля при движении под уклон.
2. Температурный рост тормозных механизмов приводит к экспоненциальному снижению коэффициента трения, особенно после достижения температур выше 300 К.
3. Снижение коэффициента трения вызывает уменьшение эффективного замедления и увеличение тормозного пути, что критически важно при эксплуатации автомобилей в горных условиях.
4. Разработанная модель позволяет учитывать температурные эффекты при расчёте тормозного пути, что повышает точность прогноза тормозных свойств и обеспечивает более надёжное проектирование тормозных систем.
5. Для обеспечения безопасности движения необходимо учитывать неравномерность нагрева тормозных механизмов, выраженную через температурный коэффициент распределения.
6. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки требований к тепловой устойчивости тормозных механизмов при проектировании транспортных средств, предназначенных для эксплуатации в условиях длительных спусков.

Рецензент: Холов Д. — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация гидромелиоративных систем» Таджикского аграрного университета имени Ш. Шохтемура

Литература

1. Турсунов А.А., Давлатшоев Р.А. Повышение тормозных свойств АТС в горных условиях эксплуатации. Душанбе, ТТУ 2010. – 248 с.
2. Давлатшоев Р.А. Оценка термонагруженности тормозных механизмов автомобиля Mercedes-Benz w211 при движении на затяжном спуске. Материалы X международной научно-практической конференции “Наука-основа инновационного развития”. 18 – 19 апреля 2025 г. /— Душанбе: Издательство ТТУ, 2025.
3. Горелов А.Ю. Теория автомобильных тормозных систем. – М.: Машиностроение, 2003. – 352 с.
4. Гольдфарб В.М. Теория и расчёт тормозных систем автомобилей. – М.: Машиностроение, 1983.
5. Блау П.Дж. Наука о трении и технология: от концепции к применению. – 2-е изд. – CRC Press, 2008. – 464 с.
6. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. — М.: Наука, 1962.
7. Бахвалов Н.С., Панков В.А. Тормозные системы автомобилей. – М.: Машиностроение, 2001. – 304 с.
8. Соловьев В.Д. Надёжность и безопасность автомобилей. – М.: Транспорт, 2004. – 416 с.
9. Алексеев С.И. Тепловые процессы в тормозных системах автомобилей. – СПб.: Политехника, 2006. – 224 с.
10. Гиллеспи Т.Д. Основы динамики автомобиля. – SAE International, 1992. – 512 с.
11. Reimpell J., Stoll H., Betzler J.W. The Automotive Chassis: Engineering Principles. – SAE International, 2001. – 418 с.
12. Wong J.Y. Theory of Ground Vehicles. – 4th ed. – John Wiley & Sons, 2008. – 592 с.
13. ISO 21994:2007. Road vehicles — Brake linings — Effects of high temperatures on friction material performance.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

TJ	RU	EN
Давлатшоев Рашид Асанхонович н.и.т, дотсент	Давлатшоев Рашид Асанхонович к.т.н, доцент	Davlatshoev Rashid Asankhonovich Candidate of Technical Sciences
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
E-mail: d_rashid71@mail.ru		

УДС 629.113.012

МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДИТЕЛЬ –АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВАДС) И ВОДИТЕЛЬ – ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА (ВЭДС)

¹А.М. Умирзоков, ²А.А. Алланазаров, ¹А.Л. Бердиев

¹Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими

²Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий

В статье приводится методика оценки эффективности функционирования систем водитель – автомобиль – дорога – среда (ВАДС) и водитель –электромобиль – дорога – среда (ВЭДС) в горных и высокогорных условиях в свете бурного развития транспортной системы с учетом проблем и перспективы электрификации. Рассмотрены особенности реализации системы новых организационных форм совместного функционирования указанных систем, способствующие повышению эффективности пассажиро- и грузоперевозок. Предложена методика оценки влияния отдельных элементов на эффективность систем. Целью исследования являются разработка и обоснование сравнительной оценки эффективности систем ВАДС и ВЭДС в горных и высокогорных условиях.

Ключевые слова: автомобиль, электромобиль, система, эффективность, водитель, дорога, среда.

МЕТОДИКАИ БАҶОДИҶИИ МУҚОИСАВИИ САМАРАНОКИИ СИСТЕМАҶОИ РОНАНДА– АВТОМОБИЛ –РОҶ – МУҲИТ (РАРМ) ВА РОНАНДА–ЭЛЕКТРОМОБИЛ –РОҶ – МУҲИТ (РЭРМ)

А.М. Умирзоқов, А.А. Алланазаров, А.Л. Бердиев

Дар мақола методикаи баҳодиҳии самаранокии амалкарди системаҳои ронанда – автомобил – роҳ – муҳит (РАРМ) ва ронанда –электромобил – роҳ – муҳит (РЭРМ) дар шароити кӯхсору баландкӯҳи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар партави рушди босуръати системаи нақлиёти мамлакат бо дарназардошти мушкilot ва дурнамои электриканизатсия оварда шудааст. Хусусиятҳои табиқи системаи шаклҳои нави ташкили амалкарди яқояи системаҳои зикршуда, ки ба баланд бардоштани самаранокии мусофиркашонӣ ва боркашонӣ мусоидат мекунад, баррасӣ карда шуданд. Усули баҳодиҳии таъсири элементҳои алоҳида ба самаранокии системаҳо пешниҳод карда шудааст. Мақсади тадқиқот таҳия ва асоснок кардани заминаи асосии сарфои захираҳо, беҳтариҳои конструктивӣ ва рақобатпазирии истифодабарии электромобилҳо ва дар маҷмӯъ самаранокии истифодабарӣ ва истеҳсоли онҳо дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад.

Калимаҳои калидӣ: автомобил, электромобил, система, самаранокӣ, ронанда, роҳ, муҳит.

METHODOLOGY FOR COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF DRIVER– CAR – ROAD –ENVIRONMENT (DCRE) SYSTEMS AND DRIVER – ELECTRIC VEHICLE – ROAD – ENVIRONMENT (DERE)

A.M. Umirzokov, A.A. Allanazarov , A.L. Berdiev

The article presents a methodology for evaluating the effectiveness of the driver–car – road – environment (DCRE) and driver–electric vehicle – road –environment (VEDS) systems in the mountainous and mountainous conditions of the Republic in the light of the rapid development of the country's transport system, taking into account the problems and prospects of electromobilization. The features of the implementation of the system of new organizational forms of joint functioning of these systems, contributing to improving the efficiency of passenger and cargo transportation, are considered. A methodology for assessing the impact of individual elements on the effectiveness of systems is proposed. The purpose of the research is to develop and substantiate the basic basis of resource conservation, constructive safety and competitiveness of electric vehicle operation, and in general, the effectiveness of its application and production in the conditions of the Tajikistan.

Keywords: car, electric vehicle, system, efficiency, driver, road, environment.

Введение

В масштабах республики в связи с расширением электромобильного парка и необходимостью повышения надежности, качества и эффективности функционирования системы ВЭДС появились некоторые проблемы технического и организационного характера, связанные с эксплуатацией электромобилей и повышением их эффективности в горных и высокогорных условиях страны.

На основе анализа современного уровня автомобилизации и электрификации, обобщения внутриреспубликанского и зарубежного опыта эксплуатации электромобилей совместно с существующим парком автомобилей, прогнозирования тенденций расширения парка электромобилей, создания законодательной, нормативной, материально-технической и организационной базы для распространения сети и улучшения качества зарядных станций, импорта и наладки производства электромобилей сформулированы основные направления повышения эффективности системы ВЭДС.

Предлагается цифровизация процессов автотранспортного сектора и подготовка высококвалифицированных кадров в области проектирования, технологии производства, эксплуатации и утилизации электромобилей, эксплуатируемых в горных и высокогорных условиях республики.

Материалы и методы исследования

Эффективность систем ВАДС $\mathcal{E}_{\text{ВАДС}}$ и ВЭДС $\mathcal{E}_{\text{ВЭДС}}$ можно определить из выражений

$$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}} = \mathcal{E}_B \cdot \mathcal{E}_A \cdot \mathcal{E}_D \cdot \mathcal{E}_C, \quad (1)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ВЭДС}} = \mathcal{E}_{\text{ВЭ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ЭМ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ДЭ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{СЭ}}, \quad (2)$$

В этих выражениях $\mathcal{E}_B$, $\mathcal{E}_A$, $\mathcal{E}_d$ и $\mathcal{E}_c$ – соответственно, эффективность водителя автомобиля, автомобиля, дороги и среды; $\mathcal{E}_{B\mathcal{E}}$, $\mathcal{E}_{A\mathcal{E}}$, $\mathcal{E}_{d\mathcal{E}}$ и $\mathcal{E}_{c\mathcal{E}}$ – соответственно, эффективность водителя электромотоцикла, электромотоцикла, дороги при езде на электромотоцикле, среда функционирования электромотоцикла.

Эффективность водителя автомобиля – это показатель того, насколько может снижаться стендовая мощность ДВС при участии водителя в управлении автомобилем [1].

Эффективность автомобиля можно определить как произведение КПД ДВС $\eta_{ДВС}$ на эффективность трансмиссии $\eta_{тр}$, т.е.

$$\mathcal{E}_A = \eta_{ДВС} \cdot \eta_{тр} . \quad (3)$$

Эффективность автомобильной дороги – это показатель того, насколько может снижаться стендовая мощность ДВС от влияния дорожных условий (геометрии и неровность дороги, вид покрытия и др.) [2].

Эффективность среды – сложный фактор, формируемый под действием большого числа факторов, таких как температура воздуха, вид и интенсивность осадки, скорость и направление ветра, высоты н.у.м. и др. [2]

Эффективности составляющих системы ВЭДС определяются также, как и составляющие системы ВАДС, при этом числовые и пределы варьирования первых несколько отличаются от вторых.

Эффективность водителя электромотоцикла несколько выше, чем эффективность водителя автомобиля, что связано ограниченным участием первого в управлении электромотоциклом.

Эффективность электромотоцикла $\mathcal{E}_{ЭМ}$ можно определить как произведение КПД электродвигателя $\eta_{ЭД}$ на эффективность трансмиссии $\eta_{трЭ}$, т.е.

$$\mathcal{E}_{ЭМ} = \eta_{ЭД} \cdot \eta_{трЭ} . \quad (4)$$

При этом следует отметить, что КПД электродвигателя гораздо выше, чем КПД ДВС (табл.1) [3].

Таблица 1 – Сравнительные значения КПД транспортных средств и их энергоустановок

Транспортное средство	Тип энергоустановки	КПД, %		
		Энергоустановки	трансмиссии	на колесе ТС
Автомобили и тракторы	Автотракторный дизель	42	90 (с механической КПП) 85-87 (с автоматической КПП)	22,5
	Автотракторный бензиновый ДВС	35	90 (с механической КПП) 85-87 (с автоматической КПП)	18
Электромотоциклы	Тяговый электродвигатель	90-95	90	81-85
	Электродвигатель Tesla model S	95	98-99	94

Что касается эффективности автомобильной дороги при движении по ней электромотоцикла, то она определяется также, как и при движении по ней автомобиля. При этом влияние дорожных условий на эффективность электромотоцикла несколько ниже, чем ее влияние на автомобиль, причиной тому являются конструктивные особенности электромотоцикла.

При эксплуатации электромотоцикла влияние среды менее значимо, чем при эксплуатации автомобиля, т.к. температурный фактор и высота н.у.м. не способствуют снижению мощности электродвигателя.

Результаты исследования

Результаты экспериментальных исследований по сравнительной оценке эффективностей функционирования систем ВАДС и ВЭДС и их элементов в горных условиях Республики Таджикистан представлены в табл. 2.

Как видно из полученных результатов эффективности систем ВАДС и ВЭДС при их функционировании в горных условиях Республики Таджикистан варьируют в широких пределах. При этом максимальные значения эффективностей функционирования систем ВЭДС и ВАДС составляют соответственно 71 и 20%. Значительная разница эффективностей их функционирования прежде всего обусловлена эффективностями электромотоцикла и автомобиля.

Таблица 2– Результаты сравнительной эффективности функционирования систем ВАДС и ВЭДС и их элементов в горных условиях

Эффективность системы ВАДС			Эффективность системы ВЭДС		
Элемент системы (подсистема)	Условное обозначение	Числовое значение	Элемент системы (подсистема)	Условное обозначение	Числовое значение
водитель автомобиля	$\mathcal{E}_B$	0,80...0,86	водитель электромобиля	$\mathcal{E}_{BЭ}$	0,85...0,92
автомобиль	$\mathcal{E}_A$	0,30...0,34	электромобиль	$\mathcal{E}_{ЭМ}$	0,80...0,90
автомобильная дорога	$\mathcal{E}_D$	0,83...0,86	автомобильная дорога	$\mathcal{E}_{DЭ}$	0,86...0,90
среда	$\mathcal{E}_C$	0,70...0,80	среда	$\mathcal{E}_{CЭ}$	0,90...0,95
системы ВАДС	$\mathcal{E}_{ВАДС}$	0,14...0,20	системы ВЭДС	$\mathcal{E}_{ВЭДС}$	0,53...0,71

Экспериментальные данные по результатам лабораторных, дорожных и хронометражных исследований получены на основе подхода, основанного на методе исключения, т.е. по способу, при котором основные показатели элементов системы, кроме искомого, принимаются неизменными величинами для обеспечения одинаковых условий эксперимента. Например, влияние водителя на эффективность системы ВАДС определяется при постоянстве влияния других элементов системы, т.е. по схеме, приведенной в табл. 3.

Таблица 3 – Матрица неизменности показателей элементов системы ВАДС при экспериментальных исследованиях

Эффективность элемента системы ВАДС (искомый показатель)	Элемент системы, влияние которого принимается неизменным при экспериментальном определении искомого показателя		
$\mathcal{E}_B$	B_A	B_D	B_C
$\mathcal{E}_A$	A_B	A_D	A_C
$\mathcal{E}_D$	D_B	D_A	D_C
$\mathcal{E}_C$	C_B	C_A	C_D

В табл.3: B_A , B_D , B_C – значимые показатели автомобиля, дороги и среды при экспериментальном определении влияния водителя автомобиля на эффективность системы ВАДС; A_B , A_D и A_C – значимые показатели водителя, дороги и среды при экспериментальном определении влияния автомобиля на эффективность системы ВАДС; D_B , D_A и D_C – значимые показатели водителя, автомобиля и среды автомобиля при экспериментальном определении влияния дороги на эффективность системы ВАДС; C_B , C_A и C_D – значимые показатели водителя, автомобиля и дороги при экспериментальном определении влияния среды на эффективность системы ВАДС;

По аналогичной методике определяется влияние отдельных элементов системы ВЭДС на ее эффективность функционирования (табл.4).

Таблица 4 – Матрица неизменности показателей элементов системы ВЭДС при экспериментальных исследованиях

Эффективность элемента системы ВЭДС (искомый показатель)	Элемент системы, влияние которого принимается неизменным при экспериментальном определении искомого показателя		
$\mathcal{E}_{BЭ}$	$B_{ЭМ}$	$B_{DЭ}$	$B_{CЭ}$
$\mathcal{E}_{ЭМ}$	$A_{BЭ}$	$A_{DЭ}$	$A_{CЭ}$
$\mathcal{E}_{DЭ}$	$D_{BЭ}$	$D_{ЭМ}$	$D_{CЭ}$
$\mathcal{E}_{CЭ}$	$C_{BЭ}$	$C_{ЭМ}$	$C_{DЭ}$

В табл.4: $B_{ЭМ}$, $B_{DЭ}$, $B_{CЭ}$ – значимые показатели электромобиля, дороги и среды при экспериментальном определении влияния водителя на эффективность системы ВЭДС; $A_{BЭ}$, $A_{DЭ}$ и $A_{CЭ}$ – значимые показатели водителя, дороги и среды при экспериментальном определении влияния электромобиля на эффективность системы ВЭДС; $D_{BЭ}$, $D_{ЭМ}$ и $D_{CЭ}$ – значимые показатели водителя, электромобиля и среды при экспериментальном определении влияния дороги на эффективность системы ВЭДС; $C_{BЭ}$, $C_{ЭМ}$ и $C_{DЭ}$ – значимые показатели водителя, электромобиля и дороги при экспериментальном определении влияния среды на эффективность системы ВЭДС.

Обсуждение

Оценка и изыскание путей повышения эффективностей функционирования систем ВАДС и ВЭДС в горных и высокогорных условиях Республики Таджикистан являются одним из наиболее острых и актуальных вопросов сегодняшнего дня. При однозначной стратегической важности и значимости электрификации транспортного сектора республики вопросы, связанные с установлением

рационального сочетания уровней автомобилизации и электромобилизации, выступают важным аспектом развития народного хозяйства страны.

Эффективность электромобиля в разы превышает эффективность автомобиля, оснащенного ДВС, экологичность электромобиля в условиях Республики Таджикистан близка к совершенству, где более 90% всей электроэнергии вырабатывается на ГЭС. Экономичность электромобиля, рассчитанная как удельные энергетические затраты, переведенные на денежную единицу, в 5-6 раз выше, чем автомобиль. Она обусловлена высокими КПД ЭД и трансмиссией электромобиля.

Наряду множества преимуществ имеются также некоторые недостатки электромобиля, основными из которых являются ограниченный запас хода, проблемы, связанные с утилизацией тягового АКБ, недоступность зарядных устройств в горных и высокогорных регионах и др., являющиеся вопросом времени.

Таким образом, эксплуатация электромобилей и налаживание их производства в республике являются стратегически важными направлениями, обеспечивающими энергетическую независимость страны, повышение жизненного уровня населения, доступность и культуру транспортных услуг, создание рабочих мест, развитие отечественной машиностроительной отрасли и т.д., что в целом служит существенным толчком развития прочих отраслей народного хозяйства Таджикистана.

Выводы

1. Предложена методика оценки эффективностей функционирования систем ВАДС и ВЭДС, на основе которой установлены численные значения эффективностей их функционирования в горных и высокогорных условиях.

2. Установлены и обоснованы преимущества, а также стратегическая важность функционирования системы ВЭДС для условий Республики Таджикистан.

Рецензент: Амиров Н.Р. — к.т.н., доцент кафедры «Технический сервис и ремонт машин» ТПУ им. Ш. Шотемур

Литература

1. Умирзоков, А.М. Теоретические основы оценки и повышения эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях: монография/А.М. Умирзоков. – Душанбе: ООО «Сифат-Офсет», 2023. – 218 с.

2. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации: монография/ А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003. – 356 с.

3. Об эффективности электромобилей или критика одной ошибки аналитического центра при Правительстве РФ // <https://rem235.livejournal.com/3193.html> (дата обращения 23.09.2024).

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

TJ	RU	EN
Умирзоков Аҳмад Маллабоевич	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Umirzokov Ahmad Mallaboevich
к.т.н., доцент	н.и.т., дотсент	Candidate of Technical Sciences
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ им. акад. М.С. Осими	TTU named after. acad. M.S. Osimi
E-mail: ahmad.umirzokov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Алланазаров Акмал Абдулҳақович	Алланазаров Акмал Абдулхакович	Allanazarov Akmal Abdulxaqovich
Доктори ҳобилитат аз руи фанҳои техникӣ, дотсент, декани факултети механика ва қорҳои қуҳӣ	Доктор PhD по техническим наукам, доцент, декан факультета “Инженерия и горное дело”	PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Mining
Донишгоҳи давлатии Инженерия ва агротехнологияи Термез	Термезский государственный университет инженерии и агротехнологии	Termez State University of Engineering and Agrotechnology
TJ	RU	EN
Бердиев Алишер Луғмонович	Бердиев Алишер Лугмонович	Berdiev Alisher Lugmonovich
муаллими калон	ст. преподаватель	Senior teacher
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ им. акад. М.С. Осими	TTU named after. acad. M.S. Osimi
E-mail: alik8405@inbox.ru		

УДК 691.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА

Дж.А. Бердиев, Р.Х. Сайрахмонов, С.С. Умаров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе рассмотрены теоретические аспекты возможности применения холодного асфальтобетона при строительстве и капитальном ремонте дорожных покрытий, расположенных на высоте свыше 2500м. Приведенное в работе сравнение эффективности применения холодного асфальтобетона в горных условиях с горячими асфальтобетонами показывает, что количество битума в холодных смесях на 25-30% меньше, чем в горячих, покрытие на основе холодных смесей не склонно к образованию трещин при эксплуатации. Разработан состав холодного асфальтобетона из местных материалов. Показано, что разработанные составы по всем показателям физико-механических свойств соответствуют нормативным требованиям для применения на автомобильных дорогах в горных и высокогорных районах Республики Таджикистан.

Ключевые слова: вертикальная зональность, жидкий битум, холодный асфальтобетон, дорожное покрытие, горячий асфальтобетон

БО ТАВРИ НАЗАРЯВӢ ВА ФИЗИКАВӢ-МЕХАНИКӢ АСОСНОКУНИИ МУФИДИИ ИСТИФОДАИ АСФАЛЬТОБЕТОНИ ХУНУК ДАР ШАРОИТИ ТОҶИКИСТОН

Ҷ.А. Бердиев, Р.Ҳ. Сайрахмонов, С.С. Умаров

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осими

Дар кори мазкур ҷабҳаҳои назариявии имконияти истифодаи асфальтобетони хунукро ҳангоми таъмири капиталӣ ва сохтмони қабатҳои роҳҳои мошингард дар баландии то 2500м аз сатҳи баҳр омухта шудааст. Дар кори мазкур муфиднокии истифодаи асфальтобетони хунук аз ҷиҳати техникӣ-технологӣ ва иқдисодӣ дар минтақаҳои баланкӯҳ дар муқоиса нисбат ба дигар намуди асфальтобетонҳои тафсон нешонда шудааст, ба монанди: аз 20 то 30% ҳарачоти битум; - нигоҳ доштани захираи омехтаи асфальтобетони хунук то 6 моҳ; Дар кори мазкур инчунин тақибӣ омехтаи асфальтобетонҳои хунук қорқар карда шуда ва ҳосияти физикавӣ-механикии онҳо омухта шудааст.

Калидвожаҳо: баланди аз сатҳи баҳр, битуми қорӣ, асфальтобетони хунук, қабатҳои роҳ, асфальтобетони тафсон.

HEORETICAL BACKGROUND AND PHYSICAL-MECHANICAL JUSTIFICATION OF THE USE OF COLD ASPHALT CONCRETE IN TAJIKISTAN

Ch.A. Berdiev, R.Kh. Sayrahmonov, S.S. Umarov

Dar kori mazkur ҷабҳаҳои назариявии имконияти истифодаи асфальтобетони хунукро ҳангоми таъмири капиталӣ ва сохтмони қабатҳои роҳҳои мошингард, ки дар баландии то 2500м аз сатҳи баҳр омухта шудааст. Дар кори мазкур нисбат ба дигар намуди асфальтобетонҳои тафсон нешонда шудааст, ба монанди: аз 20 то 30% кам бартари дошта ва дар қабатҳои роҳҳои аз ин намуд асфальтобетонҳои тафсон сохтшуда тақибӣ нисбатан камтар ҳангоми истифода паёдо мешаванд. Дар кори мазкур инчунин тақибӣ омехтаи асфальтобетонҳои хунук қорқар карда шуда ва ҳосияти физикавӣ-механикии онҳо омухта шудааст.

Kalidvozhaho: balandi az sathi bakhr, bitumi kori, asphalt concrete hunuk, kabatchoi roh, asphalt concrete tafson.

Введение

Учет дорожно-климатического районирования в горных условиях Республики Таджикистан, как и других воздействующих факторов, очень важен при проектировании, строительстве и эксплуатации дорожных одежд. Особая значимость данного вопроса в горных регионах, прежде всего, определяется вертикальной зональностью, геолого-гидрологическим разнообразием, а также температурным режимом покрытия проезжей части. Известно, что специфика горной страны не позволяет при проектировании автомобильных дорог пользоваться нормами для этой зоны, т.к. природные условия существенно изменяются в зависимости от высоты территории над уровнем моря, подчиняясь вертикальной зональности. Исходя из увязки с вертикальным дорожно-климатическим районированием, большая протяженность автомобильных дорог в горных районах Республики Таджикистан практически составляет половину её общей сети, обуславливает при проектировании и строительстве автомобильных дорог необходимость дифференцировать принимаемые дорожные материалы. По этой причине возникает важная и актуальная задача поиска альтернативных материалов, способных провести своевременный ремонт асфальтобетонных покрытий и предупредить разрушения дорожных одежд. На основании имеющегося раннего опыта применения холодного асфальтобетона в качестве основного материала для капитального ремонта и строительства дорожного покрытия на горных и высокогорных территориях Республики Таджикистан актуальным является применение холодных асфальтобетонных смесей для вышеизложенной цели.

Теоретическая часть

Холодный асфальтобетон является одной из разновидностей асфальтобетона, производится в горячем состоянии, в производственных условиях укладывается в холодном виде. В производственных условиях при строительстве и ремонте автомобильных дорог одной из характерных особенностей холодного асфальтобетона в отличие от горячего является способность оставаться рыхлым в течение длительного срока после его приготовления. Можно отметить, что такие способности холодного асфальтобетона с точки зрения календарного планирования создают удобства при устройстве и ремонте

дорожных покрытий. Кроме того, холодный асфальтобетон можно укладывать в тонких слоях (1,0-1,5 см), которые позволяют широко применять этот материал как защитные слои дорожных покрытий автомобильных дорог.

Опыт дорожного строительства показывает, что использование холодного асфальтобетона в ряде случаев весьма эффективен, можно отметить, что особенно удобен для текущего ремонта дорожных покрытий при эксплуатации. Поэтому состав, способности холодного асфальтобетона в разные периоды дорожного строительства изучали многие исследователи [1,4,6]. По их мнению, способность холодного асфальтобетона длительное время оставаться рыхлым и уплотняться в холодном состоянии обусловлена с применением в их состав вяжущих материалов с меньшей начальной вязкостью. Кроме того, у холодного асфальтобетона количество битума меньше по сравнению с асфальтобетоном, укладываемым в горячем состоянии. При укладке холодного асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог он не набирает в ранее сроки необходимую плотность и прочность [4,5,6].

Опыт устройства дорожных покрытий из холодного асфальтобетона показывает, что такие покрытия приобретают необходимую плотность постепенно под действием движущихся транспортных средств. В этом аспекте можно отметить, что при таком формате авторы [4,5,6] предлагают, что в начальные периоды формирования дорожных покрытий с применением холодных смесей скорости движения транспортных средств должно быть не выше 50км/ч.

Практический опыт применения холодных асфальтобетонов в дорожных покрытиях показывает, что требуемая плотность таких покрытий при эксплуатации достигается в период 3 месяцев. В технических литературах приведено, что набранная плотность холодного асфальтобетона в дорожных покрытиях соответствует плотности образцов, уплотняющих нагрузкой 40МПа в течение 3 мин при температуре 15-20°C [3-6].

В производстве в целях обеспечения необходимой механической прочности холодного асфальтобетона в его состав вводится большее количество минерального порошка. Меньшее количество битума в холодном асфальтобетоне по сравнению со смесями, горячим асфальтобетоном обуславливается за счет меньшей вязкости битума, при этом жидкий битум распределяется в холодном асфальтобетоне более тонкими слоями на поверхности минеральных составляющих [2,6,14]. Такое распределение битума, имея в виду тонкие битумные слои, обеспечивает хорошее сцепление минеральных частиц в процессе уплотнения смеси и является одним из факторов, определяющих механическую прочность.

Научные опыты показывают, что в производственных условиях при эксплуатации холодного асфальтобетона в дорожных покрытиях по мере увеличения вязкости битума его прочность возрастает. В этом аспекте авторы [4,2,7] в своих исследованиях показывают, что в этом процессе на прочность холодного асфальтобетона оказывают влияние плотность смеси и коэффициент внутреннего трения. Кроме того, авторы [7,8,9,14] предлагают, что в холодном асфальтобетоне применение каменных материалов угловатых зерен с шероховатой поверхностью способствует лучшему взаимному заклиниванию частицы, в результате повышает его физико-механические свойства. Для этого в практических условиях для обеспечения качества холодного асфальтобетона надо обязательно в его составе применять дробленые каменные материалы. Кроме того, при подборе состава холодного асфальтобетона надо разработать состав смеси, которая наряду с другими свойствами будет поддаваться более интенсивному уплотнению.

Научные опыты и практика применения холодного асфальтобетона в дорожных покрытиях показывают, что при эксплуатации показатели сцепления битума с каменными материалами являются основной характеристикой битума, как вяжущего в холодном асфальтобетоне. Потому что покрытие из холодного асфальтобетона обладает значительной пористостью и оно способно в большом количестве поглощать воду, именно большая адгезия битума с минеральными материалами способствует повышенной водостойкости холодного асфальтобетона [9,10,13]. Известно, что битумы имеют хорошие сцепления с основными материалами карбонатных пород, потому что в сложном составе битума преобладают анионактивные вещества с кислыми породами, имея в виду (граниты, кварцы), и имеют плохое сцепление. Карбонатные породы имеют положительный знак, кислые отрицательные, с понятной теорией электростатики, битум и карбонатные породы имеют разноименные заряды. Поэтому битум хорошо сцепляется с карбонатными породами. Исходя из этого можно отметить, что в производственных условиях это явление часто доказывает, что асфальтовые бетоны с каменными материалами, полученными из кислых горных пород, имеют недостаточно стойкости против водонасыщения. При эксплуатации в таких покрытиях вода, насыщающая поры асфальтобетона, слабые сцепления битума с поверхностью каменных материалов обуславливают, что пленка битума будет постепенно отслаиваться из поверхности частиц минеральных материалов и вытесняться водой. В практических условиях при эксплуатации такое покрытие, не доходя до нормативных сроков эксплуатации, постепенно разрушится. Отсюда следует, что на покрытие из холодного асфальтобетона отрицательно сказывается насыщение воды при его формировании в начальный период. Кроме этого, холодный асфальтобетон с использованием слабых и окатанных каменных материалов в дорожных покрытиях с течением времени приобретает гладкую, шлифованную поверхность. При увлажнении такое покрытие становится скользким, в практических

условиях его устраняют введением в состав минеральной части холодного асфальтобетона песка или гранитных высевок. По мнению авторов [8,10], дорожные покрытия на основе холодного асфальтобетона с применением песка или гранитных высевок обладают достаточной шероховатостью. Другие авторы [12,13] в своих исследованиях предлагают, что для повышения шероховатости покрытия из холодного асфальтобетона можно дополнительно устроить слои поверхностной обработкой или вытапливанием в уложенный слой черного щебня.

Обычно при эксплуатации стандартами для холодного асфальтобетона допускается водонасыщение несколько большее, чем для горячего асфальтобетона. Это объясняется тем, что по мере уплотнения горячего асфальтобетона в покрытии его водонасыщение будет снижаться. В практических условиях для снижения водонасыщения холодного асфальтобетона надо увеличивать в его составе количество битума. Опыт показывает, что в практических условиях увеличение количества битума в холодном асфальтобетоне увеличивает его слеживаемость во время хранения. Обычно в теории битумо-минеральных материалов нижний предел водонасыщения регламентируется, так как применяются менее вязкие битумы. Так как в холодном асфальтобетоне применяются менее вязкие битумы, они обуславливают его склонность к образованию сдвигов, наплывов и волн. В случае применения в составе холодных асфальтобетонов более жирных смесей, имеющих меньшее водонасыщение, эти явления будут усиливаться, не говоря о повышенный его слеживаемости. При оценке пористости смеси, что особенно важно при уточнении количества битума, необходимо полученную величину объемного водонасыщения уменьшить на величину набухания и исходя из полученных результатов уточнить содержание битума. Это важно потому, что набухание холодного асфальтобетона больше, чем горячего, и его необходимо учитывать. Вопрос об удобообрабатываемости холодного асфальтобетона или его способности длительное время оставаться в рыхлом состоянии в производственных условиях имеет особое значение. В производственных условиях при применении холодного асфальтобетона в дорожных целях вышеизложенные характеристики асфальтобетона в определенном смысле являются оценкой качества этого материала. Слеживаемость холодного асфальтобетона является основной его технологической характеристикой, в практических условиях холодный асфальтобетон при хранении склонен к слеживанию, при этом смесь утрачивает свое основное преимущество и его невозможно применять в целях дорожного строительства в холодном виде. Известно, что смеси таких материалов нельзя транспортировать к месту использования и тем более укладывать в покрытие ровным слоем заданной толщины. Отсюда можно сделать выводы, что вопрос оценки степени слеживаемости и разработка методов подбора состава удобообрабатываемого холодного асфальтобетона являются актуальными и в настоящее время привлекают к себе внимание специалистов дорожного строительства и научных работников этой отрасли.

Можно отметить, что вопросами обеспечения технологичности холодного асфальтобетона занимались многие исследователи. В исследованиях Е. Н. Козлова [16] предложен принцип подбора оптимального количества вяжущего в холодном асфальтобетоне. Автор в своих исследованиях предложил, что смеси холодного асфальтобетона, содержащие на 20% меньше количества вяжущего того количества, которое соответствует максимальной прочности образцов при сжатии, сохраняют рыхлость и не слеживаются при хранении. Кроме того, в технических литературах проведено, что на слеживаемость холодного асфальтобетона влияет также и технологический процесс его приготовления, и режим его охлаждения. Большинство работ [8,11,13] посвящено степени температуры приготовления смесей холодных асфальтобетонов. По их мнению, температура смеси холодных асфальтобетонов, выходящая из смесителей, в основном составляет 110-120° С, несмотря на температуру выхода смеси имеется момент их складирования. По их мнению, до момента складирования смесь надо обязательно охладить до 50-60°С. Практика складирования и применения холодного асфальтобетона показывает, что чем ниже температура смеси, поступающей на склад, тем лучше условия ее хранения и тем меньше она будет слеживаться. Поэтому охлаждение смеси до ее складирования является неотъемлемым элементом всего технологического процесса. Слеживание смеси холодного асфальтобетона зависит от условия его хранения, можно отметить, при его хранении в складских условиях. В холодном асфальтобетоне даже в нормальных условиях слеживаемости при хранении в смесях могут образоваться слабые комья, легко поддающиеся рыхлению. На этой основе ГОСТ 9128-2009 предусматривает две марки холодных асфальтобетонных смесей. Обе характеризуются в зависимости от класса применяемого вяжущего и качества используемых минеральных материалов. Известно, что холодные смеси, содержащие жидкий битум класса СГ, относятся к первой марке, обеспечивают более быстрое формирование дорожного покрытия в сравнении со смесями второй марки, содержащими битумы класса МГ.

ГОСТ 9128-2009 предусматривает гранулометрические составы холодных асфальтобетонных смесей в отличие от горячих смесей по повышенному содержанию минерального порошка в холодных смесях. Вышесказанное предусматривает, с точки зрения структуры холодного асфальтобетона, особенности применяемых в данном случае битумов. Для того чтобы усилить процессы структурообразования при жидких битумах важно вводить в холодный асфальтобетон достаточное количество минерального порошка. Кроме того, известно, что количество щебня в холодных асфальтобетонных смесях не превышает 50%. Практика устройства дорожных покрытий из холодных смесей показывает, что при введении в холодный асфальтобетон большего количества щебня

ухудшаются условия формирования покрытия. Применение в состав холодных смесей более крупного щебня ухудшает условия формирования покрытия, для этого в производственных условиях наибольший размер зерен в холодном асфальтобетоне составляет 10 или 15 мм. Кроме того, для холодного асфальтобетона применяют жидкие битумы марок СГ-70/130 или МГ-70/130. В практике по производственным нуждам, если холодную асфальтобетонную смесь по необходимости длительное время хранить на складе или она предназначена для применения при сравнительно низких температурах, то следует выбирать битум с меньшей вязкостью в пределах указанных границ. Каменные материалы должны выбирать согласно требованиям. Например, выбор щебня для холодного асфальтобетона следующий: -щебень из изверженных и метаморфических горных пород должен иметь марку не ниже 1000 (для холодных асфальтобетонных смесей I марки) и не ниже 800 (для холодных асфальтобетонных смесей II марки). Щебень из карбонатных и других осадочных пород должен иметь марку не ниже 600 и 800 (соответственно для холодных асфальтобетонных смесей I и I марок). Для того, чтобы получать высококачественные холодные смеси надо выбрать прочные каменные материалы. Можно отметить, что такой выбор особенно относится для холодного асфальтобетона, применяемого для поверхностной обработки дорожных покрытий.

Практика применения холодных асфальтобетонов показывает, что холодные асфальтобетоны с применением активированных минеральных порошков имеют более повышенные физико-механические свойства. Это изложение доказано действующим ГОСТом, где предусматривается преимущественное применение в холодном асфальтобетоне активированных минеральных порошков, способствующих повышению качества этого материала и, что особенно важно для расширения области его применения ускорению формирования устойчивого покрытия. В исследованиях авторов рассмотрено влияние активированных минеральных порошков на свойства холодного асфальтобетона.

Холодный асфальтобетон в настоящее время широко используется в государствах СНГ и зарубежных стран. Холодные асфальтобетоны, принимаемые в странах США и Европы, существенно отличаются от холодного асфальтобетона, применяемого в наших условиях. В некоторых странах Европы он отличается по характеру используемого битума, а также по технологии приготовления и укладки. В США для приготовления холодного асфальтобетона применяют быстрогустеющий жидкий битум, обеспечивающий быстрое формирование покрытия. Для примера приводим примерный состав холодных смесей для верхнего слоя покрытия. Минеральные материалы мельче 5 мм, гашеная известь -0,5-1,0%, вязкий битум (с пенетрацией 80—100) 4,5-7,0% и газолин в качестве разжижителя в количестве 0,2 до 1,5%. Для нижнего слоя применяют асфальтобетонную смесь с максимальным размером зерен 31,7 мм, а для поверхностной обработки - с наибольшим размером зерен 2,38 мм. Для этих двух случаев используют асфальтобетонные смеси, содержащие несколько меньше битума и гашеной извести. Содержание газолина находится примерно в тех же пределах, что и для верхнего слоя.

При устройстве двухслойных покрытий автомобильных дорог с точки зрения принимаемого медленногустеющего или среднегустеющего битума в холодных смесях асфальтовых бетонов использование быстрогустеющих битумов позволяет сокращать период формирования двухслойных покрытий. Особенности технологического процесса приготовления вышеприведенного холодного асфальтобетона состоят в следующем. Каменные материалы разделяются по фракциям с использованием грохота, после высушиваются. Они имеют температуры в пределах от 10 до 50° С. До подачи в мешалку извести и вязкого битума минеральная смесь перемешивается с заданным количеством разжижителя. Покрытие уплотняется преимущественно пневморезиновыми катками. Присутствие в холодном асфальтобетоне извести-пушонки способствует повышению прочности и водоустойчивости покрытия.

Органическими вяжущими, принимаемыми как связующий материал в холодном асфальтобетоне, являются битумы - нефтяные жидкие, имеющие жидкотекучее состояние при положительных температурах, используются в качестве вяжущего материала в асфальтобетонных смесях, применяемых в холодном и теплом состояниях при строительстве и ремонте дорожных покрытий. Жидкие битумы получают путем смешения вязкого битума с разжижением вязких битумов жидкими нефтяными продуктами установленного фракционного состава. Вследствие этого получаемые битумы часто именуются разжиженным битумом, реже жидкие битумы получают в виде остатка от переработки нефти.

Разжижителями для получения жидких битумов служат органические жидкости, свойства разжиженных битумов в большой степени определяются свойствами используемых разжижителей. Разжижители выбирают по фракционному составу и полярности в зависимости от требуемого класса жидкого битума и свойства разжижаемого вязкого битума. Одним из важнейших признаков разжиженных битумов является скорость формирования их структуры, со временем вязкость жидких битумов повышается вследствие испарения содержащихся в них летучих масел и частично происходящих процессов окисления и полимеризации. При изменении вязкости битумов в период работы в дорожном покрытии определяется и скорость формирования покрытий. В зависимости от скорости формирования структуры или испарения легких фракций разжижителя жидкие битумы подразделяются на три класса: быстрогустеющие (БГ), густеющие со средней скоростью (СГ) и медленногустеющие (МГ). Битумы классов БГ и СГ широко используются в зарубежных странах, опыт строительства дорог показывает, что холодные

асфальтобетоны с применением таких битумов в процессе эксплуатации обеспечивают быстрое формирование дорожных покрытий. Раньше битумы классов БГ и СГ практически не выпускались в промышленности стран СНГ.

В ГОСТ11955-74 приведены требования к жидким битумам и быстрогустеющим битумам. В нем приведено, что основными свойствами жидких битумов являются условная вязкость; скорость загустевания; температура размягчения. Кроме того, в практических условиях дополнительными характеристиками жидких битумов являются сцепление на поверхности минеральных материалов и температура вспышки.

В практических условиях вязкость характеризует технологичность жидкого битума, определяется в лабораторных условиях с использованием прибора вискозиметра. Вязкость выражается в секундах, где одна секунда по стандартному вискозиметру примерно соответствует $2,5 \cdot 10^{-2}$ – $3 \cdot 10^{-2}$ Па с абсолютной вязкостью. Условная вязкость характеризуется временем через калиброванное отверстие прибора вискозиметра прохода 50мм жидкого битума при температуре 60°C. Вязкость жидких битумов обозначается C_{60} , где верхний индекс - диаметр сточного отверстия в миллиметрах и нижний - температура испытаний в градусах. Пересчет условной вязкости на динамическую проводится формулой:

$$\eta = (1,4 + 0,3x)8,1$$

где, η - динамическая вязкость, Па с; x - условная вязкость при 60°C

В производственных условиях при строительстве автомобильных дорог с применением холодного асфальтобетона к быстрогустеющим битумам имеется широкий интерес производителей. Особенно в государствах, где широко применяются холодные асфальтобетоны. В США до 25% от общего количества битумов, используемых в дорожном строительстве, составляет быстротвердеющий жидкий битум [8,16].

В настоящее время в странах Европы, Канаде и во многих других странах СНГ широко используется жидкий битум. Отсюда следует, что опыт применения холодный асфальтобетон с применением жидких битумов в настоящее время достаточно развивается во всех странах мира. Можно отметить, что интересы развития дорожного хозяйства Республики Таджикистан и совершенствования технологии строительства дорожных покрытий в горных условиях диктуют необходимость организации выпуска жидких битумов для производства холодного асфальтобетона. В нашей стране широкий ассортимент жидких битумов и прежде всего природных битумов дают основы производства жидких битумов. Природные битумы по составу и свойствам приближаются к нефтяным битумам, однако они в природных условиях в чистом виде встречаются очень редко. Они чаще встречаются как битуминозные породы, можно отметить, как горные породы, пропитанные природным битумом.

В Республике Таджикистан расположены месторождения нефти Кичик-Бель, Акбаш-Адыр и Южный Кум. Нефти месторождения Кичик-Бель, Акбаш-Адыр и Южный Кум относятся к естественным жидким битумам [15]. По данным авторов [15], структура вышеприведенных природных битумов и их характеристики близки к характеристикам нефтяных битумов. Кроме того, технические требования к природным битумам одинаковы с требованиями к нефтяным битумам. Для этого после установления условной вязкости, класса и дополнительных характеристик такие местные жидкие битумы применяют для производства холодного асфальтобетона.

Таким образом, на основе вышеизложенного теоретического обзора по преимуществам и недостаткам холодного асфальтобетона можно сделать вывод, что холодный асфальтобетон можно использовать для капитального ремонта и строительства покрытий, расположенных на высоте свыше 2500м от уровня моря. На этой основе можно предположить, что в настоящее время в Республике Таджикистан имеются все возможности для создания высококачественного холодного асфальтобетона, а именно, имеются большие запасы каменных материалов для производства щебня высокого качества и источник природных нефтей для производства жидких битумов. Кроме того, запасы госсиполовой смолы (ГС), как пластифицирующей добавки, для холодного асфальтобетона накопились на протяжении многих лет.

Экспериментальная часть

В некоторых республиках Средней Азии до 90-ых годов прошлого века холодный асфальтобетон применялся для строительства и капитального ремонта автомобильных дорог, расположенных на высоте свыше 2500м. С экономической точки зрения, особенно сравнение составов холодного и горячего асфальтобетона и с точки зрения долговечности в горных условиях, холодный асфальтобетон имеет некоторые преимущества в сравнении с горячим асфальтобетоном. Кроме того, исходя из увязки с вертикальным дорожно-климатическим районированием большая протяженность автомобильных дорог в горных районах Республики Таджикистан, которые практически составляют половину её общей сети, обуславливает необходимость применения холодного асфальтобетона [14]. Для сравнения составов холодного и горячего асфальтобетонов нами составлена таблица1.

Таблица 1 – Принимаемые материалы для холодных и горячих смесей асфальтобетонов

Состав смесей	Холодный		Горячий	
	Тип	Количество, %	Тип	Количество, %
Щебень	-	-	А	50-60
	Б _х	40-50	Б	40-50
	В _х	30-40	В	30-40
Минеральный порошок	-	-	А	4-10
	Б _х	8-12	Б	6-12
	В _х	12-17	В	8-14
	Г _х Д _х	12-20	Г	8-16
			Д	10-16
Битум	-	-	А	4,5-6
	Б _х	3,5-5,5	Б	5,0-6,5
	В _х	4,0-6,0	В	6,0-7,0
	Г _х Д _х	4,5-6,5	Г,Д	6,0-9,0

Данные табл.1 показывают, что количество битума в холодных смесях меньше, чем количество битума в смесях горячих асфальтобетонов. Гранулометрические составы холодных смесей отличаются от горячих смесей в сторону повышения содержания количества принимаемого минерального порошка. Количество содержания щебня в холодных смесях максимум составляет 50%. В практических условиях физико-механические свойства холодного асфальтобетона уступают свойствам горячего асфальтобетона, однако при эксплуатации в дорожных покрытиях заметно изменяются физико-механические свойства асфальтобетона в сторону улучшения. Изменение физико-механических свойств холодного асфальтобетона научные исследователи дорожной отрасли и специалисты дорожного строительства оценивают вследствие повышения вязкости битума под воздействием атмосферных факторов. Для этого в производственных условиях используются показатели прочности холодного асфальтобетона при сухом и водонасыщенном состоянии, а также набухании. Кроме того, изготовленные образцы из смесей холодного асфальтобетона подогревают до температуры 90°C.

На этой основе ниже проведено некоторое сравнение физико-механических свойств холодных смесей с горячими смесями. Пористость минеральной части холодных смесей не должна быть более 18-20 %. Остаточная пористость холодных смесей составляет 6-10%, по объему водонасыщения составляет 5-9%, когда у плотного горячего асфальтобетона остаточная пористость составляет до 5%. Коэффициент водостойкости холодных смесей не менее 0,60-0,75, когда у горячих смесей не менее 0,85. Предел прочности холодных асфальтобетонов при температуре 20°C составляет для всех типов и марок не менее 1- 1,7МПа, когда предел прочности горячих асфальтобетонов при температуре 20°C составляет для всех типов и марок не менее 2,5МПа. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что физико-механические свойства горячих смесей превышают физико-механические свойства холодных смесей асфальтобетонов. Однако в производственных условиях холодные смеси рекомендуются использовать в дорогах с менее низкой технической категорией.

Для определения физико-механических свойств холодного асфальтобетона с применением местных минеральных материалов и разжиженного вязкого битума в лаборатории нами были изготовлены образцы холодного асфальтобетона типа Б_х. Состав смеси исследуемого холодного асфальтобетона подбирали исходя с учетом смеси 11 марок.

В качестве крупного составляющего использовали щебень фракции 5-15мм, получаемый дроблением гранитных горных пород, щебня, которые имели угловатую форму и шероховатую поверхность. В качестве мелкого составляющего исследуемого холодного асфальтобетона использовали песок из отсевов дробления гранита. В качестве минерального порошка использовали продукт размола местных известняков. Жидкий битум СГ 70/130 получали путем разжижения битума БНД 60/90 российского производства.

Состав исследуемого холодного асфальтобетона рассчитывали по методике, принимаемой для расчета составов горячих асфальтобетонов. Состав холодного асфальтобетона следующий, в %: щебень -48; песок- 42; минеральный порошок-10; битум - 4,5%(сверх 100% минеральной части).

Физико-механические свойства компонентов для исследования проверяли в лабораторных условиях. Образцы холодного асфальтобетона изготовили в лаборатории, после их формования определяли их физико-механические свойства. Результаты исследования свойства образцов холодного асфальтобетона приведены в табл.2.

Таблица 2 - Физико-механические свойства холодного асфальтобетона

№ п/п	Наименование показателей	Ед.изм.	Фактические данные	Требования ГОСТ 9128-97
1	Прочность на сжатие при температуре 20°C а) до прогрева б) после прогрева	МПа МПа	1,28 1,52	Не менее 1,0 Не менее 1,3
2	Коэффициент водостойкости а) до прогрева б) после прогрева		0,68 0,88	Не менее 0,60 Не менее 0,80
3	Пористость минерального остова	%	16,0	Не более 18
4	Остаточная пористость	%	7,6	6-10
5	Водонасыщение	%	6,4	5-9
6	Слѣживаемость	Число ударов	8	Не более 10

Данные, приведенные в табл.2, показывают, что образцы холодного асфальтобетона с использованием местных минеральных материалов, именно отсеков от дробления гранитных каменных материалов, показывают положительные физико-механические свойства. Прочность при сжатии при температуре 20°C до прогрева составляет 1,28 МПа, после прогрева составляет 1,52 МПа; остаточная пористость смесей холодного асфальтобетона составляет 7,6 % и коэффициент водостойкости исследуемых образцов составляет 0,66 до прогрева, после прогрева составляет 0,87.

Выводы

Проведен теоретический обзор о преимуществе и недостатках холодных асфальтобетонов в дорожном хозяйстве. Анализ работы ученых и специалистов дорожного строительства показывает, что в настоящее время имеются все предпосылки в Республике Таджикистан для создания холодного асфальтобетона для строительства и капитального ремонта дороги на участках с высотой более 2500 м от уровня моря.

Основное преимущество холодного асфальтобетона в сравнении с горячим асфальтобетоном, с технологической точки зрения, между приготовлением смеси и укладкой смеси, холодные асфальтобетоны можно хранить в течение 6 месяцев, это дает широкие возможности при составлении плана строительства дорог. Расход битума в холодных смесях снижается до 30%. Холодные смеси можно транспортировать на большие расстояния. Холодные асфальтобетонные смеси широко используют для капитального и текущего ремонта дорожных покрытий. Широко используют холодный асфальтобетон, как основной материал, для устройства верхних слоев дорожных покрытий в горных условиях. Покрытия на основе холодных смесей не склонны к образованию трещин при эксплуатации. Разработанные составы по всем показателям физико-механических свойств соответствуют нормативным требованиям для применения на автомобильных дорогах в горных и высокогорных районах Республики Таджикистан.

Рецензент: Бобиев Р.С. — к.т.н., доцент, директор Государственного учреждения «Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание» при Министерстве транспорта Республики Таджикистан

Литература

1. Каримов Б.Б. Дорожное хозяйство Таджикистана (Пути совершенствования) - М.: Можайский, 1993, 328с.
2. Н.В. Горельшев. Асфальтобетон и другие битумо-минеральные материалы. М.: Можайск-Терра. 1995.- 176с.
3. Чернов С.А. Холодная асфальтобетонная смесь для ямочного ремонта покрытий автомобильных дорог в зимний период // Изв. Рост. гос. строит. ун-та. - 2007. - № 11 - С. 326-327.
4. Чернов С.А. Вяжущее для холодного асфальтобетона // Изв. Рост. гос. строит. ун-та. - 2008. - № 12 - С. 377-378.
5. Чернов С.А., Кучеров В.А. Альтернативный материал для ямочного ремонта покрытий автомобильных дорог // «Строительство - 2009»: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2009. - С.6.
6. Чернов С.А. Комплексное вяжущее для холодных асфальтобетонных смесей // Изв. Рост. гос. строит. ун-та. - 2009. - № 13. - С. 377-378.
7. Чернов С.А., Горелова И.А., Маловичко Ю.А. Основные принципы регулирования свойств холодных асфальтобетонных смесей // Изв. Рост. гос. строит. ун-та. - 2010. - № 14. - С. 357-354.
8. Чернов С.А., Мардиросова И.В. Комплексное модифицированное вяжущее для холодных асфальтобетонных смесей // «Дороги и мосты»: науч. -техн. сб. Выпуск 23/1.- М., 2010. - С. 228-237.
9. Лаврухин В.П. и др. Холодные асфальтобетонные смеси с повышенными физико-механическими свойствами на жидких битумно-каучуковых вяжущих. /Материалы научно-практического семинара «Новые

технологии и материалы, применяемые при содержании автомобильных дорог», Ростов-на-Дону, РГСУ, 2002, с.54-59.

10. Додхоев И.И. Методы определения сдвигоустойчивости холодного асфальтобетона и пути повышения прочности при сдвиге /тезис докладов Всероссийского семинара-совещания руководителей дорожных научных и проектных организаций. Суздаль, 1998,С.1

11. Додхоев И.И. Особенности технологии холодного асфальтобетона на гранитных щебнях в условиях Республики Таджикистан / Наука и техника в дорожной отрасли, справка ИД-3/155. 02.10.98 г.-4с.

12. Додхоев И.И. Рекомендация по приготовлению и применению холодного асфальтобетона в Таджикистане. МАДИ (ТУ), ВИНТИ 05.10.98 №2934 -В98 -8с.

13. Додхоев И.И. Повышение качества холодного асфальтобетона в условиях Республики Таджикистан с увязкой вертикальной зональности. / МАДИ (ТУ), деп. в ВИНТИ 05.10.98 №2934 -В98 -Юс.

14. Оев А.М., Оев С.А и др. Перспективы использования холодной асфальтобетонной смеси в условиях Таджикистана. Вестник ТТУ, №3(23). 2013. С.101-104.

15. Оев А.М., Оев А.С., Мирзоев С.Б. Выбор нефтяных дорожных битумов в условиях вертикальной зональности Таджикистана. - Доклады НАН, 2010, т.53, №8.-С.633-637.

16. Козлова Е.Н. Исследование холодного дегтебетона для устройства усовершенствованных дорожных покрытий. Авт. дис. канд. техн. наук, М., 1953. - 23 с.

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

TJ	RU	EN
Сайрахмонов Раҳимҷон Ҳусейнович	Сайрахмонов Рахимджон Хусейнович	Sayrakhmonov Rahimjon Huseynovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	candidate of technical sciences associate professor
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ им. акад. М.С. Осими	TTU named after. acad. M.S. Osimi
E-mail: srivakn@mail.ru		
TJ	RU	EN
Бердиев Чамшед Анварович	Бердиев Джамшед Анварович	Berdiev Jamshed Anvarovich
Докторант PhD	Докторант PhD	Doktor of PhD
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ им. акад. М.С. Осими	TTU named after. acad. M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Умаров Сайчамол Саймухторович	Умаров Сайджамол Саймухторович	Umarov. Sayghamol Saymuhtorovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	candidate of technical sciences associate professor
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ им. акад. М.С. Осими	TTU named after. acad. M.S. Osimi
E-mail: srivakn@mail.ru		

АНАЛИЗ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И СТРУКТУРЫ АВТОПАРКА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН В 2019–2024 ГОДАХ

Р.А. Давлатшоев, Ф.И. Джобиров, А.Н. Насризода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматривается динамика изменения количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), уровня смертности и травматизма на дорогах Республики Таджикистан за период 2019–2024 годов. Проанализирована структура и рост автопарка механических транспортных средств, включая легковые, грузовые автомобили, автобусы, мотоциклы и прицепную технику. Представлен сравнительный анализ по видам транспортных средств (ТС), выявлены тенденции, даны предложения по повышению безопасности дорожного движения. Проведён расчёт статистических показателей, представлены графические материалы. Работа носит прикладной характер и может быть полезна для государственных органов, специалистов в области транспортной безопасности, а также для научных и образовательных учреждений.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия (ДТП), автопарк, автотранспортные средства, безопасность, Республика Таджикистан, статистика, анализ, электромобили, смертность, травматизм.

ТАҲЛИЛИ ҲОДИСАҶОИ РОҲУ НАҚЛИЁТИ ВА СТРУКТУРАИ ПАРКИ АВТОМОБИЛИИ

ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН ДАР СОЛҲОИ 2019–2024

Р.А. Давлатшоев, Ф. И. Ҷобиров, А.Н. Насризода

Дар мақола динамикаи тағйирёбии шумораи ҳодисаҳои роҳу нақлиёт (ҲРН), сатҳи марг ва ҷароҳатҳо дар роҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон дар давраи солҳои 2019–2024 баррасӣ мешавад. Сохтор ва рушди парки нақлиёти механикӣ, аз ҷумла автомобилҳои сабукрав, боркаш, автобусҳо, мотосиклҳо ва ҳайати кашанда таҳлил шудааст. Таҳлили муқоисавӣ вобаста ба намудҳои воситаҳои нақлиёт (ВН) гузаронида шуда, тамоюлҳо муайян ва пешниҳодҳо ҷиҳати баланд бардоштани беҳатарии ҳаракат дар роҳҳо пешниҳод гардидаанд. Ҳисобу китобҳои оморӣ ва маводи графикӣ оварда шудаанд. Кор характери амалӣ дошта, метавонад барои мақомотҳои давлатӣ, мутахассисони соҳаи беҳатарии нақлиёт, инчунин муассисаҳои илмӣ ва таълимӣ муфид бошад.

Калидвожаҳо: ҳодисаҳои роҳу нақлиёт, паркҳои нақлиёти автомобилӣ, воситаҳои нақлиёти автомобилӣ, беҳатарӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон, омор, таҳлил, электромобилҳо, фавт, ҷароҳатҳо.

ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS AND VEHICLE FLEET STRUCTURE IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN IN 2019–2024

R.A. Davlatshoev, F.I. Jobirov, A.N. Nasrizoda

The article analyzes the dynamics of road traffic accidents (RTAs), the mortality rate, and injuries on the roads of the Republic of Tajikistan from 2019 to 2024. The structure and growth of the fleet of mechanical vehicles — including passenger cars, trucks, buses, motorcycles, and trailers — are examined. A comparative analysis by vehicle types is presented, trends are identified, and proposals for improving road traffic safety are offered. Statistical indicators and graphical materials are provided. The work has a practical orientation and may be useful for government authorities, transport safety experts, as well as scientific and educational institutions.

Keywords: road traffic accidents, vehicle fleet, transport means, safety, Republic of Tajikistan, statistics, analysis, electric vehicles, mortality, injuries.

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения является одной из ключевых задач в современных транспортных системах, особенно в условиях роста автопарка и интенсификации транспортных потоков. Республика Таджикистан, с учётом своей горной местности и развивающейся дорожной инфраструктуры, сталкивается с рядом вызовов в области организации и регулирования дорожного движения.

За последние годы в стране наблюдается значительное увеличение числа зарегистрированных автотранспортных средств АТС. Вместе с этим изменяется структура автопарка - появляются новые категории транспортных средств, включая электромобили и мотоциклы. Однако рост автопарка на фоне ограниченного развития инфраструктуры сопровождается определёнными рисками, включая увеличение количества ДТП [1].

Анализ проведён на основании официальных статистических данных о количестве зарегистрированных механических транспортных средств (МТС) (включая легковые, грузовые автомобили, автобусы, мотоциклы, прицепы и полуприцепы) (таблица 1), а также о количестве и характере дорожно-транспортных происшествий, зафиксированных на территории республики в период 2019–2024 годов (таблица 2) [2-3].

Таблица 1 – Количество транспортных средств

Год	Всего ТС	Легковые	Грузовые	Автобусы	Мотоциклы	Прицепы	Полуприцепы
		обычные / элек.	обычные / элек.	обычные / элек.	обычные / элек.		
2019	504785	442533 / 0	40853 / 0	15731 / 113	3249 / 0	2086	333
2020	507361	444905 / 0	40869 / 0	15811 / 113	3343 / 0	2106	327
2021	527332	463939 / 0	42145 / 0	15515 / 159	3411 / 145	2002	320
2022	601136	524045 / 0	51781 / 0	16491 / 138	3726 / 587	4246	847
2023	666074	587074 / 2417	52362 / 0	16554 / 210	4071 / 584	5167	846
2024	701231	606296 / 29116	53967 / 0	16520 / 160	19441 / 5081	5164	843

Таблица 2 – Количество дорожно-транспортных происшествий в период 2019–2024 г

Год	Всего ДТП	Легковые ТС	Грузовые ТС	Автобусы	Мотоциклы
		Всего / Погибшие / Раненые	Всего / Погибшие / Раненые	Всего / Погибшие / Раненые	Всего / Погибшие / Раненые
2019	1212	1043 / 334 / 1172	55 / 29 / 51	38 / 9 / 45	23 / 5 / 22
2020	1112	918 / 320 / 1053	49 / 29 / 42	28 / 6 / 28	19 / 5 / 15
2021	1102	989 / 362 / 1096	59 / 39 / 55	29 / 8 / 28	21 / 6 / 18
2022	1096	959 / 320 / 1053	56 / 27 / 65	23 / 11 / 22	16 / 12 / 9
2023	1111	808 / 410 / 883	50 / 49 / 71	20 / 9 / 25	23 / 10 / 19
2024	1236	935 / 427 / 883	79 / 43 / 74	30 / 3 / 28	62 / 25 / 55

Целью настоящего исследования является комплексный анализ дорожно-транспортных происшествий и структуры автопарка Республики Таджикистан в период 2019–2024 годов, с выявлением взаимосвязей между числом транспортных средств и уровнем аварийности.

Исследовательская часть

1. Динамика изменения количества транспортных средств (2019–2024г.)

Динамика численности АТС в Республике Таджикистан за период 2019–2024 годов представлена в таблице 1. Здесь отражено изменение общего числа транспортных средств, а также распределение по категориям: легковые автомобили, электромобили, прицепы и полуприцепы. На основе приведённых данных построен график, отражающий динамику количества транспортных средств в период с 2019 по 2024 годы.

Таблица 1 – Рост автопарка (2019–2024)

Год	Общее число ТС	Легковые авто	Электромобили	Прицепы	Полуприцепы
2019	504 785	442 533	0	2 086	333
2024	701 231	606 296	29 116	5 164	843



Рисунок 1 – Изменение численности автотранспортных средств (2019–2024 г.)

Рост автопарка:

$$\Delta N = N_{2024} - N_{2019} = 701231 - 504785 = 196446 \text{ ТС} \Rightarrow 38.9\% \text{ за 5 лет}$$

Рост электромобилей:

$$N_{\text{эл.2024}} = 29116 \text{ ед.} \Rightarrow \text{доля электромобилей} \approx (29116 / 701231) \cdot 100\% \approx 4,15\%$$

В таблице 1 и на рисунке 1 представлена динамика роста количества зарегистрированных транспортных средств в Республике Таджикистан за период с 2019 по 2024 год. За этот пятилетний период общий автопарк увеличился с 504 785 до 701 231 единицы, что соответствует абсолютному приросту в 196 446 ТС или относительному росту на 38,9 %.

Кроме того, отмечается устойчивый рост количества прицепов (с 2 086 до 5 164) и полуприцепов (с 333 до 843), что свидетельствует о расширении грузового сектора и развитии транспортной логистики.

Наиболее активно растёт сегмент легковых автомобилей, в том числе электромобилей:

- 2019: 442 533 ед. (электромобилей — 0)
- 2024: 606 296 ед. (в том числе 29 116 электромобилей)

Анализ изменений в структуре автопарка за 2019–2024 гг. показывает устойчивую тенденцию к его увеличению. Для количественной оценки этого роста может быть применена экспоненциальная модель, описывающая зависимость общего числа транспортных средств от времени, выраженного в годах.

Общий рост количества транспортных средств может быть описан с помощью экспоненциальной модели [4]:

$$V_{\text{общ}}(t) = V_{\text{общ}}(2019) \cdot (1 + r) \cdot t^{(t-2019)}$$

где:

- $V_{\text{общ}}(t)$ — количество ТС в году t ;
- r — среднегодовой темп роста;
- t — год.

Среднегодовой темп роста:

$$r = \frac{V(2024)^{\frac{1}{5}}}{V(2019)} - 1 = \frac{(701231)^{0.2}}{(504785)} - 1 = 0.068 = 6.8\%$$

Таким образом, среднегодовой прирост автопарка составляет около 6,8 %, что указывает на устойчивую тенденцию к увеличению количества транспортных средств, в том числе за счёт электромобилей и транспортных средств коммерческого назначения.

2. Анализ дорожно-транспортных происшествий (ДТП)

Данные таблицы 2 отражают динамику дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в Республике Таджикистан за период 2019–2024 годов. Представлена общая численность ДТП, а также распределение по видам транспортных средств, количеству погибших и раненых.

Таблица 2 – Динамика ДТП

Год	Всего ДТП	Легковые	Грузовые	Мотоциклы	Погибло	Ранено
2019	1212	1043	55	23	377	1290
2024	1236	883	74	62	498	1040

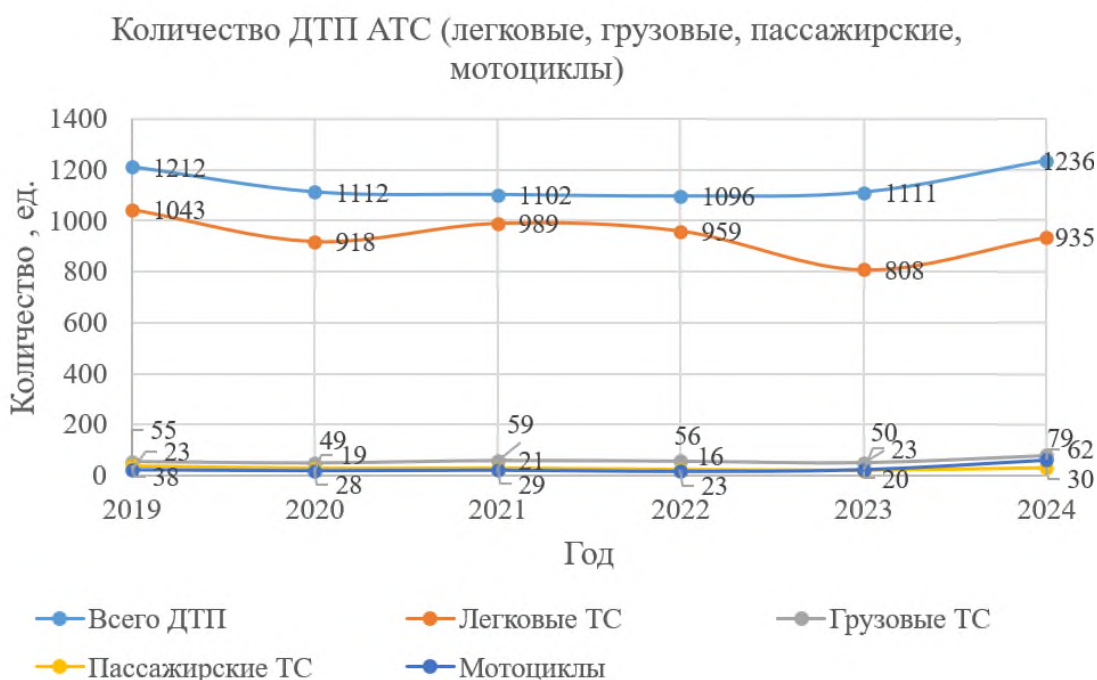


Рисунок 2 – Динамика ДТП

Изменения по категориям транспортных средств:

• ДТП с участием легковых автомобилей сократились с 1043 случаев в 2019 году до 808 в 2023 году.

$$\Delta = 1043 - 808 = 235 \text{ случаев (снижение на 22,5\%).}$$

• ДТП с участием мотоциклов, напротив, значительно увеличились — с 23 случаев в 2019 году до 62 в 2024 году.

$$\Delta = 62 - 23 = +39 \text{ случаев (рост на 169,5\%).}$$

Рост числа погибших:

$$\Delta = 498 - 377 = 121 (+32,09\%)$$

Несмотря на рост автопарка, общее количество ДТП выросло незначительно, что может свидетельствовать о повышении культуры вождения или эффективности надзора.

За период 2019–2024 гг. количество ДТП оставалось относительно стабильным:

- 2019 год: 1212 случаев
- 2024 год: 1236 случаев

Прирост составил:

$$\Delta = 1236 - 1212 = 24 \text{ случая (около 2\% роста)}$$

В 2020 году наблюдается снижение числа ДТП, вероятно, связанное с ограничениями из-за пандемии COVID-19.

Абсолютное количество дорожно-транспортных происшествий в период с 2019 по 2024 годы изменялось незначительно и оставалось примерно на одном уровне. Вместе с тем, если рассматривать аварийность относительно общего числа зарегистрированных транспортных средств, наблюдается заметное снижение — относительная аварийность уменьшилась примерно на 22,5%. Это свидетельствует о том, что при увеличении автопарка в целом риск попадания в ДТП на одно транспортное средство снижается.

Однако в отдельной категории транспортных средств — мотоциклах — наблюдается резкий рост числа ДТП. Такая динамика указывает на необходимость усиления контроля и повышения мер безопасности именно в этой группе участников дорожного движения.

При этом, несмотря на снижение числа ДТП с участием легковых автомобилей, отмечается увеличение количества погибших в этих авариях. Это может свидетельствовать о том, что аварии становятся более тяжёлыми по своей природе, возможно, из-за повышения скоростей или других факторов, влияющих на степень травматизма в результате столкновений.

3. Индекс интенсивности ДТП (коэффициент аварийности)

Индекс интенсивности ДТП — это количественный показатель, отражающий частоту дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на каждые 1000 зарегистрированных транспортных средств за определённый год. Этот показатель позволяет объективно оценить уровень аварийности на дорогах с учётом роста автопарка.

Индекс интенсивности ДТП рассчитывается по формуле:

$$I_t = \frac{N_{\text{ДТП}}}{N_{\text{ТС}}} \cdot 1000,$$

где:

I_t — индекс интенсивности ДТП в году t , $N_{\text{ДТП}}$ — количество ДТП в году t , $N_{\text{ТС}}$ — общее количество зарегистрированных транспортных средств в году t .

Рассмотрим расчёт индекса интенсивности ДТП на примере данных за 2019 и 2024 годы.

- Для 2019 года:

$$N_{\text{ДТП}}=1212, N_{\text{ТС}}=504785$$

$$I_{2019} = \frac{1212}{504785} \cdot 1000 = 2,4$$

- Для 2024 года:

$$N_{\text{ДТП}}=1236, N_{\text{ТС}}=701231$$

$$I_{2024} = \frac{1236}{701231} \cdot 1000 = 1,76$$

Индекс интенсивности ДТП уменьшился с 2,40 в 2019 году до 1,76 в 2024 году, что свидетельствует о снижении относительного уровня аварийности при росте автопарка.

4. Доля погибших и тяжесть последствий

Динамика дорожно-транспортных происшествий (ДТП), а также количество погибших и раненых в Республике Таджикистан за период 2019–2024 годов представлены в рисунке 3.

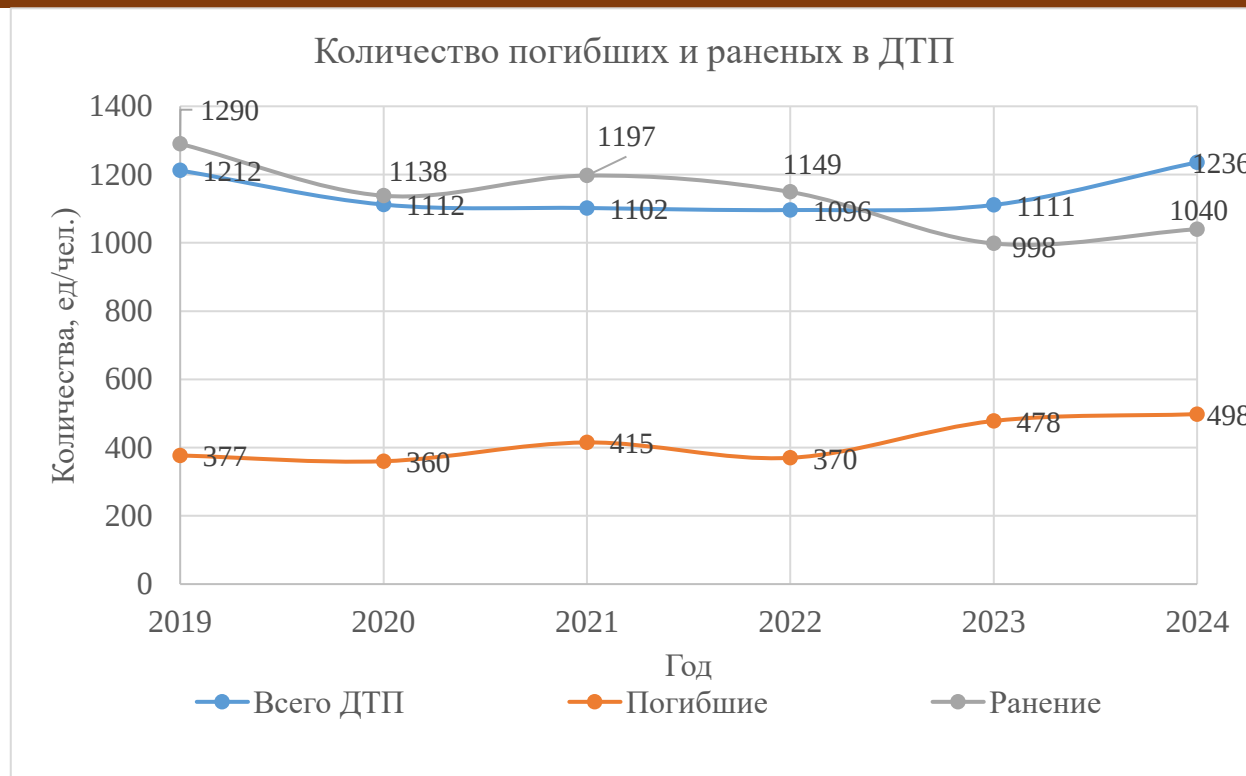


Рисунок 3 – Динамика ДТП, погибших и раненых (2019–2024 гг.)

В течение этого периода наблюдаются колебания в общем числе ДТП, при этом в последние годы отмечается тенденция к увеличению числа происшествий и пострадавших.

Так, общее количество ДТП варьировалось от 1096 до 1236 случаев в год, при этом количество погибших изменялось от 360 до 498 человек, а число раненых — от 998 до 1290 человек. Наибольшее количество погибших зарегистрировано в 2024 году — 498 человек.

Для анализа тяжести дорожно-транспортных происшествий (ДТП) рассмотрим долю погибших от общего числа зарегистрированных ДТП в отдельные годы.

Рассчитаем удельную смертность — отношение числа погибших к количеству ДТП:

$$P_t = \frac{P_t}{H_t} \cdot 100\%,$$

Где:

P_t — количество погибших в году t .

- В 2019 году погибло 377 человека:

$$P_{2019} = \frac{P_{2019}}{H_{2019}} \cdot 100\% = \frac{377}{1212} \cdot 100\% = 31,1\%$$

- В 2024 году погибло 498 человек:

$$P_{2024} = \frac{P_{2024}}{H_{2024}} \cdot 100\% = \frac{498}{1236} \cdot 100\% = 40,2\%$$

Таким образом, несмотря на общее снижение или стабилизацию числа ДТП в рассматриваемый период, доля погибших увеличилась. Это свидетельствует о росте тяжести последствий аварий и подчёркивает необходимость принятия дополнительных профилактических и организационных мер, направленных на повышение безопасности дорожного движения.

5. Анализ по видам транспортных средств

Более 75 % дорожно-транспортных происшествий происходят с участием легковых автомобилей. Активный рост числа электромобилей начался в 2022 году, и к 2024 году их зарегистрировано 29 116 единиц. При этом официально не зафиксировано ни одного ДТП с их участием, что требует дополнительного анализа.

Проведённый анализ показывает, что большая часть зарегистрированных электромобилей эксплуатируется в крупных городах Таджикистана и, как правило, используется для поездок в пределах ограниченного радиуса [5]. Это, наряду с более высокой дисциплиной водителей, характерной для владельцев электромобилей, может снижать вероятность ДТП. Кроме того, современные системы активной безопасности, более широкое распространение ассистентов водителя и ограниченный пробег

способствуют снижению аварийности. Тем не менее, для объективных выводов требуется дальнейшее накопление статистики и проведение углублённого анализа эксплуатационных условий, интенсивности движения и структуры автопарка.

Результаты исследования

1. За период с 2019 по 2024 год автопарк страны значительно увеличился — с 504 785 до 701 231 единицы, что составляет прирост почти на 39 %. Наиболее стремительный рост наблюдается в сегменте легковых автомобилей, особенно с 2022 года — начался активный рост количества электромобилей. Если в 2019 году они отсутствовали в регистрации, то к 2024 году зарегистрировано уже более 29 000 электромобилей.

2. Несмотря на рост общего числа транспортных средств, количество зарегистрированных ДТП осталось почти на прежнем уровне: 1212 случаев в 2019 году и 1236 — в 2024 году. Рост составил всего около 2 %, что может свидетельствовать об улучшении культуры вождения, усилении надзора или развитии транспортной инфраструктуры. Особенно заметным было снижение аварийности в 2020 году, предположительно в связи с пандемией и ограничениями на передвижение.

3. Относительное число ДТП по отношению к числу зарегистрированных транспортных средств снизилось. Если в 2019 году на 1000 автомобилей приходилось 2,4 ДТП, то в 2024 году — всего 1,76. Это говорит о снижении уровня аварийности при одновременном росте количества машин.

4. Несмотря на общее снижение интенсивности ДТП, количество погибших в авариях увеличилось: с 360 человек в 2019 году до 498 в 2024 году. Это привело к росту показателя смертности на одно ДТП. Данный факт указывает на увеличение тяжести последствий аварий, что требует усиления профилактических мер и повышения безопасности дорожного движения.

5. Подавляющее большинство дорожно-транспортных происшествий происходит с участием легковых автомобилей — более 75 %. Интерес вызывает тот факт, что ни одного ДТП с участием электромобилей официально не зафиксировано, несмотря на их значительное количество в автопарке. Это может быть связано как с недостаточностью данных, так и с тем, что большинство электромобилей эксплуатируется в городских условиях, где водители соблюдают более высокий уровень дисциплины. Также немаловажную роль играют современные системы активной безопасности и ограниченный пробег таких транспортных средств.

Заключения и рекомендации

1. В период с 2019 по 2024 годы в Республике Таджикистан наблюдается рост автопарка механических транспортных средств, особенно легковых автомобилей, что приводит к увеличению плотности дорожного движения и повышению риска дорожно-транспортных происшествий.

2. При этом рост автопарка сопровождается относительным снижением аварийности, что свидетельствует о положительных изменениях в управлении дорожным движением, повышении культуры вождения и возможном улучшении технического состояния транспортных средств.

3. Однако рост смертности в ДТП указывает на возрастание тяжести последствий аварий, что требует особого внимания к вопросам пассивной и активной безопасности, строгому соблюдению скоростного режима и обязательному применению ремней безопасности.

4. Активное распространение электромобилей — их доля выросла с нуля в 2019 году до более 29 тысяч в 2024 году — пока не отражается в статистике ДТП. Это может быть связано с ограниченной выборкой и специфическими условиями эксплуатации электромобилей (в основном городские маршруты, умеренная скорость, современные системы помощи водителю). Эти факторы открывают перспективы для более глубокой оценки влияния электромобилей на безопасность дорожного движения.

5. Для объективной и комплексной оценки динамики аварийности необходимы дополнительные данные: о типах ДТП, местах и условиях их совершения, плотности транспортных потоков, состоянии дорожной инфраструктуры, уровне технического обслуживания и обновления автопарка, а также уровне подготовки и поведения водителей и эффективности служб безопасности и контроля.

6. Учитывая экологические проблемы и изменения климата, развитие электромобилей и другого электротранспорта следует рассматривать как стратегическое направление устойчивого развития транспортной системы страны.

7. Рекомендуется реализовать комплекс мер для поддержки развития электротранспорта, включая налоговые реформы, создание инфраструктуры для зарядки электромобилей, а также проведение социальных и информационных кампаний, направленных на стимулирование населения к использованию экологически чистого транспорта.

Рецензент: Холов Д. — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация гидромелиоративных систем» Таджикского аграрного университета имени Ш. Шохтемур

Литература

1. Оценка аварийности на автомобильных дорогах Республики Таджикистан / Р. А. Давлатшоев, Б. Ж. Мажитов, Б. Нуралиев, О. С. Ниязов // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств : Материалы XXVI Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Юрия Васильевича Баженова, Владимир, 21–22 ноября 2024 года. – Владимир: Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. – С. 151-158. – EDN CVZMYE.

2. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан. Статистический сборник за 2019–2024 гг. – Душанбе, 2024. – 120 с.
3. Министерство внутренних дел Республики Таджикистан. Статистика дорожно-транспортных происшествий за 2024 год. – Душанбе, 2025. – 45 с.
4. Ашуров Р. Н. Транспорт и безопасность дорожного движения. – Душанбе: Ирфон, 2022. – 256 с.
5. World Bank. Road Safety in Central Asia: Regional Overview. – Washington, DC: World Bank, 2023. – 78 p.

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

TJ	RU	EN
Давлатшоев Рашид Асанхонович	Давлатшоев Рашид Асанхонович	Davlatshoev Rashid Asankhonovich
н.и.т, дотсент	к.т.н, доцент	Candidate of Technical Sciences
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
E-mail: d_rashid71@mail.ru		
TJ	RU	EN
Чобиров Фируз Изатуллоевич	Джобиров Фируз Изатуллоевич	Jobirov Firuz Izatulloevich
н.и.т	к.т.н	Candidate of Technical Sciences
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
E-mail: jobirzoda.firuz@gmail.com		
TJ	RU	EN
Насризада Алишер Нор	Насризада Алишер Нор	Nasrizada Alisher Nor
Подполковники милитсия, сардори шӯъбаи экспертизаҳои судӣ автотехникӣ	Подполковник милиции, начальник отдела судебной автотехнической экспертизы	Police Lieutenant Colonel, Head of the Department of Forensic Automotive Expertise
Раёсати таҳқиқӣ-криминалистика Вазорати корҳои дохилии Ҷумҳурии Тоҷикистон	Департамент судебной экспертизы Министерства внутренних дел Республики Таджикистан	Forensic Investigation Department of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan

СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК 624.074.43

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ

Д.Н. Низомов¹, О.Р. Нуманов² М.Ш. Набизода²

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье излагаются результаты экспериментальных исследований пространственных конструкций с применением моделей неразрезных пологих оболочек положительной гауссовой кривизны.

Ключевые слова: граничные условия, деформация, диафрагма, динамическая нагрузка, моделирование, напряжение, неразрезность, оболочка, прогиб, статическая нагрузка.

ТАДҚИҚОТИ ТАҶРИБАВИИ КОНСТРУКСИЯҲОИ ФАЗОӢ БО ИСТИФОДА АЗ МОДЕЛҲО

Д.Н. Низомов, О.Р. Нуманов, М.Ш. Набизода

Дар мақола натиҷаҳои таҷрибаҳои конструксияҳои фазоӣ бо истифода аз моделҳои қишри камфарозӣ катънаёфтаи гауссии мусбат оварда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: шартҳои канорӣ, деформатсия, диафрагма, бори динамикӣ, моделкунонӣ, шиддат, нобуридагӣ, қишр, қатишавӣ, бори статикӣ.

EXPERIMENTAL STUDY OF SPATIAL STRUCTURES USING MODELS

D.N. Nizomov, O.R. Numanov, M.S. Nabizoda

The article presents the results of experimental studies of spatial structures using models of continuous flat shells of positive Gaussian curvature.

Keywords: boundary conditions, deformation, diaphragm, dynamic load, modeling, stress, continuity, shell, deflection, static load.

Введение

Опыты НИИЖБ, ЦНИИСК и др. ведущих научно-исследовательских институтов стран СНГ показывают, что для пространственных конструкций типа оболочек ввиду сложности их работы и невозможности априори оценить точность метода расчёта целесообразно проводить комплексные экспериментально-теоретические исследования, в процессе которых проводятся испытание модели и её расчёт. При этом теоретическая и экспериментальная части работы в зависимости от задач исследования могут играть различную роль. Для изготовления конкретной оболочки часто выполняют модель из мелкозернистого железобетона, геометрически подобную натурной конструкции. В результате испытания такой модели можно получить подробную картину распределения усилий и перемещений и с использованием теории подобия распространить результаты единичного опыта на целый класс подобных конструкций.

Результаты испытаний модели могут играть роль критерия для выбора метода расчёта конструкций. В этом случае модель не является копией какой-либо конкретной конструкции, а должна выполняться таким образом, чтобы отображать наиболее общие черты, характерные для всего класса, максимально приближаясь к принятым расчётным схемам [1].

В лаборатории пространственных конструкций НИИЖБ проведены исследования железобетонной трехволновой модели покрытия из оболочек положительной гауссовой кривизны размером 3×2 м на статические нагрузки - равномерно распределённые и сосредоточенные нагрузки. Они приложены к диафрагмам, позволившим вскрыть некоторые особенности работы неразрезных конструкций и оценить ряд геометрических решений. Верхний пояс оболочек выполнен из криволинейного бруса – железобетона.

При равномерно распределённой нагрузке по всей модели усилия и прогибы диафрагм в разных частях покрытия существенно различаются между собой.

Усилия в элементах торцевой диафрагмы по характеру сходны с усилиями в аналогичной отдельно стоящей ферме, загруженной сосредоточенной силой. Расчёт оболочки с учётом упругой податливости диафрагм по методике, разработанной в Проектном институте №1 г. Санкт-Петербурга, даёт результаты, неплохо согласующиеся с экспериментальными [3].

Эксперимент позволяет учесть реальные упруго - пластические свойства железобетона, влияние различных граничных условий неразрезности и видов нагрузок [1].

Для моделей неразрезной оболочки (МНО) вместо двух ферм-диафрагм использовали одну ферму, но усиленных поясов, раскосов и стоек, при этом экономия материала составляет 25%. В неразрезных оболочках по сравнению с разрезными уменьшается расход стали на 12,5%, в основном за счет уменьшения расхода материалов на фасонки и накладки при переходе на общую ферму смежных оболочек.

Моделирование неразрезной оболочки

Ниже рассмотрим некоторые результаты экспериментальных исследований на моделях неразрезной оболочки, проведённых на полигоне кафедры ПГС Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.



Рисунок 1 – Общий вид МНО-4 на испытательном полигоне кафедры ПГС

Цели и задачи эксперимента

С целью выявления особенностей работы неразрезных оболочек положительной гауссовой кривизны при совместном действии статических и динамических нагрузок проводились экспериментальные исследования на малоразмерных квадратных и прямоугольных моделях, изготовленных из железобетона и армоцемента. Для этого было необходимо решать следующие задачи:

- разработать методику испытания неразрезных оболочек на действие динамических нагрузок с учётом статического пригруза;
- экспериментально определить динамические параметры оболочек при различных граничных условиях;
- исследовать влияние статического пригруза на динамические параметры неразрезных пологих оболочек [3].

Свободные колебания зависят от внутренних характеристик системы и от начальных условий (смещений, скоростей, ускорений) в момент снятия внешнего воздействия.

Для проведения испытаний неразрезных пологих оболочек покрытия были изготовлены модели неразрезных оболочек (МНО-4) - 3 шт., по 2,4х2,4 м каждая в квадратном плане [2].

Физическая модель состоит из трёх оболочек размерами 2,4х2,4, которая соединяется между собой диафрагмами жёсткости. Диафрагмами жёсткости служат металлические фермы с треугольными решётками. Верхний пояс фермы состоит из швеллеров №6, а другие элементы из парных арматур d (8-12) мм. В целом модель состоит из 3-х оболочек, которые опираются на 10 фермах, 2 из которых играют роль соединяющих.

Описание пологой оболочки двоякой кривизны. Радиус кривизны оболочки $R_1 = R_2 = R = 3,12$ м, стрела подъёма $f_1 = f_2 = 0,24$ м, стрела подъёма в середине оболочки $R_b = 8,5$ МПа; $R_{bt} = 0,75$ МПа; $E_b = 23 \cdot 10^3$ МПа. $f = 0,48$ м. Размер исследуемой физической модели 2,4х7,2 м [2].

Оболочки изготовлены из мелкозернистого цементно-песчаного бетона В15 со следующими характеристиками: $R_b = 8,5$ МПа; $R_{bt} = 0,75$ МПа; $E_b = 23 \cdot 10^3$ МПа. Оболочки армированы стальной сеткой 20х20х0,7 мм. Модели неразрезной оболочки изготовлены после того, как были смонтированы металлические фермы, установленные на металлические колонны.

Толщина оболочки в поле - 10 мм; в приконтурных зонах - 17 мм; по углам - 25 мм. Оболочки связаны между собой таким образом, что в целом составляют неразрезную трёхволновую систему.

Опираение неразрезной оболочки. Модель неразрезной оболочки опирается на металлических колоннах. Колонны состоят из профиля №8 высотой 1,241 м, которые жёстко защемлены в опорной части. Предполагается, что связь между углом оболочки и стойки является шарнирно-неподвижной.

Испытание модели

Испытания неразрезных пологих оболочек положительной гауссовой кривизны МНО-4 из мелкозернистого железобетона выполнены так, чтобы основные соотношения их размеров соответствовали геометрии реальных оболочек, преследовали цель приблизить модели к расчётной схеме и исключить влияние переломов на их работу. Размер моделей в плане 3х2,4х2,4 м, толщина плиты поля 10-17 мм [4].

Для статических и динамических испытаний были использованы следующие приборы:

- прогибомеры Максимова - 28 шт., электротензодатчики сопротивления с базой 55 мм 80 шт., автоматический измеритель деформации АИД-56М;
- сейсмометры 17 шт. (рис. 2, табл. 1.).

Результаты статических нагрузок МНО-4. Прогибы в МНО-4

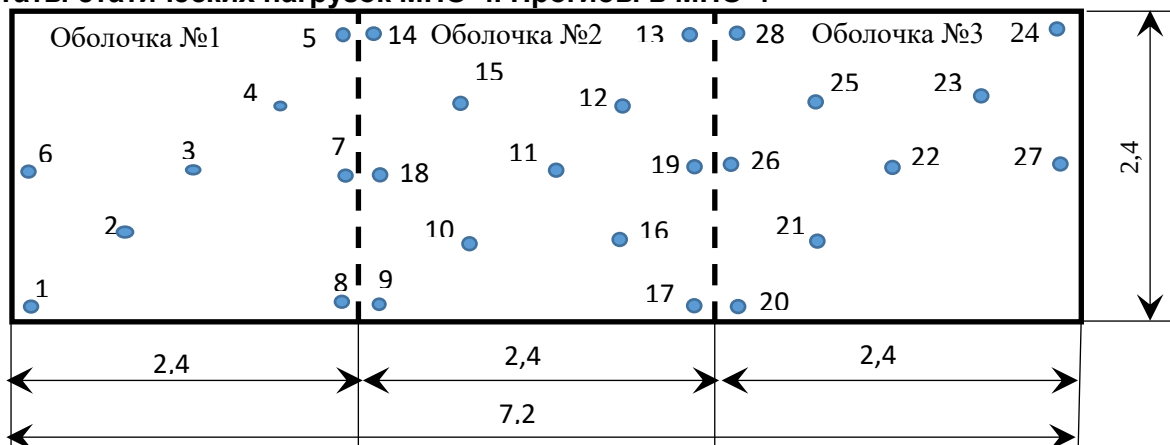


Рисунок 2 – Схема расстановки прогибомеров в МНО-4 снизу

Таблица 1 – Характеристики динамических приборов

№ п/п	Номер сейсмометра (СМ-3 и ОСП)	Место установки сейсмометра	Ориентация	Увеличение V_p
1	117 (СМ-3)	Оболочка №1	y	1150
2	129 (СМ-3)	Оболочка №1	x	1170
3	187 (СМ-3)	Оболочка №1	z	1450
4	28 (СМ-3)	Оболочка №2	x	1280
5	7 (СМ-3)	Оболочка №2	x	1220
6	369 (СМ-3)	Оболочка №2	y	1290
7	393 (СМ-3)	Оболочка №2	z	1120
8	391 (СМ-3)	Оболочка №3	y	1140
9	402 (СМ-3)	Оболочка №3	x	1170
10	318 (СМ-3)	Оболочка №3	x	1050
11	400 (СМ-3)	Оболочка №3	z	920
12	52 (ОСП)	Оболочка №2	y	0,045
13	27 (ОСП)	Оболочка №2	z	0,031
14	56 (ОСП)	Оболочка №2	x	0,021
15	54 (ОСП)	Оболочка №1	y	0,034
16	35 (ОСП)	Оболочка №1	z	0,050
17	55 (ОСП)	Оболочка №1	x	0,050

В табл. 2 приведены показания прогибомеров (в мм), установленных в оболочке №1 (рис.2). Аналогичные результаты для оболочек №2 и №3 приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 2 – Прогибы в оболочке 1 (V гр. усл.)

Нагрузка	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8
0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	0,17	0,33	0,81	0,76	1	0,25	0,44	2,44
1	0,27	0,75	0,99	0,83	1,4	0,43	0,64	3,4
1,4	0,29	0,85	1,21	0,99	1,65	0,68	0,87	4,27
1,8	0,33	1,54	1,52	1,23	2,41	0,79	1,08	5,43
2,2	0,47	1,9	1,8	1,56	4,03	0,91	1,35	6
2,86	0,78	2,76	2,12	2	4,53	1,24	2,01	6,7
3,52	0,99	3,47	3,11	2,34	4,78	1,56	2,63	7,3
4,34	1,54	4,94	4,44	3,24	5,19	2,07	3,49	8,34

Таблица 3. Прогибы в оболочке 2 (IV гр. усл.)

Нагрузка	П9	П10	П11	П12	П13	П14	П15	П16	П17	П18	П19
0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	0,81	0,64	0,39	0,1	0,19	0,65	0,69	0,98	0,15	0,61	0,67
1	2,28	0,85	0,58	0,21	0,38	1,12	0,83	2,39	0,29	0,82	0,83
1,4	2,8	1,3	1,04	0,34	0,49	2,01	1,28	3,04	0,38	1,27	1,25
1,8	3,44	1,72	1,4	0,45	0,65	3,01	1,79	3,77	0,51	1,65	1,68
2,2	4,57	2,13	1,78	0,55	0,79	3,78	2,3	4,89	0,72	2,01	2,02
2,86	5,02	2,84	2,24	0,66	1,05	4,21	2,98	6,24	0,98	2,75	2,86
3,52	6,23	3,2	2,55	0,77	1,24	4,72	3,42	7,1	1,05	3,15	3,24
4,34	7,01	3,5	2,89	0,89	1,53	5,18	3,84	7,36	1,14	3,34	3,6

Таблица 4 – Прогибы в оболочке 3 (IV гр. усл.)

Нагрузка	П20	П21	П22	П23	П24	П25	П26	П27
0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	0,27	0,56	0,21	0,66	0,15	0,77	0,34	0,64
1	0,32	0,8	0,3	0,74	0,18	0,92	0,42	0,75
1,4	0,41	1,29	0,39	0,91	0,24	1,42	0,54	0,89
1,8	1,04	1,89	0,87	1,1	0,3	2,01	1,57	1,05
2,2	1,43	3,8	1,32	1,3	0,39	2,7	1,97	1,25
2,86	1,48	5,6	1,47	1,45	0,49	3,32	2,39	1,41
3,52	1,62	7,05	1,6	1,69	0,58	3,74	2,6	1,64
4,34	2,42	8,19	2,06	1,83	0,77	4,24	3,09	1,75

Для наглядности на рис. 3-5 данные, приведённые в табл. 2-4, представлены в графическом виде.

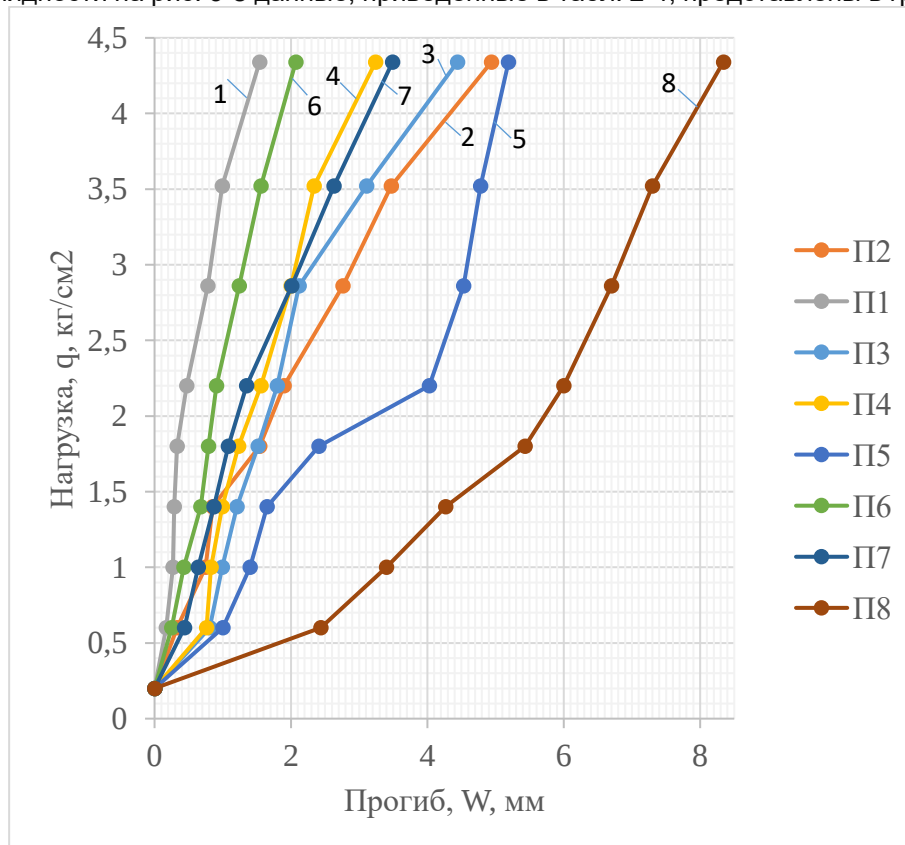


Рисунок 3 – График прогибов МНО-4 в оболочке 1

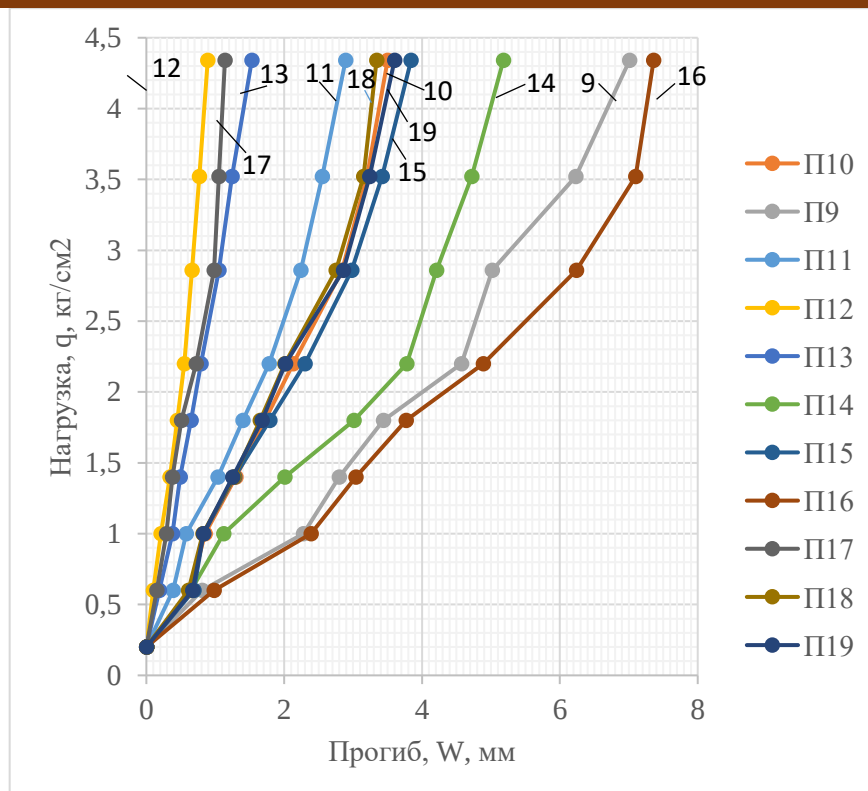


Рисунок 4 – График прогибов МНО-4 в оболочке 2

Для наглядности на рис. 3 показаны графики изменения прогибов в оболочке №1 в зависимости от интенсивности равномерно распределённой нагрузки.

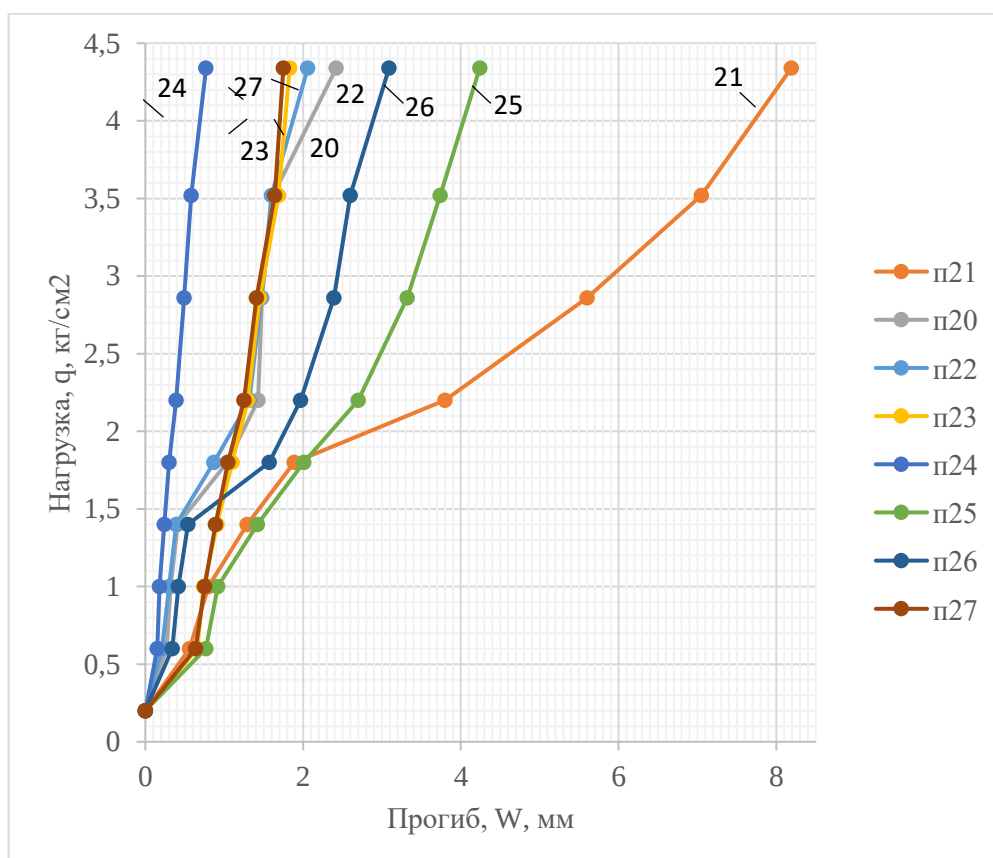


Рисунок 5 – График прогибов в оболочке 3

Из этих графиков следует:

1) В оболочке №1 (V гр. усл. неразрезности):

- показания прогибомеров П1, П2, П3, П4, П6, П7 (табл. 2) в зависимости от их расположения в оболочке почти одинаковые вплоть до разрушения и находятся в пределах 4,94 мм;
- от вышеуказанных прогибомеров прогибы в точке 5 отличаются, начиная с нагрузки 2,2 до 3,3 кг/см², а при разрушающей нагрузке 4,5 кг/см² опять приближаются в пределах 5,19 мм;
- прогибы в точке 8 резко отличаются от остальных коренным образом и находятся в пределах от 2,44 до максимального значения 8,34 мм в оболочке №1.

2) В оболочке №3 (V гр. усл. неразрезности):

- наименьший прогиб в точке 24 с результатами до 0,77 мм при нагрузке 4,5 кг/см²;
- далее в точках П20, П22, П23, П27 прогибы в пределах от 1,75 до 2,42 мм при максимальной нагрузке 4,5 кг/см²;
- в точках П26 и П25 прогибы увеличиваются плавно соответственно до 3,09 и 4,24 мм;
- максимальные прогибы в П21, начиная от 1,8 кг/см², резко увеличиваются до 1,89 мм, далее до 3,8 мм, 5,6 мм, 7,05 мм и доходят до 8,19 мм.

3) В оболочке №2 (IV гр. усл. неразрезности):

- прогибы разделены на 4 характерные точки, первые – в точках П12, П17, П13 плавно увеличивающие до 0,89 мм, 1,14 и 1,53 мм при максимальной нагрузке 4,5 кг/см²;
- вторые характерные точки в П11, П18, П10, П19, П15 от 2,89 до 3,84 мм при максимальной нагрузке 4,5 кг/см²;
- П14 отличается от предыдущих двух характерных групп, начиная от 1,0 кг/см² равное 1,12 мм до 5,18 мм при максимальной нагрузке 4,5 кг/см²;
- четвёртую группу составляют П9 и П16, которые отличаются, начиная от 0,6 кг/см² вплоть до разрушающей нагрузки 7,01 мм и 7,36 мм.

Таблица 5 – Прогибы в оболочках

Номер оболочки	Граничное условие	Прогиб, мм	
		минимальный	максимальный
Оболочка №1	V	1,54	8,34
Оболочка №2	IV	0,89	7,36
Оболочка №3	V	0,77	8,19

Среди возможных схем разрушения пологих оболочек интересной и мало исследованной оказалась схема излома с изменением формы поверхности. В данном случае исчерпание несущей способности железобетонной оболочки является следствием образования местного выпучивания (вмятины), область которого ограничена кольцевыми трещинами излома. Область вмятины имеет, как правило, эллиптическое очертание, а при симметричных условиях на контуре и одинаковых кривизнах в двух направлениях – круговое.

Вывод

На основе полученных результатов эксперимента можно сделать вывод:

- максимальный прогиб в оболочке №1 (V граничное условие неразрезности) 8,34 мм; в оболочке №2 (IV граничное условие неразрезности) 7,36 мм; в оболочке №3 (V граничное условие неразрезности) 8,19 мм;
- расхождение в результатах прогибов из-за разных толщин в оболочках составляет максимальный прогиб в оболочке №1 8,34 мм, а в оболочке №3 8,19 мм, т.е. расхождение 1,8% (V граничное условие неразрезности), а в оболочке №2 (IV граничное условие неразрезности) - 7,36 мм по сравнению с оболочкой №1 расхождение 13,8%, т.е. неразрезность влияет на прогибы в пологих оболочках.

Рецензент: Каландарбеков И.К. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ЛПТУ им. акад. М.С.Осими.

Литература

1. М.Б. Краковский, В.В. Шугаев (НИИЖБ, Москва). Моделирование при исследовании строительных конструкций. Материалы Всесоюзного совещания. Киев 1972 г. – с. 44-46.
2. Д.Н. Низомов, О.Р. Нуманов Моделирование неразрезной пологой оболочки. /Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. ТТУ №2 (66) – 2024. - с.178-181.

3. Ю.В. Чиненков, Л.А. Коробов (НИИЖБ, Москва). Моделирование при исследовании строительных конструкций. Материалы Всесоюзного совещания. Киев 1972 г. - с. 94-95.

4. О.Р. Нуманов, Т.С. Сафаров, У.Р. Тешаев /Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. ТТУ №2 (66) – 2024. - с.167-170.

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

TJ	RU	EN
Низомов Ҷаҳонгир Низомович	Низомов Джахонгир Низомович	Nizomov Jahongir Nizomovich
Доктори илмҳои техникаӣ, профессор, узви вобастаи АМИТ	Доктор технических наук, профессор, чл.-корр. НАНТ	Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ.	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ.	Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: tiees@mail.ru		
TJ	RU	EN
Нуманов Олим Раҳимович	Нуманов Олим Раҳимович	Numanov Olim Rahimovich
Н.и. техникаӣ, дотсент	К.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: nor5@mail.ru		
TJ	RU	EN
Набизода Муҳаммадтаиби Шариф	Набизода Мухаммадтаиби Шариф	Nabizoda Muhammadtaibi Sharif
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: nabizoda-90@mail.ru		

УДК 711.12

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ВОПРОСАХ РАЗВИТИЯ БАЗОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ДУШАНБЕ

Ш.И. Рахматуллозода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Современное развитие городской застройки часто отклоняется от положений, предусмотренных градостроительными и генеральными планами. Город представляет собой чрезвычайно сложную и многослойную систему, подверженную влиянию множества факторов. Одной из ключевых проблем становится недооценка темпов урбанизации, что приводит к быстрому устареванию генеральных планов, не успевающих за реальными изменениями. Рост численности населения и расширение территорий обостряют сложность функционально-пространственной структуры города. Отсутствие глубокого понимания механизмов градостроительного проектирования способствует возникновению дисбалансов и препятствий в устойчивом развитии городской среды.

Ключевые слова: градостроительство, генеральные планы, территориальная застройка, архитектура, формирование, окружающая среда, корректировка, рост городов, планирование.

САМТҶОИ АСОСИИ ТАМОҶОИ ШАҲРСОӢ ДАР МАСЪАЛАҶОИ РУШДИ ИНФРАСТРУКТУРИИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ

Ш.И. Рахматуллозода

Рушди муносири иморатсозии шаҳрӣ каме аз мақаррароте, ки дар нақшаи шаҳрсозӣ ва генералӣ пешбинӣ шудааст, берун мебарояд. Шаҳр як системаи хеле мураккабест, ки бо омилҳои гуногун вобастагӣ дорад. Аз сабаби он, ки шаҳрсозон суръати афзоиши босуръати рушди шаҳрхоро кам баҳо медиҳанд ва нақшаҳои генералӣ ҷудона шуда мемонанд, ки ба афзоиши тараққиёти реалӣ сабабгор мешаванд. Зиёд шудани шумораи аҳоли ва афзоиши ҳудудӣ, боиси мураккаб шудани тамоми сохтори функционалӣ - фазоии шаҳр мегардад. Нодуруст фаҳмидани процесси шаҳрсозӣ боиси душвориҳо ва номутаносибии ҷиддӣ тараққиёти шаҳр мегардад.

Калимаҳои калидӣ: шаҳрсозӣ, нақшаҳои генералӣ, иморатсозии ҳудудӣ, меъморӣ, ташаккул, муҳити атроф, танзим, рушди шаҳр, банақшагирӣ.

MAIN DIRECTIONS OF URBAN PLANNING TRENDS

IN THE ISSUES OF DEVELOPING BASIC INFRASTRUCTURE OF THE CITY OF DUSHANBE

Sh.I. Rakhmatullozoda

Analyzing the formation of urban development trends in the complex structure of the city, it can be determined that, in principle, development does not develop in strict accordance with urban development and general plans. The city is a highly complex system that depends on various factors. Because the urban planner underestimates the rapid growth of cities, general plans become outdated and do not have time to be implemented. The increase in population and territorial growth lead to a significant complication of the entire functional and spatial organization of the city. Misunderstanding of the urban planning process leads to difficulties and serious imbalances in the development of the city.

Keywords: urban development, master plans, territorial development, architecture, formation, environment, adjustment, urban growth, planning.

Введение

Одной из актуальных проблем, с которыми сталкиваются как крупные, так и малые развивающиеся города, является совокупность негативных урбанистических явлений. Среди них – высокий процент населения, проживающего в трущобах, стремительный рост и преобладание неформального сектора экономики, дефицит базовой городской инфраструктуры. Часто наблюдается хаотичное расширение городской территории, сопровождаемое социальными и политическими конфликтами, связанными с распределением земельных ресурсов. Уязвимость к природным катастрофам и слабое развитие транспортной системы усугубляют ситуацию. Для того чтобы города могли эффективно выполнять функцию локомотивов экономического и социального развития, необходимы системный подход, грамотное планирование и устойчивое управление городской средой.

По сути генеральный план служит для экстенсивной застройки пустых пространств и стоит отметить, что в советское время со своими задачами генплан справлялся. Опираясь на опыт исследования разных стран в области генеральных планов и его корректировки - это грамотно подготовленные документы территориального планирования [3]. Также являются мощным регулятором рынка, как минимум – препятствием для бессистемной застройки, которое является эффективным механизмом в использовании на практике этого документа. Значительная часть работ, посвященных формированию инфраструктуры городов в условиях процесса урбанизации, достаточно актуальна. Повышение социально-экономической обеспеченности граждан, научно-производственной, инженерно-транспортной инфраструктуры неразрывно связано с демографическими процессами. Урбанизация городов быстрыми темпами заполняет пространство городов, и опорные ген. планы не успевают себя оправдать в практической деятельности.

Проведение анализа и комплексных исследований позволяет обобщить ключевые проблемы в сфере градостроительного развития и, на их основе выработать эффективные подходы к прогнозированию застройки и инфраструктурного развития городов. Несмотря на значимость данной темы, научные работы, посвященные градостроительному развитию города Душанбе в контексте нового

генерального плана, до настоящего времени практически отсутствуют. В рамках подобных исследований особое внимание следует уделить выявлению закономерностей, возникающих в процессе территориального и функционального зонирования, а также формированию сценариев дальнейшего развития городской среды.

Также важно определить уровни функционального деления городской территории и исследовать, каким образом происходит формирование градообразующих элементов и систем жизнеобеспечения. Многие исследователи стремятся адаптировать модели, заимствованные из практики развитых стран, что, безусловно, имеет аналитическую ценность. Однако возникает вопрос: насколько целесообразно ориентироваться исключительно на опыт глобально развитых мегаполисов? Возможно, более релевантным будет изучение успешных примеров из соседних стран, где реализованы модели развития, сочетающие историческое ядро и новые территории, и где удалось избежать крупных градостроительных ошибок.

Стоит также обратить внимание на то, что генеральные планы крупных городов, как правило, разрабатываются в масштабе 1:20 000 или 1:10 000, что означает, что один сантиметр на чертеже соответствует 200 или 100 метрам на местности [4]. Однако часто эти документы представляют собой скорее образное или даже виртуальное представление будущего города, не имеющее жесткой привязки к реальным единицам измерения и нормативам, что ставит под сомнение их практическую применимость.

Градостроительное развитие представляет собой сложную систему взаимодействий и компромиссов между государственными структурами, частным сектором и городским населением. На сегодняшний день ключевыми градообразующими факторами в сложной урбанистической структуре выступают демографический рост, территориальное расширение и степень освоения новых пространств, а также развитие транспортной инфраструктуры.

Развитие магистральной сети напрямую влияет на миграционные потоки: чем более разветвлённой и доступной становится транспортная система, тем выше плотность населения в зонах её охвата, что способствует формированию новых центров притяжения в пригородах и на периферии. Урбанистическая эволюция свидетельствует о том, что градостроительное проектирование должно учитывать не только пространственные, но и временные параметры. В этих условиях одной из важнейших задач становится обеспечение способности городской среды к адаптации — как к внутренним изменениям, так и к внешним вызовам, включая климатические, социальные и экономические трансформации.

Сравнительный анализ градостроительной документации, разработанной 8–10 лет назад, с текущим состоянием городской среды демонстрирует существенное расхождение между планируемыми мероприятиями и реальной ситуацией [5,6]. В условиях стремительных изменений, связанных с ростом населения, активным освоением городских и пригородных территорий, а также изменяющимися параметрами строительства, возникает необходимость оперативного реагирования на вызовы, стоящие перед реализацией генерального плана. Сегодняшние условия требуют не просто своевременной корректировки, а подчас — оперативного, почти непрерывного принятия градостроительных решений.

Существующие генеральные планы, как правило, не учитывают целый спектр актуальных градостроительных задач, включая модернизацию центральных районов, реновацию промышленных и устаревших жилых зон, развитие общественных пространств, а также проведение точечной и бережной реконструкции исторических объектов. Это поднимает вопрос: возможно ли предусмотреть механизмы регулярного пересмотра и адаптации утверждённого генерального плана, исходя из текущих вызовов и динамики городской жизни? В практике проектирования зачастую наблюдается отсутствие системного подхода к интеграции жилой застройки с транспортной и инженерной инфраструктурами, системами общественного транспорта, а также с природным каркасом города, что негативно сказывается на функциональности и устойчивости городской среды.

Опыт постсоветских городов, которые сталкиваются с аналогичными вызовами, свидетельствует о необходимости перехода к разработке новых мастер-планов, ориентированных на повышение качества жизни населения и удовлетворение его актуальных потребностей. Исследования современных урбанистических тенденций показывают, что на сегодняшний день каждый город разрабатывает собственную стратегию пространственного развития, отталкиваясь от уникальных территориальных, демографических, экономических и культурных особенностей.

В контексте обсуждения необходимости пересмотра устаревших генеральных планов и адаптации их к современным реалиям, целесообразно обратиться к историческому опыту градостроительства в советский период. В послевоенное время в СССР была реализована масштабная жилищная реформа, направленная на обеспечение граждан достойными условиями проживания, что рассматривалось как ключевой фактор повышения трудоспособности населения и ускоренного социально-экономического развития. Основной задачей государства стало решение жилищного вопроса, в том числе с целью продемонстрировать способность социалистической системы догнать и перегнать развитые капиталистические страны. Для оперативного выполнения поставленных задач были внедрены стандартизированные, массово тиражируемые проекты, что позволило в короткие сроки значительно повысить обеспеченность жильем. Этот подход стал беспрецедентным: впервые в истории страны

практически каждая семья получила возможность проживания в отдельной квартире [1,2]. Несмотря на архитектурную однотипность, в условиях того времени это стало значительным достижением в сфере градостроительства и социальной политики.

Однако сегодня, учитывая стремительный демографический рост и изменения в структуре городской среды, необходимо переосмысление градостроительных подходов. В частности, население Республики Таджикистан по состоянию на 2023 год увеличилось в сравнении с прошлым годом на 2,2% и достигло 11,2 миллиона человек. Численность жителей столицы — города Душанбе — на 1 июля 2023 года составила 1,23 миллиона человек, продолжая демонстрировать устойчивую тенденцию к росту. В этой связи встает вопрос: насколько оправдано воспроизведение ускоренных темпов строительства без должного градостроительного анализа? [7] Хаотичное размещение жилых массивов без системной интеграции с инфраструктурой может привести к формированию неустойчивой городской среды, перегруженной транспортной, социальной и инженерной инфраструктурой.

Генеральный план города Душанбе разрабатывался и обновлялся многократно, проходя через различные этапы планирования, цель которых заключалась в улучшении качества городской среды и уровня жизни населения [8]. Этот стратегический документ определяет принципы пространственной организации: размещение жилых массивов, образовательных и медицинских учреждений, объектов культуры и досуга, транспортных и инженерных сетей, а также озеленённых территорий. Генплан базируется на нормах, разработанных профильными научными институтами, отражёнными в СНиП, ГНиП, санитарных и противопожарных стандартах.

Однако на практике реализация генплана нередко искажается: вместо проектируемых социальных объектов появляются жилые дома или коммерческие сооружения, включая парковки и торговые центры, часто за счёт ранее предусмотренных зелёных зон. В условиях, когда почти вся территория города уже освоена, становится критически важным соблюдение градостроительных нормативов и поддержание баланса между интересами различных участников городского процесса.

Полноценная реализация генплана требует нормативного и правового сопровождения — правил землепользования, механизмов зонирования, а также технических решений, отражающих реальную нагрузку на инфраструктуру и плотность населения. Анализ существующих районов Душанбе демонстрирует распространённую практику утверждения эскизных проектов детальной планировки (ПДП) без технико-экономического обоснования (Рисунок 1, 2) [4]. Такие проекты, реализуемые в ускоренном порядке, ведут к стратегическим просчётам: отсутствуют расчёты перспективных нагрузок на инженерные сети, не учитывается демографическая динамика.

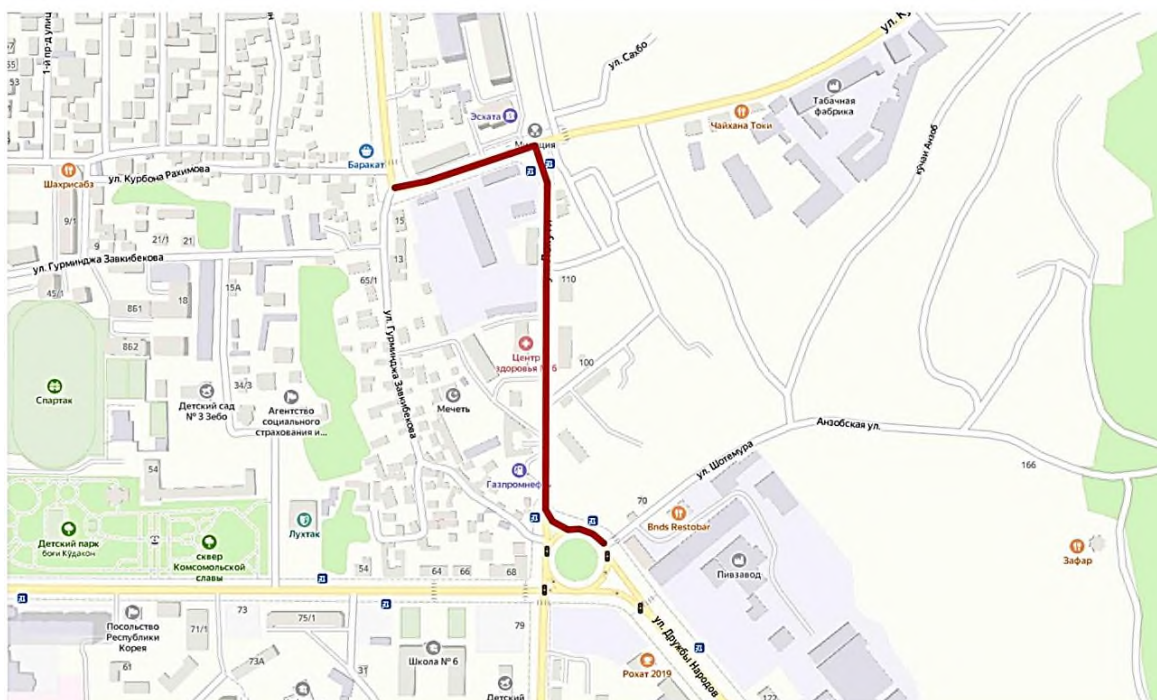


Рисунок 1-Детальный план проектирования восточной части улицы Дусти Халкхо (квартал Камол)



Рисунок 2 - Генеральный план зданий и сооружений восточной части улицы
Дусти Халкхо (квартал Камол)

Заклучение

Для развития генерального плана необходимо учитывать фактор массовой миграции сельского населения, чтобы городская инфраструктура не оказалась перегруженной, рынки не превратились в небольшие торговые точки, где играет роль сельских торговцев и городских потребителей. Что влияет на пространственную структуру города и приводит к утрате его функциональной устойчивости. Таким образом, современное градостроительное проектирование должно сочетать нормативную строгость с гибкой адаптацией к социально-демографическим и культурным реалиям, учитывая как локальный, так и исторический контекст развития города.

Рецензент: Ганизода Дж.Ш. —доцент кафедры «Дизайн и архитектура», Государственный институт изобразительного искусства и дизайна Таджикистана

Литература

1. А.Э.Гутнов. Научно-технический сборник. Эволюция градостроительства. М. Стройиздат1994, 256с.
2. Е.Ю. Колбовский. Стратегическое пространственное планирование как инструмент регионального развития. Ярославский педагогический вестник-2011№3, Т III (естественные науки).
3. С. Солодянкина, М.В. Левашёва. Ландшафтно-экологическое планирование для оптимизации природопользования. Учебное пособие. Иркутск 2013 ИГУ, 170 стр.
4. Ш. И. Рахматуллозода, К. Усмонзода. Факторы развития городской среды с учетом транспортной инфраструктуры города Душанбе. Политехнический вестник №3 (47) – 2019г. стр. 131.
5. А.А. Акбаров. Формирование поселков АПК. В условиях горного региона. Душанбе. «Ирфон» 1988.
6. М. Х. Рузбахони. Влияние природных условий и ресурсов на размещение и развитие отраслей сельского хозяйства Зеравшанского региона Республики Таджикистан (Исторический и современные аспекты) Душанбе, 2018.
7. И.А.Аминов. Природно-экономические зоны Республики Таджикистан: состояние и перспективы. Д- 2013г.
8. Э.В. Ямпольский. Вверх по вертикали. Народная газета, 1993.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

RU	TJ	EN
Рахматуллозода Шахноз Ибодулло	Раҳматуллозода Шаҳноз Ибодулло	Rakhmatullozoda Shahnoz Ibodullo
канд. арх., и.о. доцента	Номзоди меъморӣ..и.в. дотсент	Candidat architect., a.a. doctor
Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М. С. Осимӣ	Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi.
E-mail: Shahnoz119@gmail.ru		

ТАҲҚИҚОТҲОИ НАЗАРИЯВӢ ОИД БА ЭНЕРГИЯСАМАРАНОКИИ БОЛОПӢШҲОИ БИНОҲОИ ШАҲРВАНДӢ

А.С. Асрорзода, Р.М. Шокиров, Н.М. Каримов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола таҳқиқотҳои назариявӣ доири энергиясамаранокӣ намудҳои гуногуни болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ бо назардошти меъёрҳои амалкунанда баррасӣ гардидаанд. Масъалаҳои сарфачӯи ва энергиясамаранокӣ дар замони муосир томоми кишварҳои дунёро фаро гирифта, мубрамияти ҳоса пайдо намудааст. Таҳқиқотҳои назариявӣ лоиҳакашӣ ва ҳисобҳои гармимӯҳофизии болопӯшҳои оҳанубетонии яклухтӣ васлӣ ва ҷӯбини биноҳои шаҳрвандӣ дар мақолаи мазкур оварда шуда, муқоисаи нишондиҳандаҳои гармимӯҳофизии қабатҳои онҳо баррасӣ гардидаанд.

Калидвожаҳо: энергиясамаранокӣ, болопӯшҳо, гармимӯҳофизӣ, намнокӣ, оҳанубетон, биноҳои шаҳрвандӣ, сарфачӯи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

А.С. Асрорзода, Р.М. Шокиров, Н.М. Каримов

В статье рассмотрены теоретические исследования по энергоэффективности различных видов покрытий гражданских зданий с учетом действующих норм. Вопросы энергосбережения и энергоэффективности в современное время охватили все страны мира и приобрели особую актуальность. В данной статье рассмотрены теоретические исследования, проектирование и теплозащиты расчеты монолитных и сборных железобетонных, а также деревянных покрытий гражданских зданий, а также проведено сравнение показателей теплозащиты их слоев.

Ключевые слова: энергоэффективность, покрытия, теплозащита, влажность, железобетон, гражданские здания, экономика.

THEORETICAL RESEARCH ON THE ENERGY EFFICIENCY OF ROOFS IN CIVIL BUILDINGS

A.S. Asrorzoda, R.M. Shokirov, N.M. Karimov

The article discusses theoretical studies on the energy efficiency of various types of roofs in civil buildings, taking into account current standards. Issues of economy and energy efficiency in modern times have encompassed all countries of the world and have acquired particular urgency. The theoretical studies, design, and heat-shielding and heat-stability calculations of monolithic and prefabricated reinforced concrete, as well as wooden roofs of civil buildings, are examined in this article. A comparison of the heat-shielding indicators of their layers is also discussed.

Keywords: energy efficiency, roofs, heat-shielding, heat-stability, reinforced concrete, civil buildings, economy.

Муқаддима

Бо тамои гардидани захираҳои энергетикӣ ва зиёд гардидани аҳолии кураи замин инчунин тағйирёбии босуръати иқлим баъзеи кишварҳо ба бухрони норасоии энергия дар даҳсолаҳои охир рӯ ба рӯ шуда истодаанд. Истифодаи оқилона ва сарфа намудани захираҳои энергетикӣ яке аз мушкилотҳои муҳимтарини асри XXI ба ҳисоб рафта, ҷиҳати бартарафсозии он роҳҳо ва усулҳои наву гуногун, қабули як қатор консепсия, стратегия ва қарор қонунҳои махсус дар тамоми кишварҳои ҷаҳон андешида шудааст. Бояд қайд намуд, ки муҳимият ва актуалии мавзӯи мазкурро Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон (ҶТ) ба инобат гирифта Қонуни ҶТ “Дар бораи сарфачӯи ва самаранокӣ энергия” [1], «Стратегияи рушди иқтисоди «Сабз» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023-2037», “Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030” ва дигар Қарорҳои Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистонро қабул намудааст. [4].

Методология ва усулҳои кор:

- истифодаи усулҳои аналитикии равандҳои гармигузаронии конструкцияҳои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ;
- гузаронидани таҳқиқотҳои аёнӣ-назариявӣ доири тарҳрезӣ ва ҳисоби гармимӯҳофизии конструкцияҳои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ;
- баҳогузорӣ ба нишондиҳандаҳои асосии гармимӯҳофизии қабатҳои конструкцияҳои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ бо усули графикӣ ва муқоисаи онҳо.

Натиҷа ва муҳокима

Ҷумҳурии Тоҷикистон дорои шароитҳои ҳоса табиӣ ва иқлимӣ аз қабилӣ заминчунбӣ, ҳокҳои фӯрӯнишин ва иқлими гарму зудтағйирёбанда мебошад. Бинобар ин ҳангоми лоиҳакашии биноҳо дар чунин шароитҳо талабот ва муносибатҳои махсус талаб карда мешавад. Дар кори мазкур конструкцияҳои маъмул ва аз нигоҳи таъсиротҳои қуввагӣ ҷавобгӯӣ ба меъёрҳои амалкунанда мавриди омӯзиш ва таҳқиқоти назариявӣ қарор гирифтаанд. Конструкцияҳои биноҳо ду вазифаи асосӣ борбардорӣ ва ихтотавиро иҷро менамоянд. Болопӯшҳои конструкцияҳои мебошанд, ки вазифаҳои болозикрро иҷро менамоянд.

Аз ҷониби як зумра олимони ватанию хориҷӣ Якубов Н.Х., Нигматов И.И., Фазилов А.Р., Хасанов Н.Н., Усмонов Ш.З., Хужаев П.С., Шокиров Р.М., Поччоев М.М., Каримов Н. М., Харламов Д.А., Kunzel Н.М., Низовцев М.И., Корсунов Н.И., Кузина А.Я., Карауша С.А., Лебедев О.В қорҳои илмию амалӣ доири масъалаи мазкур гузаронида шудааст [5-15].

Конструкцияҳои ихтави берунае, ки ҳуҷраҳои биноро аз муҳити атмосферӣ ҷудо менамоянд ва дар таъмини муҳити микроиқлими дохилии бино нақши муҳим доранд, деворҳои беруна ва болопӯшҳо мебошанд. Дар мақола ҷанбаҳои асосии таъсиротҳои ғайриқуввагӣ, гармимуҳофизӣ, гармигузаронӣ, инерсияи гармӣ, ҳарорат дар сатҳҳои қабатҳои ҷудогонаи конструкцияҳои ихтави, намнокӣ, ва дигар нишондиҳандаҳои энергиясамаранокии конструкцияҳои гуногуни болопӯшҳои ҷӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ муайян карда шудаанд.

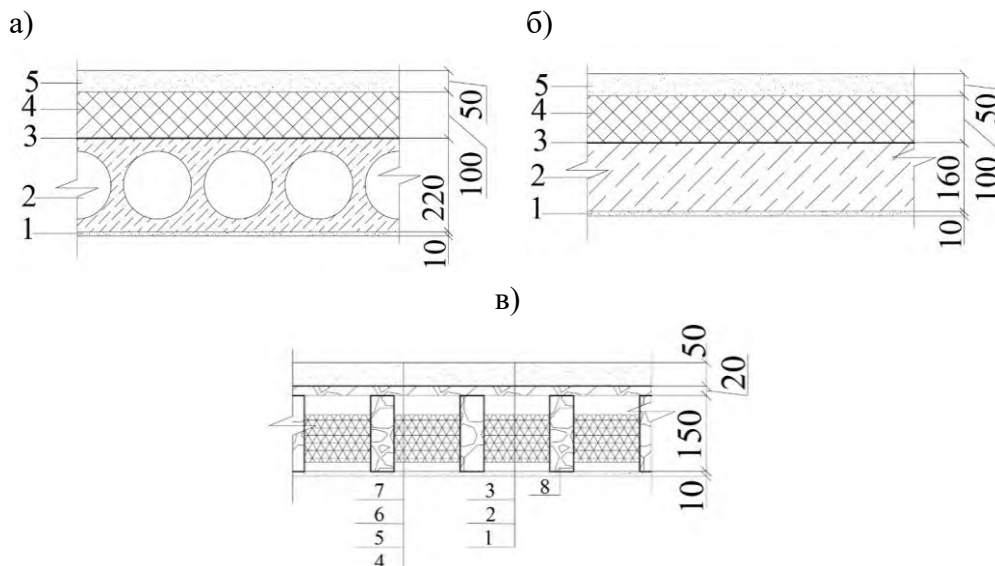
Дар замонӣ бо суръати ниҳоят баланд рушд намудани илм дар сайёра, пайдогардидани роҳи усулҳои инноватсионӣ, инчунин тақмили технологияҳои муосир, олимон як қатор корҳои илмӣ доири мавзӯи мазкур ба анҷом расонидаанд [4,5,6]. Аз ҷумла Шарифов А.Ҳ. дар рисолаи номзadiaш барои кам намудани вазни хос ва масрафи масолеҳҳои болопӯш, ба тахтасанги васлии оҳанубетонӣ блокҳои арболитӣ ба сифати пуркунанда ворид намуда, нисбати мустаҳкамӣ, устуворӣ ва дарозумриаш таҳқиқотҳои илмӣ амалӣ гузаронида, нисбати энергиясамаранокии он таҳқиқотҳои лозима гузаронида нашудааст [5]. Болопӯши мазкурро вобаста ба технология ва тарзи бунёдаш гуногунҷинса номидан мумкин аст.

Дар мақола нисбати энергиясамаранокии конструкцияҳои болопӯши мазкур таҳқиқотҳои аниқ гузаронида нашуда, танҳо аз нигоҳи таҳқиқотҳои аёнӣ хулоса бароварда шудааст, ки тахтасангҳо бо блокҳои арболитӣ метавонанд, гармимуҳофиз бошанд. Барои дақиқ муайян намудани нишондиҳандаҳои асосии гармимуҳофизи болопӯши оҳанубетонии бо блокҳои арболитӣ таҳқиқотҳои илмӣ назариявӣ лозим аст.

Тибқи меъёрҳои амалкунанда ҳангоми лоиҳакашии биноҳо ҳуҷҷати махсус ба монанди сертификат ва ё шиносномаи энергетикӣ барои муайян намудани сарфиёти нисбии ҳисобии энергия дар раванди лоиҳакаши бо нишондодани нишондиҳандаҳои ҳисобӣ лоиҳавӣ ва феълӣ бояд тартиб дода шавад. Барои баҳодиҳии энергиясамаранокии биноҳо аз оғози корҳои лоиҳакаши саркарда ба ҳалли тарҳию ҳаҷмӣ ва конструктивӣ системаҳои муҳандисӣ, инчунин раванди сохтмону истифодабарӣ диққати зарури бояд дод.

Имрӯзҳо дар манотиқи гуногуни ҶТ болопӯшҳои оҳанубетонии яклухт, васлӣ ва болорҳои ҷӯбин дар биноҳои шаҳрвандӣ вобаста ба ошёнанокиашон истифода мегарданд. Болопӯшҳои оҳанубетонӣ дорои дараҷаи баланди устуворӣ, мустаҳкамӣ ва оташтобоварӣ буда, аз нигоҳи гармимуҳофизӣ хусусияти зиёди гармигузарониро доро мебошанд. Бо мақсади кам кардани хориҷшавии гармӣ ва ба талабот ҷавобгӯ намудани онҳо қабатҳои гармимуҳофиз аз масолеҳҳои махсус, ки зичии хеле паст ва гармигузарониашон кам мебошад, илова намудан лозим аст.

Болопӯшҳое, ки дар қори мазкур мавриди таҳқиқоти назариявӣ қарор гирифтаанд, мавриди истифодаи зиёд қарор доранд. Истифодаи болопӯшҳои оҳанубетонии яклухт нисбати дигар намуди болопӯшҳо айни замон бисёртар ба назар мерасанд. Масолеҳҳое, ки дар таркиби ин намуди болопӯшҳо истифода мегарданд, маҳалӣ буда, дар минтақа хело зиёданд.



Расми 1- Конструкцияҳои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ. а- болопӯши оҳанубетонии васлӣ, б - болопӯши оҳанубетонии яклухт, в- болопӯш аз болорҳои ҷӯбин

Эзоҳ: қабатҳои болопӯшҳо, ки бо рақамҳо номгузорӣ шудаанд дар ҷадвалҳои 1 ва 2 шарҳ дода шудаанд.

Тавсифи физикии масолеҳҳои қабатҳои болопӯшҳои оҳанубетонии яклухт ва васлӣ, инчунин болопӯшҳои аз болорҳои чӯбини биноҳои шаҳрвандӣ ва натиҷаҳои асосии таҳқиқотҳои назариявӣ дар ҷадвали 1 ва 2 оварда шудаанд.

Истифодаи болопӯшҳои чӯбин дар биноҳои истиқоматии як ошёна бисёртар ба назар мерасанд. Онҳо аз ҷиҳати экологӣ тоза буда, барои саломатии инсон зарар намерасонанд, аммо хусусияти пасти оташбобоварино доранд, ҳангоми сӯхтор зуд аланга мегиранд.

Ҷадвали 1-Тавсифи физикии масолеҳҳои қабатҳои болопӯшҳои оҳанубетонии яклухт ва васлии биноҳои шаҳрвандӣ

Номгӯи қабат	Зичии қабат ρ , кг/м ³	Коэффитсиенти ҳисобии гармимуҳофизӣ λ , Вт/(м ² *°C)	Коэффитсиенти ҳисобии гармиустуворӣ S , Вт/(м ² *°C)	Бугғузаронии қабат μ , мг/(м*ч*Па)	Ғавсии қабат δ , м
1.Омехтаи мураккаб (қум, семент, оҳак)	1700	0.7	8.95	0.098	0.01
2.Оҳанубетонӣ	Васлӣ	2500	1.29	17.98	0.03
	Яклухт	2500	1.92	17.98	0.03
3. Бугғмуҳофиз					
4.Гармимуҳофиз (пенополистирол)	150	0.052	0.89	0.05	0.1
5.Қабати ҳамворкунанда аз маҳлули сементу қум	1800	0,76	11,09	0,09	0.05

Дигар намуди болопӯшҳое, ки мавриди истифодаи васеъ дар биноҳои камшоёна қарор доранд, болорҳои чӯбин мебошанд. Яке аз афзалиятҳои болорҳои чӯбин ин сабукии онҳо, насбукии қулай ва осон ба ҳисоб меравад. Болорҳое, ки дар ин болопӯшҳо истифода мешаванд, асосан аз дарахтҳои санавбар, арча, булут ва баъзе аз намудҳои дарахтони паҳнбарг тавассути коркарди махсус истехсол карда мешаванд. Ҳарчанд, ки болопӯшҳои чӯбин мавриди истифодаи васеъ қарор доранд, аммо аз нигоҳи гармимуҳофизӣ ва энергиясамаранокӣ нисбати онҳо диққати махсус дода намешавад. Дар кори мазкур натавонанд нишондиҳандаҳои асосии гармимуҳофизӣ, балки усул ва технологияҳои бунёди пайдарпайи қабатҳои болопӯшҳои чӯбин оварда шудааст.

Ҷадвали 2 - Тавсифи физикии масолеҳҳои қабатҳои болопӯшҳои чӯбин

Номгӯи қабат	Зичии қабат ρ , кг/м ³	Коэффитсиенти ҳисобии гармимуҳофизӣ λ , Вт/(м ² *°C)	Коэффитсиенти ҳисобии гармиустуворӣ S , Вт/(м ² *°C)	Бугғузаронии қабат μ , мг/(м*ч*Па)	Ғавсии қабат δ , м
Варақаҳои гачии (ГКЛ)	800	0,19	3,66	0,075	0,01
2. Профили барои пайвасти намудани варақаҳои гачии					
3.Гармимуҳофиз (пенополистирол)	150	0.052	0.89	0.05	0.1
4. Қабати ҳавой		$R_p = 0.15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$			0,05
5. Вассабандӣ аз чортарошҳои сузанбарг	500	0.14	3.87	0.06	0.02
6. Намимуҳофиз					
7. Андоваи гилӣ	1600	0,58	9,75	0,14	0.05
8. Болори борбардори чӯбин аз сузанбарг	500	0.14	3.87	0.06	0,15

Ҳангоми гузаронидани таҳқиқотҳои назариявӣ маълумотҳои шароити табиӣ ва иқлимӣ шаҳри Душанбе бо истифодаи аз МҚШ ҚТ 23-01-2018 “Иқлимшиносии сохтмонӣ” [3] гирифта шудааст.

Дар мақолаи мазкур бо мақсади баҳодиҳии нишондиҳандаҳои гармимуҳофизии конструкцияҳои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ, намудҳои муқовиматҳои зерини гармигузарони оварда шуда ҳисобҳои гузаронида шудааст.

Ҳисобҳои гармигузаронии конструкцияҳои ихтавӣ тибқи талаботҳои МҚС ҚТ 23-02-2021 “Гармимуҳофизии биноҳо” гузаронида шудаанд [2].

Муқовимати гармигузаронии меъёри R_{req} , тибқи формулаи зерин муайян карда мешавад [2].

$$R_{\text{req}} = a \cdot D + b \quad (1)$$

Барои муайян намудани муқовимати меъёрӣ пеш аз ҳама лозим меояд, ки градус-шабонарӯзи давраи гармидиҳиро тибқи формулаи (2) муайян намоем.

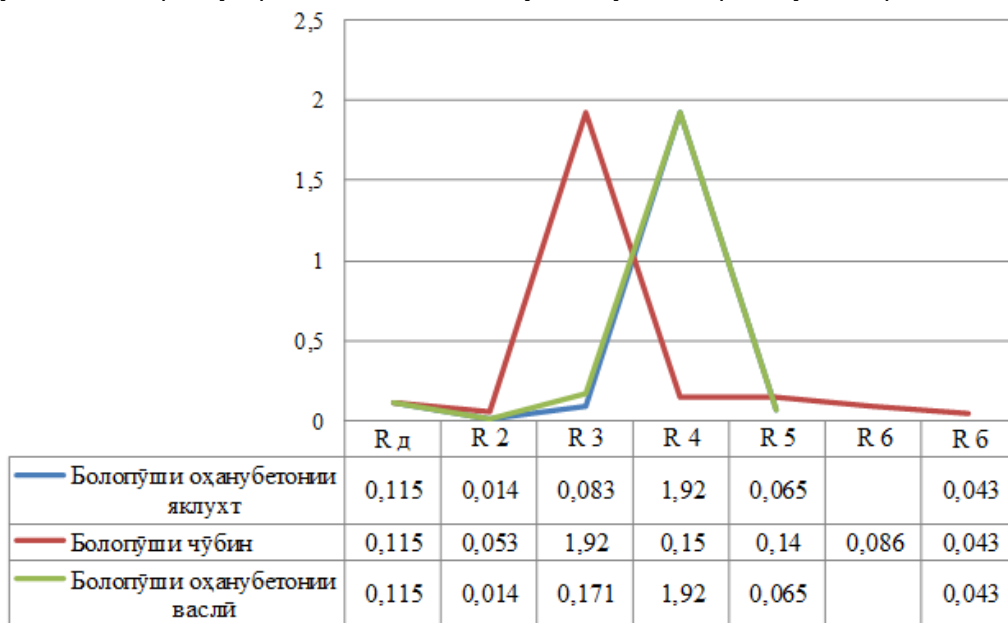
$$D = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot Z_{\text{ht}} \quad (2)$$

Тибқи ҳисобҳои аналитикӣ муайян карда шуд, ки градус-шабонарӯзи давраи гармкунии биноҳо барои шаҳри Душанбе 1694°C ш/р буда, муқовимати гармигузаронии меъёрӣ барои болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ 2,15 м²·°C/Вт-ро ташкил медиҳад.

Муқовимати гармигузаронии ҳисоби R_0 , бо формулаи (3) муайян карда мешавад.

$$R_0 = R_d + \sum R_i + R_6 \quad (3)$$

Дар асоси меъёрҳои амалкунанда бояд $R_0 \geq R_{\text{req}}$ бошад, Ҳангоми гузаронидани таҳқиқотҳои назариявӣ муқовимати гармигузаронии ҳисоби болопӯшҳо муайян карда шудааст расми 2.



Расми 2 - Муқовимати гармигузаронии ҳисоби конструкцияҳои болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетони яклухт ва васлӣ.

Инерсияи гармӣ яке аз омилҳои муҳим дар тарҳрезии биноҳои энергиясамаранок ба ҳисоб рафта, махсусан дар минтақаҳое, ки иқлимашон гарму зудтағйирёбанда мебошад, аҳамияти зиёд дорад.

Нишондиҳандаи баланди инерсияи гармии конструкцияҳои ихтавӣ имконият медиҳанд, ки сарфиати нисбии энергияро барои гармкунӣ ва муътадилсозии ҳарорати дохилаи бино коҳиш диҳанд ва таъмини микроиқлими ҳуҷраҳо хуб нигоҳ дошта тавонанд.

Инерсияи гармии конструкцияҳои ихтавӣ дар асоси формулаи зерин ҳисоб карда мешавад.

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n \quad (4)$$

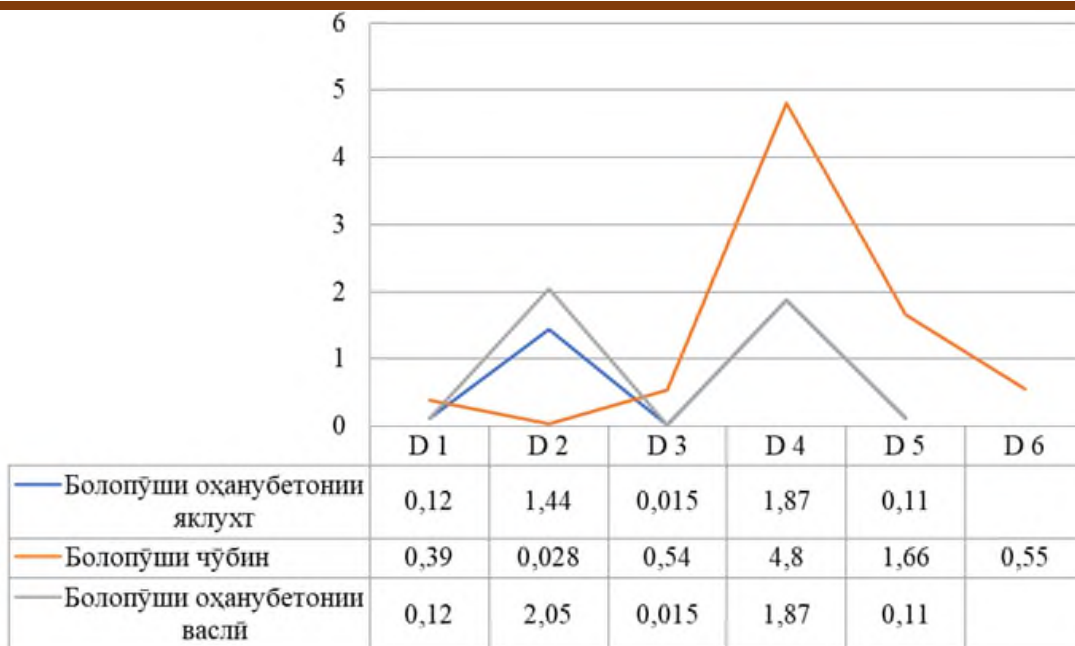
дар ин ҷо:

– R_1, R_2, R_n - Муқовимати гармигузаронии қабатҳои конструкцияи ихтавӣ м²·°C/Вт,

S_1, S_2, S_n - коэффисиенти гармиазхудкунии масоҳҳои қабатҳои конструкцияи ихтавӣ Вт / (м²·°C).

Инерсияи гармии болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ, ки тибқи таҳқиқотҳои назариявӣ ба даст оварда шудаанд, дар расми 3 оварда шудааст.

Ҳангоми гузаронидани таҳқиқотҳои назариявии конструкцияҳои ихтавии зикргардида масъалаи муайян намудани пайдошавии намнокӣ ва нуқтаи шабнам мавриди омӯзиш қарор гирифт. Яке аз сабабҳои пайдошавии намӣ ва нуқтаи шабнам дар конструкцияҳои ихтавӣ, фарқи ҳароратҳо мебошад. Конструкцияҳои ихтавӣ доимо дар зери таъсири омилҳои иқлимӣ қарор доранд. Аз як тараф ҳарорати ҳавои беруна, аз тарафи дигар ҳарорати ҳавои дохила таъсири худро мерасонад. Аз сабаби пайдошавии фарқи ҳароратҳо дар дохили конструкцияҳои ихтавӣ афтиши ҳарорат ба миён меояд.



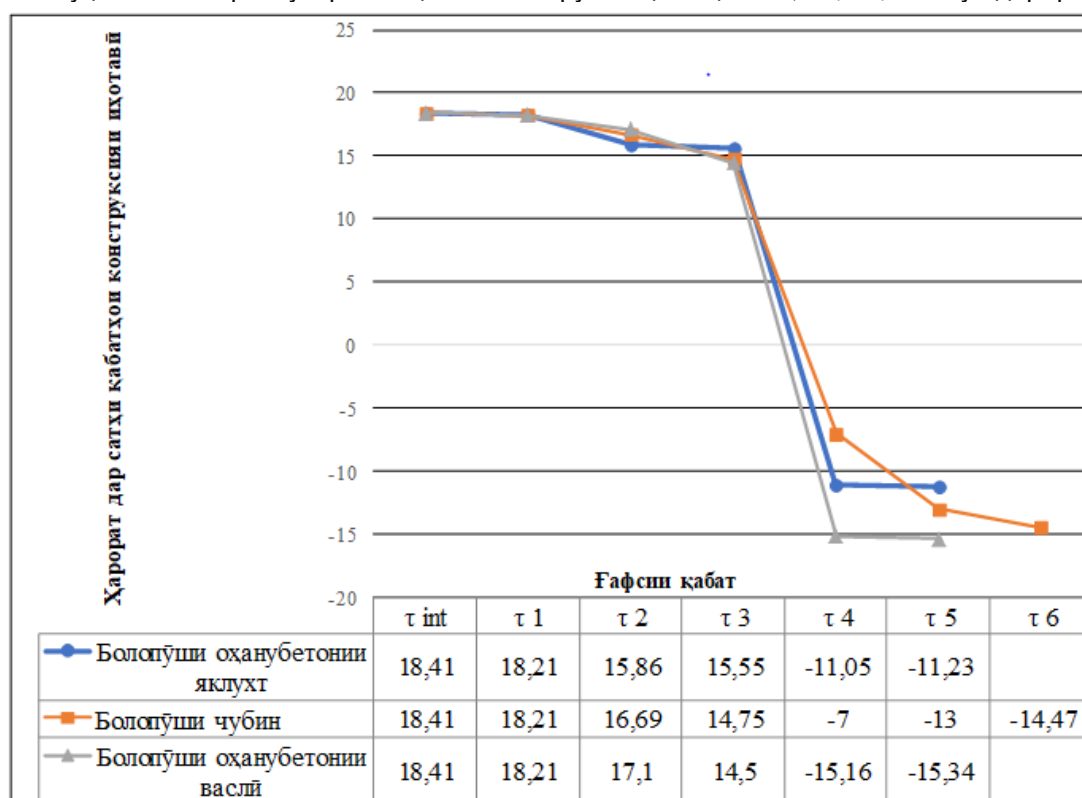
Расми 3 - Нишондиҳандаҳои инерсияи гармии болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ

Барои баҳодихӣ ва муайян намудани минтақаи намноки болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ, пеш аз ҳама ҳарорат бояд дар сатҳи қабатҳои конструксияи ихтавӣ муайян карда шавад. Бо истифода аз формулаи (5) ҳарорати сатҳи дохилаи қабатҳои конструксияҳои ихтавӣ майян карда шуда, натиҷаашон дар расми 4 оварда шудааст.

$$\tau_n = t_d + \frac{t_d - t_6}{R_o} \cdot R_d + R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (5)$$

дар ин ҷо:

τ_d - ҳарорат дар сатҳи дохилаи конструксияи ихтавӣ °C , t_d - ҳарорати дохилаи ҳуҷра, t_6 - ҳарорати ҳисобии ҳавои беруна дар моҳи январ, R_d - муқовимати гармигузаронии сатҳи дохилаи конструксияҳои ихтавӣ, R_o - муқовимати гармигузаронии ҳисоби конструксияҳои ихтавӣ, R_1, R_2, R_n - ҷун дар формулаи 4.



Расми 4 - Ҳарорат дар сатҳи қабатҳои конструксияҳои болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ.

Пайдошавии намнокӣ дар конструкцияҳои ихтавӣ ба сифат ва истифодабарии онҳо таъсири ниҳоят манфӣ мерасонад. Бинобар ин пеш аз оғози корҳои сохтмонӣ, яъне дар рафти таҳияи лоиҳа намнокии минтақаи сохтмон омӯхта мешавад, дар асоси омӯзиш масолеҳҳои сохтмонӣ аз рӯи намнокӣ мувофиқ ба минтақа қабул карда мешаванд.

Ҳудуди ҚТ аз рӯи намнокӣ ба ду минтақа тақсим мешавад [2].

1. Минтақаи хушк аз рӯи намнокӣ.

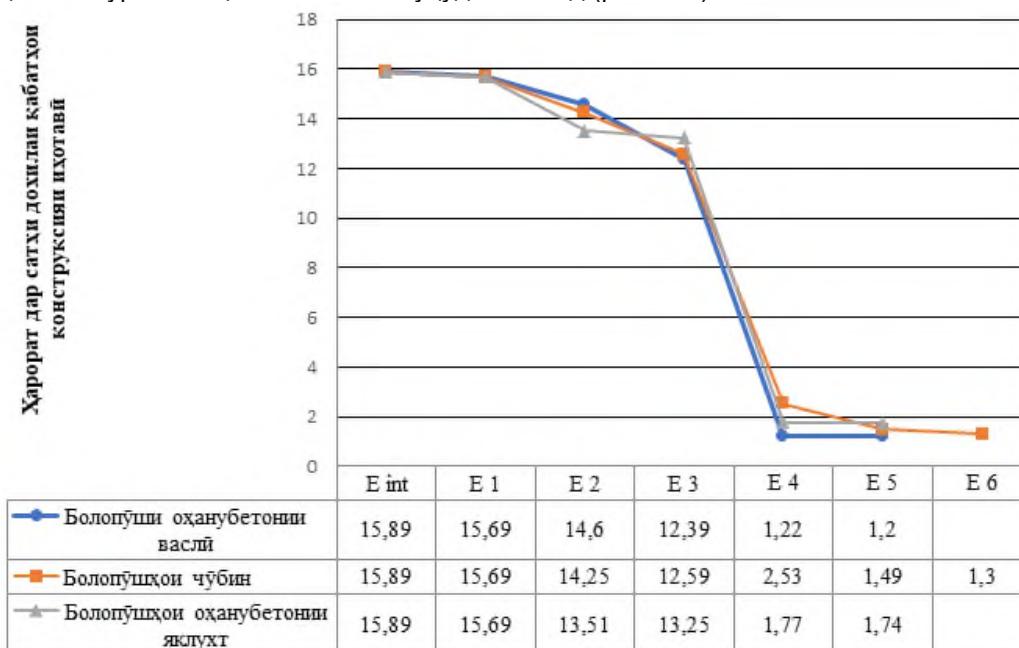
2. Минтақаи муътадил аз рӯи намнокӣ.

Аз ин лиҳоз реҷаи намнокии ҳуҷраҳои биноҳо вобаста аз ҳарорати дохила чунин қабул карда мешавад:

- ҳангоми ҳарорати дохилаи ҳуҷра то 12°C будан барои минтақаҳои хушк намнокии 60%, барои минтақаҳои муътадил бошад аз 60 то 75% гирифта мешавад;

- ҳангоми ҳарорати дохилаи ҳуҷра аз 12°C то 24°C будан барои минтақаҳои хушк намнокӣ то 50%, барои минтақаҳои муътадил бошад аз 50 то 60% гирифта мешавад.

Бо назардошти ҳарорати сатҳи дохилаи қабатҳои конструкцияҳои ихтавӣ ва нишондиҳандаҳои табию иқлимии дар раванди таҳқиқоти назариявӣ, фишори порсиалии буғи обӣ дар сатҳи дохилаи конструкцияҳои ихтавӣ ҳисоб карда шудааст. Тибқи натиҷаҳои ҳисобҳо муайян карда шуд, ки дар конструкцияҳои мазкур минтақаи намнок ба вуҷуд намеояд (расми 5).



Расми 5 - Нишондиҳандаҳои фишори порсиалии буғи обӣ дар қабатҳои конструкцияҳои болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ

Хулоса

Бо мақсади баланд бардоштани нишондиҳандаҳои гармимуҳофизии болопӯшҳои биноҳои шаҳрвандӣ ва таъмини муҳити микроиқлими онҳо дар қабатҳои мазкур таҳқиқоти назариявӣ бо назардошти меъёрҳои амалкунандаи ҳудуди ҚТ гузаронида шудааст. Дар раванди таҳқиқоти назариявӣ як қатор нишондиҳандаҳои асосии гармимуҳофизии конструкцияҳои болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ, ки бевосита имрӯз дар биноҳои шаҳрвандӣ истифода бурда мешаванд, бо назардошти шароити табию иқлимии шаҳри Душанбе муайян карда шуда, чунин хулоса барори карда шудааст:

- дар асоси ҳисоб бо усулҳои аналитикӣ, равандҳои гармигузаронии конструкцияҳои ихтавӣ, муқовимати гармигузаронии ҳисобии болопӯшҳои чӯбин, оҳанубетонии яклухт ва васлӣ муайян карда шуда, истифодаи онҳоро бо назардошти шароити табию иқлимии шаҳри Душанбе барои биноҳои шаҳрвандӣ вобаста ба ошённокии биноҳо аз нигоҳи энергиясамарнокӣ тавсия дода мешавад;

- бо назардошти пайдарҳамии таҳқиқоти назариявӣ инерсияи гармӣ, ҳарорат ва намнокӣ дар сатҳҳои конструкцияҳои зикргардида муайян карда шуда, дақиқ карда шуд, ки дар конструкцияҳои болопӯшҳои мазкур минтақаи намнок ба вуҷуд намеояд.

Муқаррир: Раҳмонзода А.Ҷ – н.и.т., дотсент, и.в. сардори раёсати илм ва инноватсияи Вазорати маориф ва илми Ҷумҳурии Тоҷикистон

Адабиёт

1. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон «Дар бораи сарфаҷӯи ва самаранокии энергия» аз 19 сентябри соли 2013, №1018.

2. Меъёри қоидаҳои сохтмонии Ҷумҳурии Тоҷикистон МҚС ҚТ 23-02-2021 Гармимуҳофизии биноҳо / Қумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон – Душанбе: Нашриёти: КВД «ПИТ С ва М», «Маркази таъбу нашр», 2021. - 38 с.

3. Меъёру кондаҳои шахрсозии Ҷумҳурии Тоҷикистон МКШ ТҶ 23-01-2018- Иқлимшиносии сохтмонӣ/ Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон – Душанбе: Нашриёти: КВД «ПИТ С ва М», «Маркази таъбу нашр», 2018. - 34 с.
4. Каримов, Н.М. Принципы проектирования гражданских зданий с энергоэффективными ограждающими конструкциями (на примере таджикистана) / Н.М. Каримов // дис. доктор PhD / ТТУ им. академика М.С. Осими. – Душанбе, 2023, - С. 157.
5. Шарифов А.Х. Исследование облегченных плит с комбинированным армированием / Шарифов А.Х. // дис. кандидата технических наук / ТТУ им. академика М.С. Осими. – Душанбе, 2023, - С. 145.
6. Шокиров Р. М., Каримов Н. М., Каримов Б. М. Теплофизический расчет ограждающих конструкций с помощью компьютерной калькуляции //Иновационные процессы в науке и технике XXI века. – 2021. – С. 320-325.
7. Нигматов, И.И. Особенности архитектурно-строительного проектирования зданий, возводимых в условиях жаркого климата Центральной Азии / Таджики НИИТИ. – Душанбе, 1993. - 216с.
8. Поччоев, М.М. Повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций сельских жилых зданий с эффективной теплоизоляции и использованием солнечной энергии / М.М. Поччоев // Дисс.....канд. техн. наук. - Душанбе, 2019, –С. 125.
9. Усмонов, Ш.З. Учет климатических и демографических условий Таджикистана при реконструкции жилых зданий для повышения их энергетических показателей / Ш.З. Усмонов // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Москва, 2016. – С. 18
10. Фазилов, А.Р. Нормативно-правовая база энергоэффективности в Республике Таджикистан / Фазилов А.Р., Шокиров Р.М. // Материалы научнопрактической конференции-выставки «Дни возобновляемых источников энергии и энергосбережения в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими». Душанбе, - 2021. – С. 167-170.
11. Хасанов, Н.Н. Современное состояние вопроса повышения энергоэффективности зданий общеобразовательных учреждений / Хасанов Н.Н., Нуров С.Р. // Материалы республиканской научно-практической конференции. «Практика, проблемы и перспективы повышения качества проектирования, строительства и производства строительных материалов». - Душанбе. 2016, - С.158-162.
12. Хужаев, П.С. Снижение энергопотребления здания путем применения теплоизоляционных материалов [Текст] / П.С. Хужаев, А.А. Сулейманов, М.М. Поччоев, З.А. Сулейманов // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, 2015 - №2 (30). – С.122- 13.
13. Якубов, Н.Х. Основы проектирования бесчердачных крыш в условиях жаркого климата: учеб. пособие для вузов // Н.Х. Якубов. – Душанбе: Первая типография, 1993. – 136с.
14. Харламов, Д.А. Инженерная методика расчёта приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций с учётом краевых зон /Д.А. Харламов, А.Д. Кривошеин // Изв. вузов. Строительство. -2008. -№6. - С.112-118.
15. Кузин, А.Я. Теплоперенос в неоднородной брусчатой наружной стене с фасадным утеплением / А.Я. Кузин, А.Н. Хуторной // Изв. вузов. Строительство. - 2005.-№11-12-С.4-10.

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

TJ	RU	EN
Асрорзода Асрор Сулейман	Асрорзода Асрор Сулейман	Asrorzoda Asror Suleiman
докторанты PhD	докторант PhD	PhD student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: asrori@list.ru		
TJ	RU	EN
Шокиров Рачабалӣ Маҳмадалиевич	Шокиров Раджабали Махмадалиевич	Shokirov Rajabali Mahmadalievich
Доктори PhD	Доктор PhD	Doctor PhD
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: Rajabali.1992@bk.ru		
TJ	RU	EN
Каримов Насимҷон Мирзораҳимович	Каримов Насимджон Мирзорахимович	Karimov Nasimjon Mirzorakhimovich
Доктор PhD	Доктор PhD	Doctor PhD
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими Таджикистана	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: nasim_2_4@mai.ru		

УДК: 711.58 (575.3)

ТАМОҶОЛИ РУШД ВА ҲАМБАСТАГИИ МЕЪМОРӢ БО НАМУДҲОИ ДИГАРИ САНЪАТИ ФАЗОГӢ ДАР ҚАЛАМРАВИ ЭРОН

Ҷ.Ш. Ғанизода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳлилу таҳқиқи тамоҷоли рушди меъмори ҷиҳати ҳамбастагии он бо намулҳои дигари санъати фазогӣ, аз қабилӣ муҷассамасозӣ, дизайни манзаравӣ, инсталлятсия ва санъати рақамӣ дар қаламрави Эрон бахшида шудааст. Дар қори мазкур, роҳҳои амалишавии ҳамбастагӣ ва мусоидати онҳо баҳри ташаккул додани фазоҳои бисёрҷабҳаву нодир, бо назардошти тағйирдиҳии эҳсоси иншооти меъмори мавриди баррасӣ қарор дода шудааст. Таваҷҷуҳи махсус ба масъалаҳои ҳамбастагии (интегратсияи) дизайни манзаравӣ дар лоиҳаҳои меъмори, ҳамзамон истифодаи ҳалҳои инноватсионӣ дар асоси технологияҳои муосири рақамӣ дода шудааст. Таъсири тамоҷоли мазкур ба равандҳои назариявӣ амалӣ таҳқиқ гардида истода, муҳимияти ҳамбастагӣ байниҳамдигарии намулҳои гуногуни санъат дарҷ гардидааст. Дар мақола қўиши собит сохтани он, ки санъати меъмори натиҷаи ҳамбастагии санъатҳои гуногун мебошад ва он метавонад имкониятҳои наву тозаро ҷиҳати дарки маърифатии муҳити агроф ба бор оварад, амалӣ гардидааст.

Калидвожаҳо: меъмори, муҷассамасозӣ, дизайни манзаравӣ, технологияҳои рақамӣ, ҳамбастагӣ, санъати фазогӣ, навоарӣ, дарки маърифатӣ, фазои ҳушӯҳанг.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРХИТЕКТУРЫ С ДРУГИМИ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ВИДАМИ ИСКУССТВ НА ТЕРРИТОРИИ ИРАНА

Д.Ш. Ғанизода

Данная статья посвящена исследованию тенденций развития архитектуры в контексте её взаимодействия с другими пространственными видами искусств, такими как скульптура, ландшафтный дизайн и цифровые технологии на территориях Ирана и стран Центральной Азии. В работе рассматривается, как эти взаимодействия позволяют создавать гармоничные и многогранные пространства, изменяя восприятие архитектурных объектов. Особое внимание уделяется интеграции ландшафтного дизайна в архитектурные проекты, а также применению инновационных решений с использованием современных цифровых технологий. Исследуется влияние этих тенденций на образовательные процессы и практику, подчеркивая значимость междисциплинарного сотрудничества. Статья демонстрирует, что современная архитектура является результатом синергии различных искусств и открывает новые горизонты для культурного осмысления окружающей среды.

Ключевые слова: архитектура, скульптура, ландшафтный дизайн, цифровые технологии, междисциплинарное сотрудничество, пространственное искусство, инновации, культурное осмысление, гармоничные пространства.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT AND INTERACTION OF ARCHITECTURE WITH OTHER SPATIAL ART TYPES IN IRAN

D.Sh. Ghanizoda

This article is devoted to the study of trends in the development of architecture in the context of its interaction with other spatial arts, such as sculpture, landscape design and digital technologies in Iran and Central Asian countries.

The work examines how these interactions allow creating harmonious and multifaceted spaces, changing the perception of architectural objects. Particular attention is paid to the integration of landscape design into architectural projects, as well as the use of innovative solutions using modern digital technologies. The influence of these trends on educational processes and practice is studied, emphasizing the importance of interdisciplinary cooperation. The article demonstrates that contemporary architecture is the result of the synergy of various arts and opens up new horizons for cultural understanding of the environment.

Keywords: architecture, sculpture, landscape design, digital technologies, interdisciplinary collaboration, spatial art, innovation, cultural understanding, harmonious spaces.

Меъмори ҳамчун яке аз намулҳои санъати тарҳрезиву бунёдқории биноҳо ва иншоот, таърихан ва чун анъана бо таъйинот ва эстетикааву зебопарастӣ алоқамандии бениҳоят зич дорад. Бояд қайд намуд, ки дар замони муосир интегратсияи равандҳои меъмори бо намулҳои дигари санъати фазогӣ, аз ҷумла: муҷассамасозӣ, дизайни манзаравӣ, инсталлятсия ва санъати рақамӣ ҳамчун падидаи устувор ба назар расида, робитаи мазкур имкониятҳои наву эҷодқоронаро баҳри ташаккул додани фазоҳои нодирӯ бисёрҷабҳа фароҳам меоварад.

Дар тамоми давраи замони рушду нумуши санъати меъмори, ҳамбастагии он бо муҷассамасозӣ ба назар расида, ҳоло дар замони муосир, боз ҳам муҳиму мубрам гардида истодааст. Муҷассамасозӣ метавонад шаклҳои меъморию ғанитару қолибтар сохта, ҳамзамон метавонад онро аз нуқтаи назари таҳассусӣ барои ташаккули бастақориҳои ҳамоҳанги меъмори мусоидат намояд.

Тамоҷоли рушд ва ҳамбастагии меъмори бо намулҳои дигари санъати фазогӣ дар қаламрави Эрон яке аз мавзӯҳои умдатарину бисёрҷабҳае мебошад, ки таъриху фарҳанги ҳазорсолаи бою ғаниро дар бар мегирад. Қаламрави мазкур дар қорроҳаи тамаддунҳо ҷойгир буда, ҳамавақт бо мероси бойи фарҳангӣ фарқ менамуд, ки дар он меъморию санъатҳои дигар бо ҳам пайвастиҳои назаррас доштанд ва доранд [1, 3, 6, 8].

Он қори тамоҷолу хусусиятҳои хос ва муттасилии таърихӣ мебошад, ки хусусан дар меъмори ва санъати минтақа таҷассум ёфтааст. Шаклҳои анъанавӣ, нақшу нигор ва техникаи ороишии ҳанӯз аз давраҳои қадимтарин ба вучуд омада, то ҳол нигоҳ дошта шуда, дар давраҳои минбаъда, вобаста ба талаботи замон аз нав эҳё гардидаанд.

Бояд тазақкур қод, ки қини Ислом баъди пайдоиши худ, ба рушди ҳамаҷонибаи меъморию санъат дар қаламрави Эрон нақши назаррасе гузоштааст. Масқиду мадраса ва мақбараҳои дар он давра эҷоду

бунёдшуда, ҳамчун унсурҳои марказии иморатсозии шаҳрҳо қабул гардида, бо ороишоти бою ғанӣ, аз ҷумла хаттотӣ, нақшу нигори геометриву набототӣ бунёд гардидаанд.

Намудҳои санъати фазогӣ дар қаламрави Эрон аз истифодаи равияи махсуси санъат “символизм” ҳолӣ набуда, дар он шакли биноҳо, нақшу нигор, рангҳо як аҳамияти хоси худро доранд ва ғояи муайянеро инъикос менамоянд, ки он метавонад маъноӣ динӣ, фалсафӣ ва космологӣ дошта бошад.

Меъморӣ ва намудҳои дигари санъати фазогӣ дар манотиқи номбурда бо дараҷаи ниҳоят баланди истифодабарии ороишнокиро (декоративиро) фарқ менамоянд. Дар он ҷо масолеҳҳои техникаи гуногун, аз қабилӣ кошинкорӣ (мозаика), рӯйкашӣ кошинкорӣ, ҷӯбкорӣ ва сангтарошӣ, инчунин нақшу нигор мавриди истифодабарии васеъ қарор дода шудааст.

Яке аз ҷабҳаҳои дигари фарқкунанда дар бунёду ҷобачогузории бинову иншооти қаламрави Эрон, ин ҳамбастагии меъморӣ бо манзараҳои табиӣ ба ҳисоб меравад. Ҳавлиҳои дохила бо фаввораву боғҳо қисми ҷудонашавандаи маҷмуаи (ансамбли) меъморӣ буда, барои ташаккул додани муҳити мусоиди ҳаво ва оромӣ мусоидат менамоянд [2,5].

Ҳамзамон, боиси зикр аст, ки меъморӣ қаламрави мазкур дар бештари ҳолатҳо бо намудҳои дигари санъат дар робитаву ҳамоҳангӣ қарор гирифта, синтези санъатро ташаккул медиҳанд. Аз ҷумла:

- хаттотӣ (каллиграфия). Да сатҳи деворҳои биноҳо, меҳробӣ масҷидҳо ва сангҳои мазор аксаран ояҳо аз Қуръони Карим, панду ҳикмат, номҳои шахсони муқаддас ба сифати унсурҳои ороишии намо истифода гардидаанд;

- нақшу нигор. Нақшу нигори шаклҳои геометрӣ, наботот (арабеска) ва гулкорӣҳои эпиграфӣ, ҳамчун қисми ҷудонашавандаи являюся ороишоти иншооти меъморӣ ба ҳисоб рафта, онҳо на танҳо барои зебу зиннати бино, балки бо мақсади аҳамияти рамзӣ доштанишон, пешбинӣ шудаанд”

- миниатюр (миниатюра). Наққошии миниатюрӣ дар аксари ҳолат маҷмааҳои меъморӣ, саҳнаҳои ҳаёӣ, сужетҳои асотирӣ (мифологӣ)-ро ифода намуда, фазои меъмориро пурра ва инъикос менамоянд”

- муҷассасаҳо. Дар санъати исломӣ истифодаи муҷассасаҳо як қатор маҳдудият дошта, ҷӯбкорӣ ва кандакорӣ рӯйи сангӣ барои бунёди унсурҳои ороишӣ, саркубҳои сутунҳо, дару дарвозаҳо ба таври васеъ истифода шудаанд;

- манъати ороишии амалӣ. Маснуоти кўлолгарӣ, аз филизу матоъ, қолинҳо бештар барои ороиши намои дохилаву берунаи (интерер ва экстерер) биноҳо мавриди истифода қарор дода шуда, ҳамзамон барои ғанӣ гардонидани маҷмааҳои меъморӣ кўмак мерасонанд.

Тамоюли рушд ва ҳамбастагии меъморӣ бо намудҳои дигари санъати фазогӣ дар қаламрави Эрон намунаи барҷастаи раванди мазкурӣ синтези санъату меъморӣ ба ҳисоб рафта, он якҷанд марҳилаҳои таърихиро, аз қабилӣ давраи то исломӣ, давраи исломӣ, давраи исфаҳонӣ (сефевидӣ) ва давраи муосирро дар бар мегирад [4, 10].

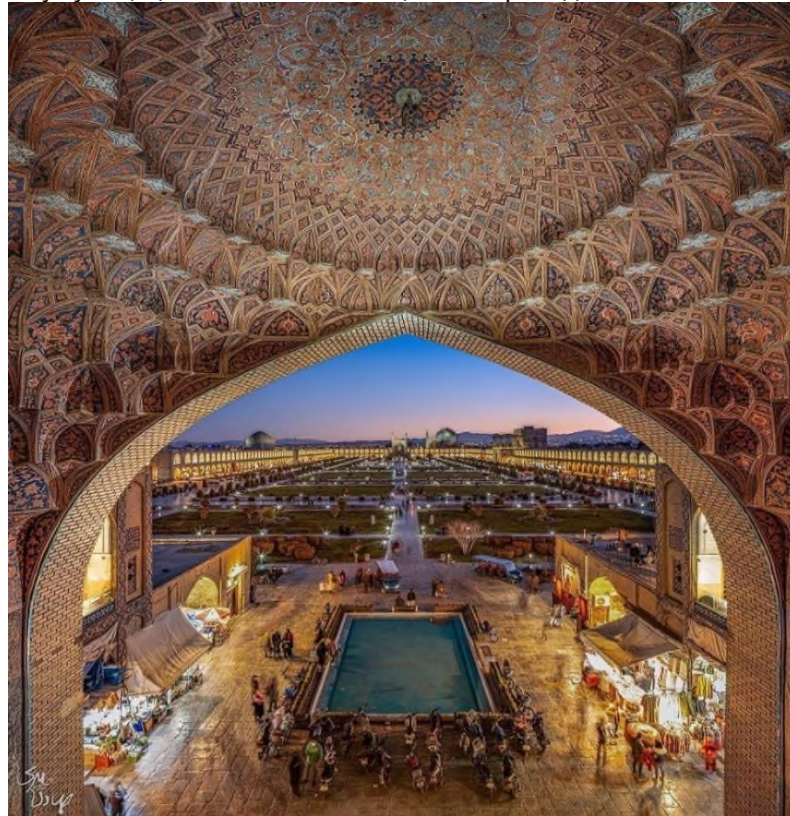
Давраи рушди меъморӣ тоисломӣ тамоюли номбурда, меъморӣ империяҳои Ахеменидӣ, Парфиянӣ ва Сосониро дар бар мегирад. Ин давраҳои тамоюл рушди ҳамҷаворӣ санъатҳо бо азамату бузургии иншоот, истифодаи сангҳои гуногун, маҷмааҳои қасрҳои дарборӣ (масалан, Персепол, Пасаргад, Ктесифон) фарқкунанда буда, аллакай дар ин давра ҳамбастагиҳои муҷассамасозӣ ва релеф ба назар мерасад (расми 1).



Расми 1 – Димнаи (чоли фарсудаи) шаҳри Персеполӣ Эрон

Марҳилаи ба ном тиллоии рушди санъат ва меъморӣ форсӣ дар давраи ҳукумронии Исфаҳонӣ арзи вуҷуд доштааст. Майдони Нақши Ҷаҳон дар Исфаҳон (майдони Имом) дар маркази Исфаҳон ҷойгир буда, яке аз зеботарин майдонҳои ҷамъиятии ҷаҳонӣ ба ҳисоб меравад. Дар он биноҳои масҷиди Имому шайх Лутфулло, қасри Оли Қопу ва бозори азимҷусса намунаи волотарини синтези меъморӣ, наққошӣ,

кандакориҳои ороишӣ ва дизайни манзаравии муҳити атроф ба ҳисоб меравад (расми 2). Иншооти мазкур яке аз объектҳои мероси умумиҷаҳонии ЮНЕСКО ба ҳисоб меравад.



Расми 2 - Майдони Нақши Ҷаҳон дар Исфаҳон (майдони Имом)

Намунаи дигари тамоюли рушд ва ҳамбастагии меъморӣ бо намудҳои дигари санъати ҷаҳонӣ дар қаламрави Эрони асримиёнагӣ, мақбараи султони шӯҳратманди ҳамон давра, султон Аҳмади Санҷар ба ҳисоб меравад, он он дар ҳудуди шаҳри қадимаи Марв (дар Туркманистони ҳозира) бунёд гардидааст. Султон Санҷар, ҳанӯз дар давраи ҳукмронияш барои бунёди мақбарааш бо номи “Дар алаҳира” супориш дода, баъди бунёди он дар соли 1157 дар он ба ҳок супорида шудааст [2, 7]. Бинои мақбара дар маркази шаҳрчаи Султон Қалъа ҷойгир буда, бо намуди зоҳирии худ бинои осмонхороши асримиёнагии шакли мукаабро бо гунбази дусатҳаи ороиши фирӯзарангдошта, ба ёд меорад. Дар зери гунбаз айвонҳои сесатҳа, дар намуди арқҳои нафису нозук ҷойгир карда шуда, ҳуди гунбаз рамзан ба гунбази осмон шабоҳат дорад. Ҷафсии деворҳои мақбара дар асос 5 метр буда, дарозии онҳо 27 метр ва баландиашон 38 метро ташкил додааст (расми 3).



Расми 4 - Мақбараи султон Аҳмади Санҷар, Марв

Бояд тазакур дод, ки санъати меъмории муосири Эрон таҷассумгари таъриху маданият, дин ва эстетикаи бою ғании ин мамлакати ҷолибу нотақрор ба ҳисоб рафта, он намунаи дурахшони ҳамбастагии унсурҳои тафаккури маърифати гуногунҷабҳа дар бастакории ягона мебошад.

Меъмории Эрон дорои решаҳои қадимтарини таърихӣ ҳалқҳои он буда, яке аз хусусиятҳои хоси он, истифодаи нақшу нигори ҷолибу нодир мебошад, ки ҳар як бинову иншооти бунёдшавандаро аз нуқтаи назари меъморию таъйинотӣ боз ҳам ғанитатар мегардонад. Падидаи дигар, таваҷҷуҳи хоса ба ҳамбастагиҳо бо муҳити атроф мебошад, ки он дар истифодабарии захираҳои обӣ, наботот ва боғу роғ дар таркиби бастакории меъмории таҷассум меёбад.

Дар асрҳои XX-XXI дар санъати меъмории Эрон ҳамҷавории шаклҳои анъанавӣ бо ҳалҳои муосири меъмории ҳар чӣ бештар ба назар мерасад. Меъмории эронӣ ҳамачониба барои ҳифзу нигоҳдории меъроси маъмориву маърифатӣ ва интегратсияи он бо раванди муосир сайю кӯшиш менамоянд. Нодириву зебогӣ ва ҷолибияту рангорангии меъмории Эрони муосир онро дар марҳалаи ҳозира ба яке аз унсурҳои муҳими меъросии фарҳангии ҷаҳонӣ табдил додааст.

Чуноне, ки таърихшинос ва бостоншиноси амрикоӣ Артур Поупа қайд намудааст волотарин санъати эронӣ бо маънои томи худ, ин меъмории он ба ҳисоб меравад. Бартарии санъати меъмории Эрон дар он аст, ки он гуногунрангии назаррас, чӣ сохторӣ ва чӣ эстетикиро аз байни малакаву таҷрибаҳо ва анъанаҳои ҳазорсолашро таҷассум намуда, дар он дарки ҳамачонибаи шаклу миқёс, эҷодкорӣ сохторӣ, хусусан дар бунёди гунбазу арқҳо, нотақрорӣ ороиши озодона ва дастовардҳо намоён аст, ки дар меъмории мамолики дигар умуман ба худ ҳамтову баробар надорад [2].

Меъмории муосири Эрон дар аввали солҳои 20-уми асри гузашта, дар давраи якуми ҳукумронии шоҳ Паҳлавӣ оғоз ёфтааст. Меъмори шинохтаи сатҳи ҷаҳонӣ Андре Годар, муаллифи лоиҳаи Осорхонаи миллии Эрон, ёдовар менамояд, ки меъроси таърихиву меъмории Эрон бе чуну чаро намунаи барҷастаи осори меъмории ҷаҳонӣ ба ҳисоб меравад.

Як қатор меъмору дизайнерони дигар кӯшиш ба харҷ доданд, ки дар эҷодиёти меъмории худ унсурҳои анъанавии санъати меъмории Эронро бо дизайни муосири меъмории ҳамҷоя намоянд. Бинои асосии донишгоҳи метавонад ба сифати намунаи чунин ҳамбастагиҳо бошад. Меъмории дигар, Гейдар Гиай ва Хушанг Сейхун ҳаракат намудаанд, то қорҳои куллан нодиру бесобиқаи худро новобаста аз таъсири давраи пешина ба анҷом расонанд. Эҷодиёти меъмории Дариуш Борбор метавонад ҳамчун намунаи дигари муваффақонаи ҳамбастагии меъмории муосир бо падидаҳои маҳаллӣ баррасӣ гардад.

Бурҷи Озодӣ, ки қаблан бурҷи Шоҳон номида мешуд дар оғози соли 1971, бахшида ба 2500 солагии солгарди Империяи бузурги Форс (Персия) бунёд гардида, то ҳол яке аз ҷойҳои тамошобобу шоёни диққати шаҳри Техрон мебошад. Иншооти мазкур дар асоси лоиҳаи донишҷӯи бахши меъмории донишгоҳи Техрон, ҷавони 24-солаи эронӣ Хусейн Амонат сохта шуда, дар он шаклу ғояҳои таърихӣ меъмории Эрон таҷассум ёфтааст. Меъмори ҷавон дар эҷоди меъмории худ тавонист, ки ҳалҳои ҷасурунаи геометрию бо унсурҳои анъанавии ба меъмории давраҳои Сосониён Ахеменидиҳо дахлдоштаро бо ҳам пайвандад [9,10].

Манораи Озодӣ дар қисмати ғарбии пойтахти Эрон, дар даромадгоҳи асосии шаҳри Техрон ҷойгир буда, бо баландии 50 метр бо мармари сафед ороиш дода шудааст. Бурҷи Озодӣ унсури асосии маҷмааи фарҳангии “Озодӣ” ба ҳисоб рафта, дар маркази майдони калонтарини шаҳр бо масоҳати қариб 50000 метри мураббаъ ҷойгир гардидааст. Дар қатори иншооти номбурда, дар таркиби маҷмаа осорхонаи зеризаминӣ ва як ҷуфти фаввораҳо пешбинӣ шуда, дар вақти шабона деворҳои манора бо рангҳои парчами миллии равшан карда мешавад (расми 4).



Расми 4 - Бурҷи Озодӣ, ш.Техрон, (соли бунёд 1971)

Аз тарафи беруна тамоми маҷмаъа бо истифода аз 25 000 чузъҳои (блокҳо) аз мармари сафеди исфаҳонӣ омодашуда рӯйпуш карда шуда, сатҳҳои дохила, ки шакли турро доро мебошад ва бо нақшу нигори миллии форсӣ ниҳоят ҷолибу зебо ороиш дода шудааст. Ҳар як тарафи иншоот бо нуҳ тасмаҳат рӯйпуш гардида, дар қисмати аз ҳама боло нуҳ тиреза пешбинӣ шудааст. Тибқи андешаҳои муаллифи лоиҳа чунин “тури теғаҳо”, ки арқоро бо ҳам мепайвандад, маънои робитаву алоқамандӣ ва ҳамбастагии санъати меъмории анъанавӣ ва муосири Эронро таҷассум меамояд.

Бурчи Милод (манораи Милод), иншооти дигари ҷолибу бошукуҳи асри XX дар Эрон ба ҳисоб рафта, бунёди он дар соли 2007 ба анҷом расидааст. Агар бурчи Озодӣ робитаи Эронро бо решаҳои таърихии форсӣ инъикос намояд, бурчи Милод таҷассумгари Эрони муосир ба ҳисоб меравад. Таҳияи лоиҳаи иншооти мазкур ҳанӯз дар солҳои 90-уми қарни гузашта, дар даврае, ки Ҳукумати Эрон дар бораи бунёди маркази бисёртаъйинта бо манораи телекоммуникатсионӣ, толорҳои маҷлиси барои баргузории конфоронсҳо, меҳмонхонаҳо ва марказҳои тичоратӣ қарор қабул намудааст, амалӣ гардидааст. Сохтмони иншоот аввали солҳои 2000-ум оғоз гардида, соли 2007-ум он мавриди истифода қарор дода шудааст.

Меъмори лоиҳа Муҳаммад Ризо Ҳофизӣ иншооти мазкурро чунин тарҳрезӣ намудааст, ки он на танҳо ҳамчун бинои таъйиноти маркази телевизионӣ бошад, балки таҷассумгари Эрони навин ва тараққиёфта гардад. Баландии бурҷ ба 435 метр баробар буда, он яке аз иншооти баландтарини Эрон ва шашумин манораи телевизионии алоҳидаистода баландтарин дар ҷаҳон ба ҳисоб меравад (расми 5).



Расми 5 – Бурчи Милод, ш. Теҳрон (соли бунёд 2007)

Бурчи Милод ҳамчун намунаи нигоҳи муосир ба меъмории анъанавии форс, ки унсурҳои фарҳанги миллиро бо дастовардҳои муосири муҳандисӣ ва дизайн бо ҳам мепайвандад, метавон ҳисобида шавад. Иншоот пешравӣ ва рушди технологияи Эронро инъикос карда, кушода будани мамлакатро ба робитаҳо ва ҳамкориҳои байналмилалӣ таҷассум менамояд. Баландӣ ва сохтори конструктиви азимчуссаи он, кушиши Эронро баҳри пешсафӣ ва эътироф гардидан дар ҷомеаи ҷаҳонӣ ифода менамояд.

Хулоса

Таҳлили таҳқиқи тамоюли рушд ва ҳамбастагии меъмории намудҳои дигари санъати фазогӣ дар қаламрави Эрон собит месозанд, ки меъмории муосири мамлакат дар робитаи бевоситаи падидаҳои фарҳангӣ, таърихӣ ва иҷтимоӣ рушду нумӯш намуда истодааст.

Дар раванди рушди худ санъати меъмории намудҳои дигари санъат, аз қабилӣ дизайни дохили биноҳо, санъати муҷассамасозӣ, манзаравию шаҳрсозӣ ва инчунин ҳунароҳои анъанавӣ ва санъати ороишии амалӣ ҳамбастагии фаъол дорад. Ҳамбастагии мазкурӣ санъатҳо барои ташаккули айнияти нодири меъмории, ки бо тамоюлҳои муосири фарҳанги эронии анъанаҳои назаррасдошта пайванд мебошад, метавонад мусоидат намояд. Яке аз тамоюлҳои муҳим дар ин ҷода ҳамҷояшавии ҳалҳои меъмории бо унсурҳои бадеӣ, аз ҷумла кошинкорӣ, хаттотӣ (каллиграфия), нақшу нигор, ки арзиши эстетикӣ ва аҳамияти фарҳангии бинову фазоҳоро меафзояд, ба ҳисоб меравад.

Дар санъати меъмории муосири Эрон кушишу ғайрат барои ҳамбастагии мувофиқи ҳадафҳои анъанавӣ бо технология ва масолеҳҳои инноватсионӣ, ки рушди устувор ва фазоҳои таъйинотиро таъмин

менамояннд, ҳамаҷониба ба назар мерасад. Ҳамбастагӣҳои бо намудҳои гуногуни санъат метавонад имкониятҳои ғояҳои меъмориро бо ғаний гардонида, ба ҳамкориҳои байнисоҳавӣ мусоидат намояд.

Муқарриз: Муқимов Ғ.С. — доктори меъморӣ, профессори кафедраи дизайни муҳити меъморӣ ва тармими ДҶТҶИ ба номи ақадемик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Артур Алхэм Поуп . Знакомство с персидской архитектурой. Oxford University Press . Лондон. 1971.
2. Блэр, Шейла; Блум, Джонатан М. (1995). Искусство и архитектура ислама 1250–1800 . Издательство Йельского университета. ISBN 978-0-300-06465-0.
3. Блум, Джонатан М.; Блэр, Шейла (2009). Энциклопедия исламского искусства и архитектуры The Grove . Oxford University Press. ISBN 978-0-19-530991-1. Получено 15.03.2013 .
4. Блум, Джонатан М. (2013). Минарет . Эдинбург: Издательство Эдинбургского университета. ISBN 978-0748637256. OCLC 856037134 .
5. Блум, Джонатан М. (2020). Архитектура исламского Запада: Северная Африка и Пиренейский полуостров, 700-1800 . Издательство Йельского университета. ISBN 9780300218701.
6. Эттингхаузен, Ричард; Грабарь, Олег; Дженкинс-Мадина, Мэрилин (2001). Исламское искусство и архитектура: 650–1250 . Издательство Йельского университета. ISBN 978-0-300-08869-4. Получено 17.03.2013 .
7. Flood, Finbarr Barry; Necipoğlu, Gülru, ред. (2017). Спутник исламского искусства и архитектуры . Wiley Blackwell. ISBN 9781119068662.
8. Хаттштейн, Маркус; Делиус, Питер, ред. (2011). Ислам: искусство и архитектура . хфульманн. ISBN 9783848003808.
9. Хилленбранд, Роберт (1994). Исламская архитектура: форма, функция и значение (ред. Casebound). Нью-Йорк: Columbia University Press. ISBN 978-0231101325. OCLC 30319450 .
10. Хилленбранд, Роберт (1999b). Исламское искусство и архитектура . Нью-Йорк: Темза и Гудзон. ISBN 978-0-500-20305-7.
11. Петерсен, Эндрю (1996). Словарь исламской архитектуры . Routledge. ISBN 978-0-203-20387-3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Ғанизода Ҷамшед Шучоат	Ганизода Джамшед Шуджоат	Ganizoda Jamshed Shujoat
унвонҷӯй	соискатель	applicant
Соҳтмон ва меъморӣ	Строительство и архитектура	Construction and architecture
E-mail: jamna@mail.ru		

АЛОҚАМАНДИИ МЕЪМОРӢ ВА АКУСТИКА**Н.Н. Ҳасанов, Р.Х. Пирматов, Б.С. Ашурзода**

Мақола ба омӯзиш ва таҳқиқи алоқамандии меъмории ва акустика, ки яке аз ҷабҳаҳои муҳиму мубрам дар лоиҳакашии биноҳои ҷамъиятӣ ба ҳисоб рафта, он бевосита алоқамандии мавҷҳои садо ва хусусиятҳои дигари муҳити акустикиро бо муҳити атрофи ҷӣ дохилаву ҷӣ беруна пешбинӣ менамояд, бахшида шудааст. Ҳанӯз аз давраҳои қадим, юнониёну римӣҳо алоқамандии байни акустика ва меъморию муҳим шуморида, дар бунёди биноҳои ҷамъиятӣ, аз ҷумла театру толорҳои тамошо, ки бо шарофати конструкцияҳои онҳо, тамошобинони қаторҳои охири садаи ҳунармандонро равшану возеҳ шунда метавонистанд ва тамоми ҳаракатҳои дар сахна ба анҷомрасонидаро хуб меиданд, онро тасдиқ намудаанд.

*Калидвожаҳо: меъморию, акустикаи меъморию, муҳити садо, муҳити физикӣ***ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ АРХИТЕКТУРОЙ И АКУСТИКОЙ****Н.Н. Хасанов, Р.Х. Пирматов, Б.С. Ашурзода**

Статья посвящена изучению и исследованию взаимосвязи архитектуры и акустики, которая считается одним из важнейших и актуальных аспектов в проектировании общественных зданий, напрямую затрагивающим взаимосвязь звуковых волн и других характеристик акустической среды с окружающей средой, как внутренней, так и внешней. С древних времен греки и римляне считали важной связью акустики с архитектурой, и они подтвердили это при строительстве общественных зданий, в том числе театров и зрительных залов, благодаря их конструкциям зрители в последних рядах могли отчетливо слышать голоса исполнителей и отчетливо видеть все движения, совершаемые на сцене.

*Ключевые слова: архитектура, архитектурная акустика, звуковая среда, физическая среда***RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND ACOUSTICS****N.N. Hasanov, R.Kh. Pirmatov, B.S. Ashurzoda**

The article is devoted to the study and investigation of the relationship between architecture and acoustics, which is considered one of the most important and urgent aspects in the design of public buildings, which directly involves the relationship of sound waves and other characteristics of the acoustic environment with the surrounding environment, both internal and external. Since ancient times, the Greeks and Romans considered the relationship between acoustics and architecture to be important and confirmed it in the construction of public buildings, including theaters and auditoriums, thanks to whose constructions, spectators in the last rows could clearly hear the voices of the performers and clearly see all the movements performed on the stage.

Keywords: architecture, architectural acoustics, sound environment, physical environment

Акустика яке аз ҷабҳаҳои муҳиму мубрами меъмории ба ҳисоб рафта, он бевосита алоқамандии мавҷҳои садо ва хусусиятҳои дигари муҳити акустикиро бо муҳити атрофи ҷӣ дохилаву ҷӣ беруна пешбинӣ менамояд. Аз ин лиҳоз, меъморуно лоиҳакашон бояд ҷабҳаҳои акустикиро ҳанӯз дар давраи қаблии лоиҳакашии биноҳо ва иншооти гуногунтаъиноти мавриди омӯзиш ва таваҷҷуҳи ҷиддӣ қарор диҳанд. Дар ин робита, бояд мавҷҳои қалбӣ ва принципаӣ, ки баъдан метавонанд ба сатҳу сифати ҳалли дизайни акустикии биноҳо таъсири ҳудро расонанд, муайян ва ба назар гирифта шаванд [1]. Аз ҷумла:

- шаклу андозаҳои ҳуҷраҳои биноҳо ва иншоот: Онҳо метавонанд барои паҳншавии мусоиду мунтазами садо дар дохили ҳуҷраҳо таъсири бевосита расонанд. Масалан, пешбинӣ намудани шифтҳои баланди ҳуҷраҳо барои ба даст овардани босамарии ревербератсия найши муҳим дошта бошанд.

- масолеҳҳои ороишӣ рӯйпушӣ: Истифодаи дурусти масолеҳҳои садофурӯбар (садомуҳофиз) дар интерери ҳуҷраҳои толорӣ, метавон сабаби беҳтар намудани сифатҳои акустикии гардад. Масалан, пешбинӣ намудани қолину лавҳаҳои чандири ороишӣ ба коҳиш додани инъикоси садо аз сатҳу мусоидат менамояд.

- тарҳрезии фазо: Ҷобачогузории ҳуҷраҳои таъиноти гуногундошта дар ҳалли тарҳиву ҳаҷмии биноҳо ва иншоот (толорҳои консертӣ ё синфхонаҳои муассисаҳои таълимӣ) бояд дар асоси иҷрои бечунуҷарои талаботи акустикӣ амалӣ карда шавад.

Ҷӣ тавре, ки қаблан қайд гардида буд, акустикаи меъмории, ки асоси онро ғояҳои физикӣ ташкил медиҳад, дар ташаккули муҳити ҳамаҷониба мусоиди меъморию фазогӣ нақши арзандае дошта, дарку эҳсоси ҳамбастагии садо бо унсурҳои меъмории имкон медиҳанд шароитҳои муфиду босамарро барои садодиҳии дуруст ва коҳиш додани мағали беруна мусоидат намояд [2, 3].

Ҳар як меъмору ва муҳаққиқи ба самти мазкурӣ лоиҳакашӣ дастдошта, бояд донанд, ки баланд бардоштани сифати акустикӣ дар биноҳо, хусусан биноҳои театру, толорҳои консертӣ ва ё маъмурию истиқоматӣ вазифаи ниҳоят мубраму муҳими фаъолияти онҳо ба ҳисоб меравад. Акустикаи меъмории илмест, ки дар баробари омӯзиши падидаҳои таъмини садодиҳии мусоид дар биноҳои пушидаву фазоҳои кушода, ба тарзу усули лоиҳакашии меъмории бахшида шудааст. Сифатҳои акустикӣ на танҳо ба дарку эҳсоси садо, балки аз нуқтаи назари функционалӣ будани ҳуҷраҳои бино, ки бевосита аз дараҷаи касбии меъмору-лоиҳакаш вобаста мебошад, таъсир мерасонад. Тарҳрезии дурусту муфиду тавсифоти акустикӣ имкон медиҳад, ки аз пайдо шудани ҳолатҳои акси садо, ғалоғулаи беруна ва таъсироти дигари номатлуби акустикӣ пешгирӣ карда истода, барои дарки босамари маълумот ва афзоиши сифати истифодабарии муҳити дохилаи биноҳо мусоидат намояд.

Роҳу усулҳои муосир оид ба ҳалли мушкилоти акустикаи меъмории ҳамбастагии самтҳои гуногунро дар бино, аз қабيلي физика, равшанӣи муҳандисӣ ва меъморию талаб менамояд.

Дар раванди лоиҳакашии биноҳо ва иншоот, вазифаи асосии меъмору аз ташаккул додани муҳити физикӣ, хусусан сохтори биноҳо, асноби бисотва ҷузъиёт, ба монанди равшанӣ, истифодаи барқ, гармидиҳӣ ва ғайра иборат мебошад. Ҳамзамон, ба ғайр аз шаклу таъиноти будани бино, меъмору бештар ба ҷанбаҳои ноайёну ниҳоятдараҷа муҳим, ба монанди садо, ҳамчун омили асосии акустикӣ таваҷҷуҳ менамояд. Воқеан, акустика дар ин раванд нақши назаррасу устувор дошта, маҳз ба шарофати он, мо муҳити атрофи ҳудро эҳсос намуда, бевосита бо он дар алоқамандӣ мебошем.

Дар натиҷаи истифодабарии мохиронаи масолеҳҳои садомуҳофизӣ меъмор метавонад амсиласозии садоро ба анҷом расонида, фазои атрофро эҳсос намояд.

Ҳанӯз аз давраҳои қадим, юнониёну римиҳо алоқамандии байни акустика ва меъморию муҳим шуморида, дар бунёди биноҳои ҷамъиятӣ, аз ҷумла театру толорҳои тамошо, ки бо шарофати конструкцияҳои онҳо, тамошобинони қаторҳои охири садои ҳунармандонро равшану возеҳ шунида метавонистанд ва тамоми ҳаракатҳои дар сахна ба анҷомрасонидаро хуб медидаанд, онро тасдиқ намудаанд.

Муҳаққиқони муосир муфидии технологияҳои ҳалли мушкилоти акустики аз ҷониби юнониҳои қадим пешниҳод гардидаро тасдиқ намуда, ибраз мебаранд, ки маҳз онҳо дар асоси рушди минбаъдаи раванди мазкур хобидаанд. Дар расми 1. театри қадимаи Эпидавр, ки дар Юнон ҷойгир аст тасвир шудааст [3, 5].

Барои ба даст овардани садобарории беҳтарин дар чунин масоҳатҳои ниҳоят бузург меъморону сохтмончиёни юнонӣ донишҳои табиӣ падидаҳои акустикиро хуб медонистанд.

Аз қадимуайём мусиқӣ ва садо нақши муҳимро дар бунёди иншооти гуногунтаъинотай ҳамонодавра бозидаро. Дар таҳқиқи аҳромиҳои бузурги Мисри қадим (Ғиза) олимони муҳаққиқ қувваи бузурги акустикиро қайд намудаанд. Дар раванди омӯзишу таҳқиқи конструкцияҳои дохилаи он мутахассисон дарҷ намудаанд, ки ҳуҷраҳои (камераҳои) дохилаи аҳромиҳо чунин тарҳрезӣ шудаанд, ки онҳо танҳо дар зудии муайян садоро инъикос (резонанс) менамоянд. Пушида нест, ки ҳама гуна ҳуҷраҳои маҳдудбуда дорои хусусияти инъикос намудани садоро доранд (масалан дар ҳуҷраҳои зист) ва истифодабарандагон ҳамавақт кушиш менамояд, то онро ба таври ниҳой аз байн баранд. Вале дар аҳроми мазкур, баръакс сохтмончиён кушиш намудаанд, ки акси садоро мақсаднок афзоиш диҳанд (расми 2).

Ин ҳолат махсусан дар “Ҳуҷраи Шоҳ” барало намоён буда, он аз қисмати дохила бо хоросанҳои азимҷусса рӯйпуш гардидааст. Дар баъзе ҷойҳо дар сатҳи дохила тоқҳои махсус пешбинӣ шудаанд, ки онҳо инъикоси садоро танҳо бо лаппишҳои зарурӣ таъмин менамоянд. Дар иншооти мазкур ҳушоянгии махсуси садо ба воситаи унсурҳои дигари конструктивӣ, низ ба вуҷуд оварда шудааст. Дар асоси иншоот сӯроҳҳои дуҷониба пешбинӣ шудаанд, ки онҳо бо “болиштаки” аз сангреға иборатбуда бевосита часпида истода, онҳо низ дар мавридҳои муайян садоҳоро акс менамоянд [4, 6, 7].

Чунин намунаҳои таърихиву меросии меъморӣ, ки алоқамандии зичи меъморӣ ва акустикаро бевосита тасдиқ менамоянд, дар таърихи меъроси меъмории қадимаи Эрон, Ҳиндустон, Италия ва ғайра ниҳоят зиёд мебошанд.

Дар робита ба ин, ҳадафи асосии меъмор дар тарҳрезии акустикаи меъморӣ аз эҷод намудани роҳу усулҳои самаранокӣ лоиҳакашии ҳуҷраву толорҳои гуногунтаъинота, ки бояд дорои шунидашавӣ ва садодихии беҳтарин мебошанд, иборат аст. Дар навбати аввал меъмори акустикӣ бояд тавсифоти асосии ҳуҷраҳоро, аз ҷумла: ҳадаф ва вазифаҳои истифодабарӣ, самти бартаридошта, вазифаи махсус, тавсифоти техникӣ, меъморӣ, масоҳат, ғунҷоиш, ревербератсия, муҳити дохила (интерер) ва ғ. мавриди таҳлилу омӯзиш қарор дода, баъдан дар асоси маълумоти бадастомада раванди лоиҳакаширо оғоз менамояд [8,9,10].



Расми 1 – Театри Эпидавр дар Юнон



Расми 2 – Маҷмааи аҳромаҳои Мисри қадим (Ғиза)

Раванди лоиҳакашии акустикаи меъморӣ метавонад аз чорабиниҳои зерин иборат бошад:

- амсиласозии меъморӣ толор ё ҳуҷра;
- муайянсозии ҷойгирони муфиду мусоиди инфрасохтори таъинотӣ (масалан, саҳна, курсиҳои нишаст, ҷой барои режиссёри овоз ва ғ.) дар фазо;
- интихоби масолеҳҳои сохтмонӣ ва ороишӣ барои толор, саҳна, унсурҳои зинативу нигоришӣ (декор), ки аз онҳо бевосита сифатнокии садо дар ҳуҷраҳо вобаста аст;
- интихоби сахтии муносиби курсиҳо, ки он ба фурӯғбарии садо таъсир дорад;
- ҳисобу китоб ва муайян сохтани ҷойҳои насби лавҳаҳои акустикӣ.

Дар асоси натиҷаи иҷрои корҳои болозикр, ки аз ҷониби меъмор амалӣ карда мешаванд, муҳандисони акустикӣ заминаи бозътимодно пайдо намуда, лоиҳаи муҳандисии қувватфизии садоро таҳия менамояд, ки он бояд ҳамаҷониба барои толор ё ҳуҷраи тарҳрезӣшуда мувофиқ бошад.

Тавсифоти акустикии ҳуҷраҳои толорӣ, яке аз ҷабҳаҳои муҳимтарини лоиҳакашӣ ба ҳисоб рафта, бевосита метавонад ба сифати садо ва эҳсоси дурусти он аз ҷониби шунаванда таъсир расонад. Дар илми муосири лоиҳакашии акустикии ҳуҷраҳои толорӣ як қатор омилҳои асоситарине, ки тавсифоти акустикиро муайян месозанд, аз ҷумла: андоза ва шакли геометрии толор; истифодаи масолеҳҳои ороишӣ; ғунҷоиши толор (миқдори ҷойҳои нишаст); равшанӣ ва системаҳои ҳавотозакунӣ; ҷойгиршавии манбаъҳои садо ва ғайра мавриди таҳқиқ қарор дода шудаанд [9, 10].

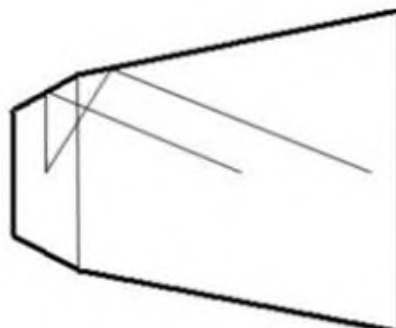
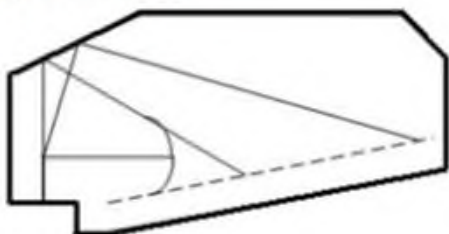
Андоза ва шакли геометрии ҳуҷраҳо. Андозаҳо ва шакли тарҳиву ҳаҷмии толорҳо ба паҳншавии муфиди садо дар дохили онҳо таъсири назаррас доранд. Дар ҳуҷраҳои дарозии зиёд дошта, ки дорои шукуҳу ҳашамати бисёранд, пайдо шудани акси садо (нӯф) имконпазир буда, толорҳои ҳалли тарҳии ихчамдошта барои ташаккул додани акустикаи дақиқу муфид бештар мувофиқ мебошанд. Шаклҳои геометрии дар биноҳои толордор истифодашаванда, аз қабili давра (гунбаз) ё росткунҷа низ барои инъикос ёфтани мавҷи садо таъсир мерасонанд. Аз ин рӯ, нисбати андозаву шакли толорҳо як қатор талаботи махсус пешбинӣ мегардад.

Дар ҳуҷраҳои пӯшида, чуноне ки дар қисмати аввали рисола қайд гардида буд, равандҳои ревербератсионӣ ё худ падидаи ревербератсия ба амал меоянд ва барои арзёбии миқдори он вақти ревербератсия ҳисобида мешавад. Вақти муносиби ревербератсия садонокӣ умумии ҳуҷраҳоро тавсиф намуда, яке аз шарҳҳои асоситарини акустикаи босамари толор ба ҳисоб меравад. Ҳамзамон, бояд дар назар дошт, ки барои ҳосил намудани вақти дақиқу муайяни ревербератсия, омехташавии (диффузияи) зарурии садоро дар толор меболад таъмин намуд.

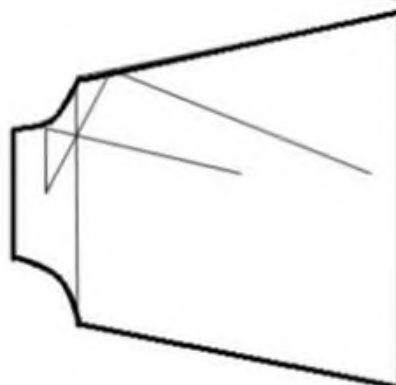
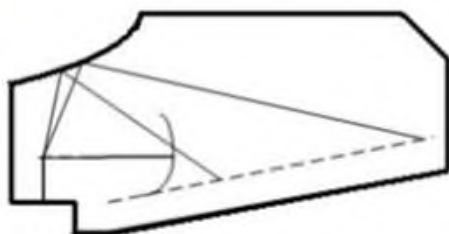
Толорҳо дар тарҳ одатан бо шакли трапетсия ва кунҷҳои кушодашавии деворҳои паҳлугӣ аз 5° то 12° тарҳрезӣ карда мешаванд. Шакли росткунҷаи толорҳо бо шифтҳои уфуқӣ бошад, аслан дар толорҳои лексионии ғунҷоишашон на зиёд аз 200 ҷой мавриди истифода қарор дода мешаванд. Дар толорҳои

баландиву васеги нисбии зиёддошта, ҳамеша хатари омада расидани акси садои аввалин аз шифту деворҳо бо ақибмонии назаррас ба қаторҳои якуми ҷойҳои нишастӣ тамошобинон вучуд дорад, ки оқибати он эҷод гардидани норавшании садо мебошад. Барои бартараф намудани ин ҳолат дар шифту деворҳо қисмати наздисаҳнавии толор бояд қоматсияҳои махсуси садоинҷикоскунанда пешбинӣ карда шаванд, ки вазифаи онҳо аз рағон намудани мавҷҳои садо ба толор иборат аст (расми 3).

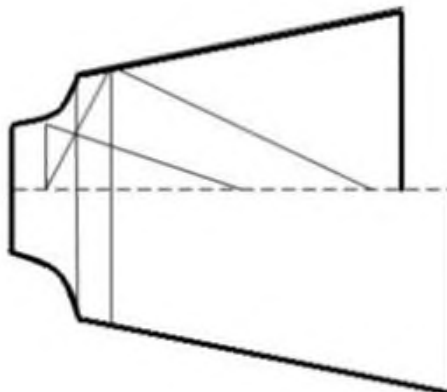
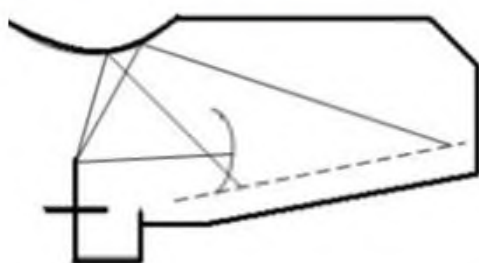
Толори лексионӣ



Толори театри драматӣ



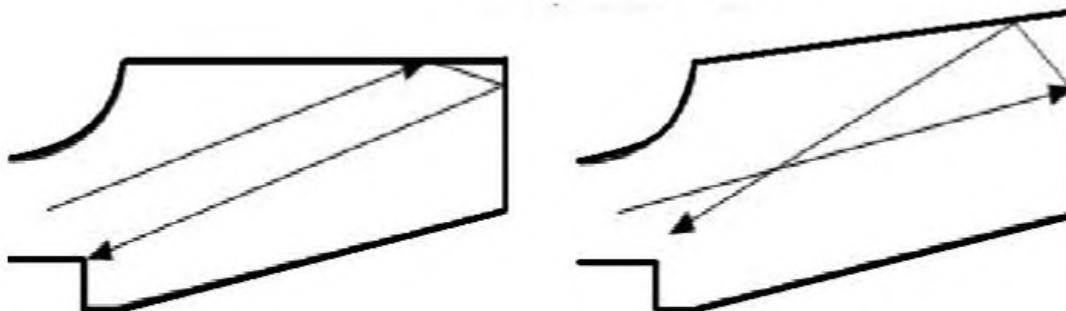
Толори театри мусиқавӣ



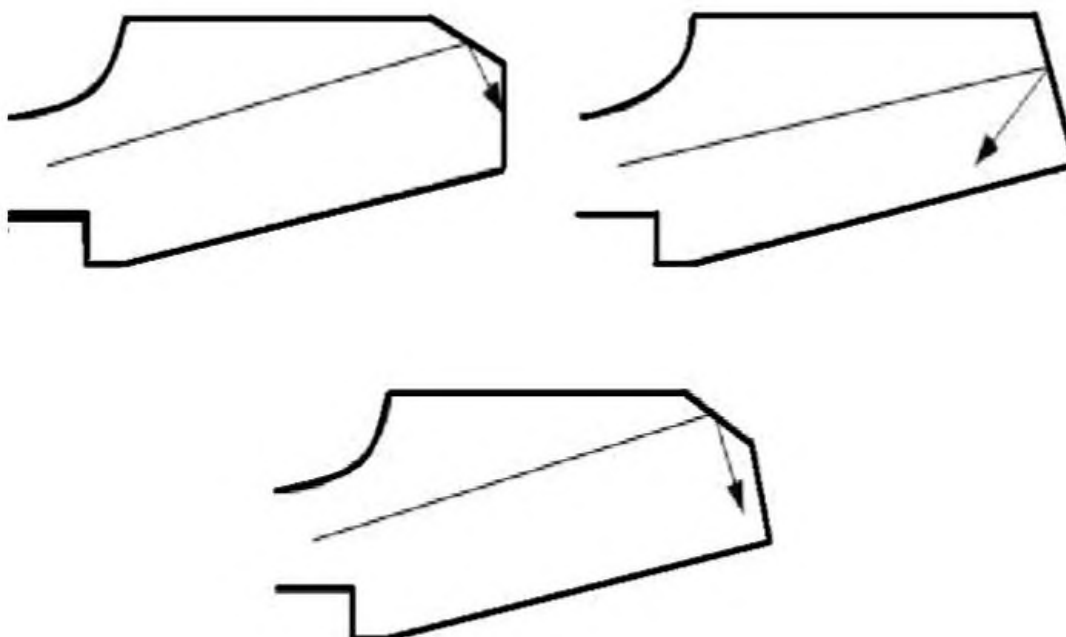
Расми 3 – Ақсҳои аввали садо аз шифту деворҳо ба садоинҷикоскунандагон

Дар ҳолати зерӣ кунҷи 90° ба шифти толор часпидани девори пушт имконияти пайдо шудани **акси садои театралӣ**, яъне инҷикоси садо аз шифту девор ба равиши манбаъи овоз бо ақибмонии зиёд, мавҷуд мебошад. Барои бартараф намудани ин падида, бояд қисмати шифти ба девори девори пушт часпидаро зерӣ кунҷ ё худӣ девори пуштро ба таври моил пешбинӣ намуд (расми 4).

Садон аксшудан “театралӣ”



Садон аксшудан “театралӣ” мавҷуд нест



Расми 4 – Конструкцияи шифт ё девори пушти толор

Масолеҳҳои ороишӣ. Масолеҳҳое, ки дар ороиши дохилаи ҳучраҳои толорӣ (девору шифтҳо) истифода бурда мешаванд, дар ташаккули муҳити акустикӣ ва дарки садо нақши ниҳоят муҳимро мебозанд. Истифодаи дурусти онҳо дар ороиши ҳучраҳои толории таъиноти гуногундошта барои назорати инъикос, фурубарӣ ва паҳншавии мавҷҳои садо дар муҳити дохила кӯмак мерасонад. Вобаста ба хусусиятҳои таъиноти масолеҳҳои акустикии ороишӣ ба гуруҳҳои зерин ҷудо карда мешаванд [1, 3, 12]:

Масолеҳҳои садофурубаранда, барои кам кардани садои инъикосшуда ва баланд намудани сифати дақиқии садо пешбинӣ шудаанд. Аз ҷумла: лавҳаҳои акустикӣ, ки аз маъданпахта, пенопласт ё масолеҳҳои дигари фурубаранда омода шуда, барои ороиши девору шифтҳо истифода мешаванд; маснуоти саноати бофандагӣ, аз қабилҳои қолинҳо, бурё ва матоъҳо барои рӯйпуш намудани асноби бисот, ки метавонанд ба қадри зарурӣ мавҷҳои садоро фуру бурда, бо ин роҳ тавсифоти акустикии толорро беҳтар намоянд; нишастгоҳҳои мулоим, аз ҷумла курсиву каткурсияҳои (диванҳо) рӯйкаши мулоимдошта дорои қобилияти паст намудани миқдори мавҷҳои инъикосгардидаи садоро мебошанд.

1. Масолеҳҳои инъикоскунанда асосан вазифаи беҳтар намудани раванди паҳншавии садоро иҷро намуда, барои ташаккули бойи муҳити (ландшафти) садо кӯмак менамоянд. Масалан, лавҳаҳои ҷубин метавонанд ҷолибияту гармии садоро таъмин намоянд ва хусусан дар толорҳои консертӣ садоро хуб акс намоянд. Маснуоти сатҳи филизидошта бошад, дар толорҳои таъиноти махсусдошта барои таъмини самаранокии ревербератсия метавонанд мавриди истифода қарор дода шаванд.

2. Масолеҳҳои омехта. Технологияҳои муосири соҳа бунёди масолеҳҳои ороишии омехтаро имконпазир намудаанд, ки онҳоро метавон ба ҳам ба сифати масолеҳи фурубарии садо ва ҳам инъикоскунандаи садо истифода намуд. Масалан, лавҳаҳои акустикӣ маснуотест, ки сатҳи он бо масолеҳи махсуси танзимкунандаҳои мавҷҳои садо рӯйпуш шуда, системаҳои сӯроҳадор (перфоратсиядор) бошанд, барои танзими садодиҳӣ истифода мешаванд, сӯроҳҳои дар онҳо мавҷудбуда метавонанд як ҳаҷми садоро фуру баранд ва инчунин, ҷисмати боқимондаи онро инъикос намоянд.

3. Экрaн ва пардаҳои акустики. Унсурҳои мазкур барои тақсимои муҳити дохилаи хучраҳои толорӣ ва идора намудани мавҷи садо истифода мешаванд. Пардаҳо дар ин маврид, аз матоҳои зичии зиёддошта барои пешбинӣ намудани саддтавораҳои байни минтақаҳои толор омода карда шуда, экранҳо дар навбати худ барои ҳифзи садо ва ташкили фазоҳои ҷудогона барои чорабиниҳои гуногун дар як толор пешбинӣ мешаванд.

4. Масолеҳҳои рӯйпушии махсусе вучуд доранд, ки бо истифода аз онҳо хусусиятҳои акустикии хучраҳо тағйир дода мешаванд. Масалан, ғурағачқорӣ (шпаклевка) акустикӣ, барои пардозӣ деворҳо истифода шуда, фрӯбарии иловагии садоро метавонад таъмин намояд. Фаршҳои махсуси акустикӣ бошад, вобаста ба сохтори худ метавонанд ҳам хусусияти фурубарӣ ва ҳам инъикоси садоро дошта бошанд.

Истифодаи босамари масолеҳҳои ороишии акустикӣ дар хучраву толорҳои таъиноти гуногундошта бунёди шароитҳои муфиду мусоиди акустикӣ ва эҳсоси дарки бароҳати садоро барои шунавандагону тамошобинон имконпазир мегардонанд.

Муҳаррир: Ҳақдод М.М. — д.и.т., профессор, узви вобастаи АМНТ

Адабиёт

1. Бутко О. Архитектурная акустика, ее особенности и применение // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 1–30 мая 2015. Белгород, 2015. С. 1647–1651.
2. Ильичев И.А., Рыжих И.Н. Архитектурная акустика // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2016. Белгород, 2016. С. 2672–2675.
3. Мельников Е.Д., Агеев М.В. Архитектурно-строительная акустика. Воронеж. гос. архитектурно-строительный ун-т, 2015. 60 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/54990.html> (дата обращения: 24.11.2021).
4. Архитектурная физика / под ред. Н.Ф. Оболенского. – М. : Стройиздат, 2005. – 443 с.
5. Архитектурно-строительная энциклопедия : словарь-справочник / под ред. В.И. Колчунова. – М. : АСВ, 2006.
6. Блази, В. Справочник проектировщика / В. Блази. – М. : Техносфера, 2005. – 536 с.
7. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975. – 278 с.
8. Ковригин, В.М. Архитектурно-строительная акустика / В.М. Ковригин, С.И. Крышов. – М. : Высшая школа, 1986. – 218 с.
9. Овсянников, С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях / С.Н. Овсянников. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000.
10. Ahn, J., & Han, J. Advanced Topics in Acoustics: Insights into Architectural Acoustics. Berlin, 2017. Springer.
11. Гольдштейн, А. А. Основы акустического проектирования в архитектуре. [Текст] / А. А. Гольдштейн // Архитектура-С. - Москва, 2008. – С. 118-124.
12. Шершнева, А. И. Акустический дизайн: теория и практика. [Текст] / А. И. Шершнева // Архитектура и строительство - М: Прогресс, -2011. – С. 142-146.

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

TJ	RU	EN
Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич	Хасанов Нозимшо Назокатшоевич	Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich
Доктори меъморӣ, профессор	Доктор арх., профессор	Dr. Arch., Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acaddevician M.S. Osimi
E-mail: kapitelh@mail.ru		
TJ	RU	EN
Пирматов Раҳматулло Ҳамидуллоевич	Пирматов Раҳматулло Ҳамидуллоевич	Pirmatov Rahmatullo Hamidulloevich
Номзади илмҳои техники, профессор	Кандидат технических наук, профессор	Candidate of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи давлатии нақлиётӣ ш. Тошканд, Ҷумҳурии Узбекистон	Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан	Tashkent State University of Transport, Republic of Uzbekistan
E-mail: prx55@mail.ru		
TJ	RU	EN
Ашурзода Бахтиёр Саидкул унвонҷӯй	Ашурзода Бахтиёр Саидкул соискатель	Ashurzoda Bakhtier Saidkul applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acaddevician M.S. Osimi
E-mail: kapitelh@mail.ru		

ТДУ 624.012

АСОСҲОИ ИЛМИИ ЛОИҲАКАШИИ ГАРМИМУҲОФИЗӢ ВА САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ БИНОҲО

Д.Ғ.Сафарзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба мушкилоти бунёди биноҳо мутобик ба талаботҳо нисбат ба гармимуҳофизии биноҳо барои таъмини микроклими ба зисту зиндагонии одамон мувофиқ, конструкцияҳои мустаҳкам ва дарозумраи зарурӣ, муҳити иқлимӣ, кори таҷҳизоти муҳандисӣ бо сарфаи камтарини энергияи гармӣ барои гармкунӣ ва ҳавогардонии биноҳо дар давраи гармкунӣ бахшида шудааст.

Калидвожаҳо: энергия, самаранокӣ, гармимуҳофизӣ, сарфачӯи энергия, муқовимати гармигузаронӣ, конструкцияҳои ихтавӣ

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Д.Г. Сафарзода

Данная статья посвящена проблемам строительства зданий в соответствии с требованиями к теплоизоляции зданий для обеспечения микроклимата, пригодного для проживания людей, прочных и долговечных конструкций, климатических условий, эксплуатации инженерного оборудования с минимальной экономией тепловой энергии для отопления и кондиционирования зданий в отопительный период.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляция, энергосбережение, сопротивление теплопроводности, ограждающие конструкции

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THERMAL INSULATION DESIGN AND ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

D.G. Safarzoda

This article is devoted to the problems of building construction in accordance with the requirements for thermal insulation of buildings to ensure a microclimate suitable for human habitation, strong and durable structures, climatic conditions, and the operation of engineering equipment with minimal savings in thermal energy for heating and air conditioning buildings during the heating period.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation, energy saving, thermal conductivity resistance, enclosing structures

Дарозумрии конструкцияҳои ихтавиرو бо истифодабарии масолеҳҳои, ки устувории заруриро (сардиустуворӣ, намиустуворӣ, устувории биологӣ, устуворӣ нисбат ба зангзанӣ, ҳарорати баланд, лаппишҳои ҳарорати даврӣ ва дигар таъсиротҳои вайронкунандаи муҳити атроф), бо назардошти дар ҳолати зарурӣ пешбинӣ намудани муҳофизати хусусии қисмҳои конструкцияҳои, ки аз маводҳои на он қадар устувор тайёр карда шудаанд, бояд таъмин кард [1,3,6].

Талаботи номбурдари ба нишондиҳандаҳои зерин муқаррар менамоянд:

- муқовимати овардашудаи гармигузаронии конструкцияҳои ихтавии биноҳо;
- маҳдудкунии ҳарорат ва роҳ надодан ба конденсатсияи намӣ дар сатҳи дохилии конструкцияҳои ихтавӣ, ба истиснои тирезаҳои амудӣ шишабандшуда;
- нишондиҳандаи нисбии сарфи энергияи гармӣ барои гармкунии биноҳо;
- гармиустувории конструкцияҳои ихтавӣ дар даври гарми сол ва ҳуҷраҳои бино дар даври сарди сол;
- ҳавогузаронии конструкцияҳои ихтавӣ ва ҳуҷраҳои биноҳо;
- ҳифзи конструкцияҳои ихтавӣ аз ҳад намшавӣ;
- гармиазхудкунии сатҳи фаршҳо;
- тасниф, фаҳмишот ва баландбардории самаранокии энергетикӣ биноҳои мавҷуда ва лоиҳакашишаванда;
- назорати нишондиҳандаҳои меъёрий, аз ҷумла шиносномаи энергетикӣ биноҳо.

Речаи намнокии ҳуҷраҳои биноҳоро дар даври сарди сол вобаста аз рутубат ва ҳарорати ҳавои дохила мутобик ба чадвали 1 бояд таъмин намуд.

Шароити истифодабарии конструкцияҳои ихтавӣ А ва Б-ро вобаста аз речаи намнокии ҳуҷраҳо ва минтақаи намнокии ноҳияи сохтмон барои интиҳоби нишондиҳандаҳои гармитехникӣ, масолеҳи деворҳои беруна аз чадвали 2 бояд муқаррар намуда, минтақаҳои намнокии ҳудудҳои Тоҷикистонро аз расми 1 қабул бояд кард.

Чадвали 1– Речаи намнокии ҳуҷраҳои биноҳо

Реча	Намнокии ҳавои дохила, % ҳангоми ҳарорати, °С		
	то 12	Зиёда аз 12 то 24	Зиёда аз 24
Хушк	То 60	То 50	То 40
Муътадил	Зиёда аз 60 то 75	Зиёда аз 50 то 60	Зиёда аз 40 то 50
Нам	Зиёда аз 75	Зиёда аз 60 то 75	Зиёда аз 50 то 60
Тар	-	Зиёда аз 75	Зиёда аз 60

Чадвали 2 - Шароити истифодабарии конструкцияҳои ихотавай

Речаи намнокии хучраҳои биноҳо (аз чадвали 1)	Шароити истифодабарӣ А ва Б дар минтақаи намнокӣ		
	Хушк	Мӯътадил	Нам
Хушк	А	А	Б
Мӯътадил	А	Б	Б
Тар ё нам	Б	Б	Б

Самаранокии энергетикӣ биноҳои истиқоматӣ ва ҷамъиятиро мувофиқ ба таснифоти дар чадвали 3 овардашуда бояд муқаррар намуд. Додани синфҳои D ва E дар марҳилаи лоиҳакашӣ мумкин нест. Синфҳои A, B барои биноҳои нав ва бозсозиванда дар марҳилаи лоиҳагирӣ муқаррар карда шуда дар оянда онҳоро аз рӯи натиҷаҳои истифодабарӣ аниқ месозанд. Барои расидан ба сатҳи синфҳои A ва B ба ташилотҳои маъмурии субъектҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия дода мешавад, ки иштирокчиёни лоиҳакашӣ ва сохтмониро бо чораҳои ҳавасмандкунонии иқтисодӣ ҷалб намоянд. Синфҳоро барои биноҳои истифодашудаистода дар асоси нишондодҳои ҷенкардашудаи истифодаи энергия дар даври гармкунӣ мутобиқ ба ГОСТ 31168-03 бояд муқаррар кард [4,6].

Чадвали 3 – Синфҳо аз рӯи энергиясамаранокии биноҳо

Нишони синф	Номи синф аз рӯи энергиясамаранокӣ	Қиммати нобаробарии ҳисобии (аслии) сарфиёти нисбии энергияи гармӣ барои гармкунии бино q_h^{des} аз меъёрӣ, %	Маслиҳати чорабиниҳо аз ҷониби органҳои субъектҳои маъмурии ҚТ
Барои нав- ва азнавсозии биноҳо			
A	Ниҳоят баланд	Камтар аз минус 51	Ҳавасмандкунии иқтисодӣ
B	Баланд	Аз минус 10 то минус 50	Ҳамчунин
C	Миёна	Аз плюс 5 то минус 9	-
Барои биноҳои мавҷуда			
D	Паст	Аз плюс 6 то плюс 75	Мебояд азнавсозӣ кард
E	Ниҳоят паст	Зиёда аз 76	Бояд гармкунии биноро дар дурнамои наздик ба назар гирифт

Тартиби лоиҳакашии гармимуҳофизии биноҳо дар асоси талаботи бандҳои марбутии МҚС ҚТ 23-02-2021 ба таври зерин амалӣ карда мешавад:

1. Нишондодҳои иқлимӣ ҳисобии ҳавои беруна муқаррар карда мешавад.
2. Нишондодҳои ҳавои дохила бо шароитҳои мусоиди дохили хучра бо дарназардошти таъиноти бино тибқи чадвалҳои 4 ва 5 муайян карда мешаванд.
3. Мувофиқи ҳалли ҳаҷмӣ тарҳӣ андозаҳои геометрии бинои лоиҳасозиванда (таҷдидшаванда) ҳисоб карда мешавад.
4. Тибқи замимаи 15 МҚС ҚТ 23-02-2021 ё чадвали 6 муқовимати меъёрии (зарураи) гармигузаронии R_{req} , $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$, деворҳои беруна, бомпӯш (болопӯши зербом), болопӯшҳои ошёнаи пойдеворӣ, болопӯшҳои таҳхона, тиреза ва мӯриҳо вобаста аз дараҷа-шабонарӯзи давраи гармкунӣ ноҳияи иқлимӣ сохтмон ва таъиноти биноҳо муайян карда мешавад.
5. Ҳалли меъморӣ, тарҳӣ ҳаҷмӣ ва конструктивӣ, ки гармимуҳофизии зарурии биноҳоро таъмин менамоянд, интихоб карда мешаванд.
6. Сарфи хоси энергияи гармӣ барои гармкунии бино $q^{des}_{n_i}$, $kBt / (m^2 \cdot ^\circ C \cdot \text{сут})$ [$kBt \cdot (m^2 \cdot ^\circ C \cdot \text{сут})$] ҳисоб карда шуда, шиносномаи энергетикӣ бино тартиб дода мешавад.
7. Ҳарорати ҳисобии ҳавои берунаро t_{ext} , $^\circ C$, вобаста ба ҳарорати миёнаи паҷрӯзаи хунуктарин бо таъминоти 0.95, мувофиқи чадвали 4-и МҚС ҚТ 23-01-18. Иқлимшиносии сохтмонӣ, мутобиқи маҳали зисти шахрӣ ва ё деҳот бояд қабул намуд. Дар ҳолати набудани маълумотҳои барои маҳали конкретӣ, ҳарорати ҳисобиро барои маҳали аҳолинишини наздиктарин қабул карда мешавад.
8. Давомнокии давраи гармкуниро Z_{ht} , шабонарӯз, бо ҳарорати миёнашабонарӯзии ҳавои беруна аз $10^\circ C$ пастар аз рӯи чадвали 22 МҚС ҚТ 23-01-18 барои маҳали зисти мувофиқ қабул мегардад. Бузургии дараҷа-ш/р D_d , $^\circ C \cdot \text{ш/р}$, дар давоми давраи гармкунӣ бояд бо формулаи зерин ҳисоб карда шавад:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot Z_{ht} \quad (1)$$

дар ин ҷо: t_{int} – ҳарорати ҳисобии ҳавои дохила, $^\circ C$, ки вобаста ба таъиноти биноҳо дар асоси чадвали 4 муайян карда мешавад;

Ҷадвали 4 – Нишондодҳои ҳавои дохила бо шароитҳои мусоиди дохили ҳуҷраҳои бо дарназардошти таъиноти биноҳо (ГОСТ 30494-96)

Фасли сол	Номгӯи ҳуҷраҳо	Ҳарорати ҳаво. °C		Ҳарорати натиҷавӣ, °C		Рутубати нисбӣ %		Суръати ҳаракати ҳаво. м/с	
		мусоид	имкон-пазир	мусоид	имкон-пазир	мусоид	имкон-пазир	мусоид, на зиёд	имкон-пазир, на зиёд
Хуноқ	Ҳуҷраи зист зист	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Ҳамчунин: дар ноҳияи ҳаро-рати хуноқта-рини панҷруза (бо таъминоти 0=92) - 313C ва пасттар	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Ошхона	19-21	18-26	18-20	17-25	МН *	МН	0,15	0,2
	Ҳочатхона	19-21	18-26	18-20	17-25	МН	МН	0,15	0,2
	Ташноб (ванна), қисми санитариӣ якҷояшуда	24-26	18-26	23-27	17-26	МН	МН	0,15	0,2
Хуноқ	Ҳуҷраҳои истироҳатӣ ва таълимӣ	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2
	Роҳрави байни манзилҳо	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
	Вестибюл, зинахона	16-18	14-20	15-17	13-19	МН	МН	0,2	0,3
	Анҷомхона	16-18	12-22	15-17	11-21	МН	МН	МН	МН
Гарм	Ҳуҷраи зист	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3

t_{ht} , Z_{ht} – мувофиқан ҳарорати миёнаи ҳавои берунаи даври гармкунӣ, °C ва давомоти давраи гармкунӣ, ш/р, ки тибқи МҚС ҚТ 23-01-18. “Иқлимшиносии сохтмонӣ” қабул карда мешавад.

Нишондодҳои ҳавои дохилаи биноҳои истикоматӣ ва ҷамъиятӣ вобаста ба шароитҳои ҳузуру ҳаловатӣ аз ҷадвали 4 бояд муайян карда шаванд.

1) Намнокии нисбии ҳисобӣ дар ҳуҷраҳои биноҳои истикоматӣ ва ҷамъиятӣ бояд на зиёд аз қимматҳои дар ҷадвали 4, 5 овардашуда бошад.

Таъминоти шароити истифодабарии конструксияҳои ихтисосӣ вобаста ба реҷаи намнокии ҳуҷраҳо ва мавзеоҳои намноки ноҳияи сохтмонӣ бояд ба таври зайл муайян гардад:

- мавзеои намнокӣ (намнок, муътадил, хушк) тибқи замимаи 3 МҚС ҚТ 23-02-2021;
- реҷаи намнокии ҳуҷраҳо (хушк, муътадил, намнок ё тар) вобаста аз намнокии нисбии ҳисобӣ ва ҳарорати ҳавои дохилаи ҳаво мувофиқи замимаи 4 МҚС ҚТ 23-02-2021;
- шароити истифодабарии конструксияҳои ихтисосӣ (А, Б) вобаста аз реҷаи намнокии ҳуҷраҳо аз замимаи 5 МҚС ҚТ 23-02-2021.

2) Ҳарорати ҳисобӣ дар ҳуҷраҳои биноҳои истикоматӣ ва ҷамъиятӣ барои давраи сарди сол бояд на кам аз қимматҳои муносиби дар ҷадвали 4 овардашуда бошад.

Нишондиҳандаҳои ҳавои дохилаи биноҳои истеҳсолӣ t_{int} , °C, тибқи ГОСТ 12.1.005 ва меъёрҳои лоиҳакашии бино ва иншоотҳои муносиб бояд қабул карда шаванд. Ҳарорати ҳисобии ҳавои дохили бино барои давраи гарми сол бояд на зиёд аз қимматҳои имконпазири дар ҷадвали 5, (ГОСТ 30494) бошад [2,9].

3) Ҳарорати сатҳи дохилаи тавораҳои берунаи биноҳое, ки воридотҳои гармигузарон (диафрагмаҳо, воридотҳои дутарафаи бетонӣ ва диг.) доранд дар кунҷҳо, тиргакҳои тирезаҳо на бояд пасттар аз ҳарорати нуқтаи шабнами ҳавои дохили бино (ҷадвали 4), дар ҳоли намнокии нисбии ҳисобӣ ϕ_{int} , % ҳарорати ҳисобии t_{int} , °C, ҳавои дохила бошад.

Ҷадвали 5 - Меъёрҳои мусоид ва имконпазири ҳарорат, рутубатнокии нисбӣ ва суръати ҳаракати ҳаво дар ҳуҷраҳои биноҳои истиқоматӣ ва хобгоҳҳо (ГОСТ 30494-96)

Фасли сол	Номгӯии ҳуҷраҳо	Ҳарорати ҳаво, °C		Ҳарорати натиҷавӣ, °C		Рутубати нисбӣ %		Суръати ҳаракати ҳаво, м/с	
		мусоид	имкон-пазир	мусоид	имкон-пазир	мусоид	имкон-пазир	мусоид	имкон-пазир
Хушк	Дарачаи 1	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0.2	0.3
	Дарачаи 2	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0.2	0.2
	Дарачаи 3а	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0.2	0.3
	Дарачаи 3б	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0.2	0.3
	Дарачаи 3в	13-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0.2	0.3
	Дарачаи 4	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0.2	0.3
	Дарачаи 5	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0.15	0.2
	Дарачаи 6	16-18	14-20	15-17	13-19	МН*	МН	МН	МН
	Ванна, душхонаҳо	24-26	18-28	23-25	17-27	МН	МН	0,15	0-2
Хушк	Муассисаҳои томактабӣ								
	Ҳуҷраҳои гуруҳӣ, либоскашӣ ва хочатхонаҳо:								
	Барои гуруҳҳои ясли ва хурдсолон	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,1	0=15
	Барои гуруҳҳои синни миёна ва томактабӣ	19-21	18-25	18-20	17-24	45-30	60	0,1	0= 15
	Ҳуҷраи хоб:							0.1	0.15
	барои гуруҳҳои ясли ва хурдсолон	20-22	19-23	19-21	18-22	45-30	60	0,1	0,15
	барои гуруҳҳои синни миёна ва томактабӣ	19-21	18-23	18-22	17-22	45-30	60	0,1	0,15
Гарм	Ҳуҷраҳои будубоши доимии одамон	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,3	0,5

Дар вақти ҳисоби гармиустувории конструксияҳои ихтотавӣ, дар давраи гарми сол нишондодҳои зерин муайян карда мешаванд:

1) ҳарорати ҳисобии миёнаи ҳавои берунаи моҳи июл °C, аз ҷадвали 5 МҚС ҚТ 23-01-18;

2) амплитудайи баландтарини лаппиши ҳарорати шабонарӯзии ҳавои берунаи моҳи июл, °C, мувофиқи ҷадвали 5, МҚС ҚТ 23-01-18;

3) қиммати маҷмуъии балантарин ва миёнаи (рост ва пароканда) нурпошии офтоб J_{max} , J_{cp} , Вт/м², вобаста аз тамоюлии тавора тибқи ҷадвали 7;

Ҷадвали 6 - Қимматҳои меъёрии муқовимати гармигузаронии конструкцияҳои ихтотавӣ вобаста аз градус-шабонарӯзи даври гармкунӣ

Бино ва утоқҳо, коэффисиентҳои a ва b	Градус-шабонарӯзи даври гармкунӣ (ГШДГ) D_d , °C·сут	Қимматҳои меъёрии муқовимати гармигузаронии конструкцияҳои ихтотавӣ R_{req} , м²·°C/Вт,				
		деворҳо	бомушҳо ва болопӯшҳои чортоқӣ	болопӯшҳои болои мошин-гузарҳо ва зерфаршу таҳонаҳои гарм-нашаанда	тиреза ва дарҳои балконҳо, витринаи витражҳо	муриҳо бо шишабандии амудӣ
1	2	3	4	5	6	7
1. Истиқоматӣ, табобатӣ-профилактикии бачагона, интернатҳои хурд, меҳмонхонаҳо ва хобгоҳҳо	1000 2000 4000 6000	1,35 1,70 2,40 3,10	1,80 2,30 3,30 4,30	1,85 2,30 3,20 4,10	0,30 0,45 0,60 0,70	0,275 0,30 0,35 0,40
а		0,00035	0,0005	0,00045	0,000015	0,000025
в		1,0	1,30	1,4	0,15	0,25
2. Ҷамъиятӣ, ғайр аз б. 1, маъмурий ва маишӣ, истеҳсоли ва дигар биноҳои утоқҳо бо реҷаи нам ва ё тар	1000 2000 4000 6000	1,20 1,50 2,10 2,70	1,40 1,80 2,60 3,40	1,55 1,90 2,60 3,30	0,25 0,30 0,40 0,50	0,175 0,30 0,35 0,40
а		0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
в		0,90	1,0	1,2	0,20	0,25
3. Истеҳсоли бо реҷаи хушк ва муътадил	1000 2000 4000 6000	0,9 1,10 1,50 1,90	1,0 1,05 1,30 1,80	1,15 1,35 1,75 2,15	0,225 0,25 0,30 0,35	0,275 0,30 0,35 0,40
а		0,0002	0,00025	0,00020	0,000025	0,000025
в		0,70	0,80	0,95	0,20	0,25
Эзоҳот: 1. Қимматҳои мобайнии R_{red} –ро бо интерполятсия ва ё аз рӯи формулаи $R_{req} = aD_d + b$ муайян менамоянд. 2. Меъёрҳои муқовимати гармигузаронии конструкцияҳои ихтотавии равшанигузаронро барои утоқҳои биноҳои истеҳсоли бо реҷаи нам ва тар, бо барзиёдии гармии намоён аз 23 Вт/м.куб., инчунин барои утоқҳои биноҳои ҷамъиятӣ, маъмурий ва маишӣ бо реҷаи нам ва ё тарро ҳамчун барои утоқҳои биноҳои истеҳсоли бо реҷаи хушк ва муътадил метавон қабул кард. 3. Муқовимати овардашудаи гармигузаронии қисми бе шишаи дарҳои балконҳо на кам аз 1,5 баробар зиёди муқовимати гармигузаронии қисми равшанигузаронандаҳои ҳамин маводҳо бояд бошад. 4. Дар ҳолатҳои алоҳидаи асоснок, ки бо ҳалҳои конкретии конструктиви пуркунандаҳои тиреза ва дигар сӯроҳиҳо вобастагӣ доранд, истифодабарии конструкцияҳои тирезаҳо, дарҳои балконҳо ва муриҳо бо муқовимати овардашудаи гармигузаронӣ 5 % камтар аз нишондодаҳои ҷадвал иҷозат дода мешавад.						

4) камтарин аз суръати миёнаи шомол аз тарафҳо (румб) u , м/сон, бо тақроршавии 16% ва зиёд аз он, мувофиқи ҷадвали 12, МҚС ҚТ 23-01-18, вале на кам аз 1м/сон.

Дар раванди лоиҳакашии гармимуҳофизии биноҳо нишондиҳандаҳои зерини ҳисобӣ мавриди истифода қарор мегиранд:

- коэффисиенти гармигузаронии масолеҳ λ , Вт/(м²·°C), тибқи замиаи 26, МҚС ҚТ 23-02-21;
- коэффитсиенти гармиазхудкунии масолеҳ (дар давраи 242) S , Вт/(м²·°C), тибқи замиаи 26, МҚС ҚТ 23-02-21;
- гармиғунҷоиши хос (дар ҳолати хушк) C_o , КДж (кг·°C), тибқи замиаи 26, МҚС ҚТ 23-02-21;

- коэффитсиенти буғгузаронӣ μ , мг/(м·с·Па) ё муқовимати буғгузаронӣ R_n , м²·с·Па/мг тибқи замимаҳои 25, 26 МҚС ҚТ 23-02-21;
- муқовимати гармии қабатҳои ҳавой R_{en} , м²°C/Вт, тибқи замима 11 МҚС ҚТ 23-02-21;
- қиммати сертификатсияшудаи муқовимати овардашудаи тирезаҳо, дарҳои балкон, мӯриҳо, м²°C/Вт тибқи замима 14 МҚС ҚТ 23-02-21;
- коэффитсиенти фурубарии нурпошии офтоб дар сатҳи тавора ρ , тибқи замима 19 МҚС ҚТ 23-02-21.

Ҷадвали 7- Қиммати маҷмуии балантарин ва миёнаи (рост ва пароканда) нурпошии офтоб дар осмони беғубори

моҳи июл

Арз, дараҷаи арзи шимол	Тамоюли сатҳ	Нурпошии маҷмуии офтоб, Вт/м ²	
		баландтарин	миёна
36	Уфуқӣ	1000	344
	Ғарбӣ	712	162
38	Уфуқӣ	942	334
	Ғарбӣ	721	163
40	Уфуқӣ	928	333
	Ғарбӣ	740	169
42	Уфуқӣ	915	334
	Ғарбӣ	748	175
44	Уфуқӣ	894	331
	Ғарбӣ	756	180
46	Уфуқӣ	880	329
	Ғарбӣ	752	182
48	Уфуқӣ	866	328
	Ғарбӣ	764	184
50	Уфуқӣ	859	328
	Ғарбӣ	774	187
52	Уфуқӣ	852	329
	Ғарбӣ	781	194

Масоҳати гармшавандаи биноро ҳамчун масоҳати ошёнаҳои бино (аз ҷумла, масоҳати мансарда, ошёнаҳои пойдеворӣ ва таҳхонаи гармшаванда), ки дар ҳудуди сатҳҳои дохилаи деворҳои беруна, бо дарназардошти масоҳатҳои зерини миёнадевору деворҳои дохила мавҷудбуда ҳисоб намудан қобили қабул мебошад. Ҳамчунин масоҳатҳои ҳуҷраҳои лифт ва зинахона низ ба масоҳати ошёна дохил мегарданд. Масоҳатҳои антресол, айвону балконҳои толорҳои тамошо ва дигарро низ бояд ҳамчун масоҳати гармшавандаи бино ҳисоб намуд. Ба масоҳати гармшавандаи бино, масоҳати ошёнаҳои техникӣ, таҳхонаҳо (нимтаҳхонаҳо), верандаҳои хуноки гармшаванда, ва инчунин зербом ва ё қисми он, ки барои мансарда ҷудо нагардидааст дохил намебошанд.

Дар ҳолати муайян намудани масоҳати ошёнаи мансарда, масоҳате ба инобат гирифта мешавад, ки баландиаш то зерини шифти моил 1,2 м зерини кунҷи 30° нисбати уфуқ; 0,8 м — дар ҳолати 45°—60°; дар ҳолати 60° ва зиёда аз он масоҳат то плинтус (мувофиқи замимаи 2 МҚС ҚТ 31-01-2017) мебошад.

Масоҳати ҳуҷраҳои истиқоматии биноҳо ҳамчун ҷамъи масоҳати ҷамаи ҳуҷраҳои умумӣ (меҳмонхонаҳо) ва хоб ҳисобида мешавад.

Ҳаҷми гармшавандаи бино, ҳамчун ҳосили зарби масоҳати ошёна ба баландии дохила, ки фосиларо аз сатҳи фарши ошёнаи 1 то сатҳи шифти ошёнаи охир дар бар мегирад муайян гардида, дар ҳолати шакли муррақаб доштани ҳаҷми бино, ҳаҷми гармшаванда ҳамчун ҳаҷми гармшавандаи фазои бо сатҳҳои тавораҳои беруна (деворҳо, бомпӯшҳо ё болопӯши зербоми, пойдеворӣ, таҳхона) маҳдудгардида, муайян карда мешавад.

Масоҳати конструкцияҳои берунаи ихтавӣ аз рӯи андозаҳои дохила муайян мегардад. Масоҳати умумии деворҳо (бо дарназардошти сурохиҳои тиреза ва дарҳо) ҳамчун ҳосили зарби периметрии деворҳои беруна аз сатҳи дохила бар баландии дохилаи бино, ки аз сатҳи ошёнаи 1 то шифти ошёнаи охир, бо дарназардошти масоҳати тиргакҳои дару тиреза ҳисоб карда мешавад. Ҷамъи масоҳати тирезаҳо бо андозаи сурохиҳо дар «тозагӣ» муайян мегардад. Масоҳати деворҳои беруна (қисми яклухт) ҳамчун фарқияти масоҳати умумии деворҳои беруна ва масоҳати тирезаҳою дарҳои беруна муайян мегардад [1 10].

Масоҳатҳои тавораҳои берунаи уфуқӣ (бомпӯш, болопӯшҳо, болопӯши зербом, пойдевор) ҳамчун масоҳати ошёнаи бино (дар ҳудуди сатҳҳои дохилаи деворҳои беруна) муайян карда шуда, дар ҳолати моил будани сатҳи шифти ошёнаи охир, масоҳати бомпӯш, болопӯши зербом, ҳамчун масоҳати сатҳи дохилаи шифт муайян мегардад.

Муқарриз: Муқимов Ғ.С. — доктори меъморӣ, профессори қабедраи дизайни муҳити меъморӣ ва тармими ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Каримов, Н.М. Влияние объемно-планировочных решений на энергоэффективность зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. №3 (59). – С. 115-119.
2. Гулямов Б.А. Обеспечение энергоэффективности при проектировании гражданских зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2021. №1 (53). – С. 125-128.
3. Каримов, Н.М. Обеспечение энергоэффективности при проектировании гражданских зданий / Б.А. Гулямов, Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2021. №1 (53). – С. 125-128.
4. Иванов, П.П., Сидоров, В.В. Энергоэффективные технологии в строительстве. // Журнал «Строительные материалы». — 2021. — № 4.
5. Сафонов, И.В. Актуальные проблемы проектирования тепловой защиты. // Журнал «Энергоэффективность». — 2023. — № 1.
6. Ковалев, В.Ю. Проектирование энергоэффективных жилых зданий: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Москва, 2021.
7. Хасанов Н.Н. Инженерный метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях жаркого климата / Н.Н. Хасанов, Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. – №3 (53). – С. 115-118.
8. Хасанов, Н.Н. Архитектурно - строительные методы повышения энергосбережения и энергоэффективности в зданиях / Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Проблемы промышленной интеграции в Центральной Азии” (18 майи 2022 года). – Душанбе, 2022. – С. 212-215.
9. Ганизода, Д.Ш. Пути оздоровления микроклимата помещений зданий и территории застройки в условиях жаркого климата / Н.М. Каримов // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации. XVI Международная научно-практическая конференция. Пенза. 2020, – С. 223-228.
10. Материалы международной конференции «Энергоэффективность и устойчивое развитие зданий», 2022.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Сафарзода Дилшод Ғанӣ	Сафарзода Дилшод Ганй	Safarzoda Dilshod Ghani
унвонҷӯй	соискатель	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: kapitelh@mail.ru		

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС ЛОЖНОГО СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода, М.Р. Джуракулов, А.М. Абдуганиев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Исследование, представленное в статье, посвящено изучению процесса ложного схватывания цементного теста и его определяющих факторов. В качестве основного материала использовался помол клинкера, в который добавлялся гипс в концентрации 5%. Были определены сроки схватывания клинкера в исходном виде, а также с добавлением 5% двуводного и полуводного гипса. Для анализа смесей после 3-часовой гидратации были проведены рентгенофазовые исследования. Обнаружено, что ложное схватывание возникает при добавлении в клинкер полуводного гипса вследствие замедленного процесса двухстадийного формирования этtringита.

Ключевые слова: клинкер, гипс, цемент, двуводный гипс, полуводный гипс, ложное схватывание, этtringит.

ОМИЛҶОЕ, КИ БА РАВАНДИ ҚАЛБАКӢ САҲТШАВИИ ХАМИРАИ СЕМЕНТӢ ТАЪСИР МЕРАСОНАНД

А.А. Акрамов, А.Ҳ. Комилзода, М.Р. Чуракулов, А.М. Абдуганиев

Таджикоти дар мақола овардашуда ба омӯзиши раванди ҷабби бардурӯи хамираи семент ва омилҳои муайянкунандаи он баҳшида шудааст. Маводи асосии истифодашуда суфта кардашудаи клинкер буд, ки ба он ғач дар консентратсияи 5% илова карда шуд. Мухлати дар шакли аслиаш ҳобидани клинкер, инчунин бо илова кардани гипси 5% дигидрат ва нимгидрат муайян карда шуд. Барои таҳлили омехтаҳо пас аз 3 соати гидратсия таджикоти дифраксионии рентгенӣ гузаронида шуд. Муайян карда шуд, ки ҳангоми ба клинкер илова кардани гипси нимобӣ аз сабаби таъхир ёфтани протсессии думарҳилаи ташаккули этtringит ҷойгиршавии бардурӯ ба амал меояд.

Калидвожаҳо: клинкер, гипс, семент, ғачи дегиддор, ғачи нимоба, саҳтшавии қалбақӣ, этtringит.

FACTORS INFLUENCING THE PROCESS OF FALSE SETTING OF CEMENT TEST

A.A. Akramov, A.H. Komilzoda, M.R. Dzhurakulov, A.M. Abduganiev

The study presented in the article is devoted to the study of the process of false setting of cement paste and its determining factors. The main material used was ground clinker, to which gypsum was added in a concentration of 5%. The setting times of clinker in its original form, as well as with the addition of 5% dihydrate and hemihydrate gypsum were determined. X-ray phase studies were carried out to analyze the mixtures after 3-hour hydration. It was found that false setting occurs when adding semi-hydrated gypsum to the clinker due to the slow process of two-stage formation of ettringite.

Keywords: clinker, gypsum, cement, gypsum dihydrate, gypsum hemihydrate, false setting, ettringite.

Введение

Как известно, во время приготовления цементной смеси смешиваются цемент и вода, которые создают явление, что называется ложным схватыванием. Ложное схватывание означает, что цементная смесь затвердевает преждевременно и при этом выделяется большое количество тепла [1]. А это создает проблемы в физико-механических свойствах цементной смеси, то есть она теряет свою пластичность, при его использовании, а также транспортировке.

До сих пор не выявлена причина приводящая бетонную смесь к ложному схватыванию.

Автор Петрова Т.М. [2], утверждает, что при прохождении процесса помола горячего клинкера в мельнице открытого типа, при температуре 150 °С и выше, происходит ложное схватывание смеси. То есть, высокая температура способствует тому, чтоб происходила дегидратация гипса и, чтоб образовался полугидрат. Оно также влияет на появление ангидрида в растворимом виде, то есть происходит обезвоживание сульфата кальция в полном виде. Из приведенной литературы вытекает, что твердение цементной смеси происходит повышение гидратации ангидрида и полуводного гипса, которое в дальнейшем при перемешивании разжижается. Согласно источникам, загустевание цементной смеси происходит тогда, когда повышается гидратация ангидрида и полуводного гипса и которая при дальнейшем перемешивании разжижается. Однако, дальнейшее перемешивание приводит к его разжижению. Таким образом, высокая температура помола способствует образованию быстрогидратирующих форм сульфата кальция, вызывая характерный эффект преждевременного схватывания с последующим разжижением

Предполагается, что в результате чересчур высокой влажности активизируется воздействие воздуха, которое вызывает ложное схватывание цементной смеси, активируя соединения C_3S . Согласно источникам такая среда активизирует адсорбцию воды на зернах цемента и естественно они очень легко соединяются с объемным количеством воды при перемешивании, происходит гидратация воды, но не полная. Этот процесс и является ложным схватыванием – цемент кажется затвердевшим, но на самом деле полная гидратация и набор прочности ещё не произошли. В итоге, мы получаем временную потерю пластичности смеси, которая восстанавливается лишь через некоторое время.

В Европейской литературной традиции выявлено, что возникновение ложного схватывания цементной смеси обусловлено химическим состоянием этtringита, в частности, его кристаллическими модификациями. Преобразование этtringита в моносulfатную форму способствует ложному схватыванию, в то время как формирование трехsulfатной формы исключает этот процесс.

Исходя из этого, основной задачей исследования стало глубокое изучение механизма ложного схватывания при работе с цементным тестом и определение ключевых факторов, оказывающих влияние на данное явление.

Материалы и методы исследования

В качестве основных компонентов для эксперимента использовались клинкер, произведенный на Яванском цементном заводе компании ООО «Хуаксин Гаюор Цемент» в Республике Таджикистан, а также гипс (дигидрат), полуводный гипс и портландцемент СзА.

Сито, размеры ячеек которого 0,063 использовали для просеивания измельченного клинкера в лабораторной шаровой мельнице, объем которого 1 литр, перед его помолотом. В приготовленную смесь добавляли гидратированную добавку, то есть дигидратный гипс в количестве до 5%. Используя метод воздухонепроницаемости, с помощью прибора ПСХ-2М, определяли удельную поверхность созданных образцов. Предварительно измельченный клинкер просеивали через сито с размером ячеек 0,063 мм перед помолотом в лабораторной шаровой мельнице объемом одного литра. Гидратированные добавки (5% дигидратного гипса) были внесены в смесь. Удельная поверхность полученных образцов определялась с использованием метода воздухопроницаемости на приборе ПСХ-2М.

Процесс синтеза СзА осуществлялся в лабораторных условиях при температуре 1350°C, включал выдержку материала в течение часа и последующий повторный обжиг при той же температуре. Для контроля процессов схватывания применяли вискозиметр «Вика».

В рамках исследования влияния добавок гипса различной степени водосодержания на время схватывания цементной смеси были проведены испытания с тремя вариантами: первый с чистым клинкером (смесь 1); второй с добавлением 5% дигидратного гипса (смесь 2); третий с клинкером с включением 5% полуводного гипса (смесь 3).

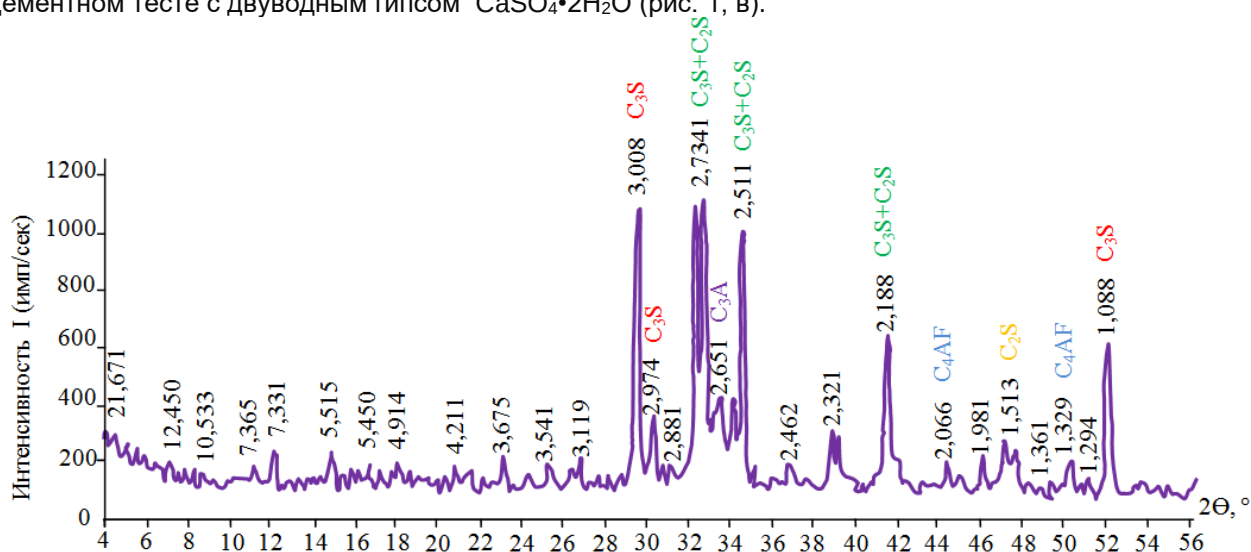
Обсуждение

Полученные значения проведенного испытания указывают на то, что без введения добавки в клинкер схватывание получается мгновенным, а с введением добавки из двуводного гипса сроки схватывания соответствуют требованиям и нормам ГОСТа и при введении полуводного гипса в состав цемента сроки его схватывания стали более короткими, чем во втором случае. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Скорость схватывания цементного теста в зависимости от добавления гипса и его состав

№№ смеси	Схватывания, в час-мин.	
	начало	конец
1.Клинкер без гипса	1 мин	2 мин
2.Клинкер + $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	58 мин	1 ч. 33 мин
3.Клинкер + $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	11 мин	22 мин

Анализ рентгенофазовых характеристик смесей после 3-х часового их гидратации показало, что в цементном тесте без введения добавки из гипса наблюдалось присутствие клинкерных минералов (рис. 1, а). Нужно так же отметить, что в цементной смеси при трех часовой гидратации содержание наличия гидроалюмината кальция невозможно определить методом рентгенограммы. Рисунок 1 б указывает на то, что в цементном тесте с двуводным гипсом, кроме клинкерных минералов присутствует ещё и эттрингит ($d = 9,67, 4,93 \text{ \AA}$) [3], а в цементном тесте с полуводным гипсом содержание эттрингита очень мало, чем в цементном тесте с двуводным гипсом $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1, в).



а) цементное тесто без гипса

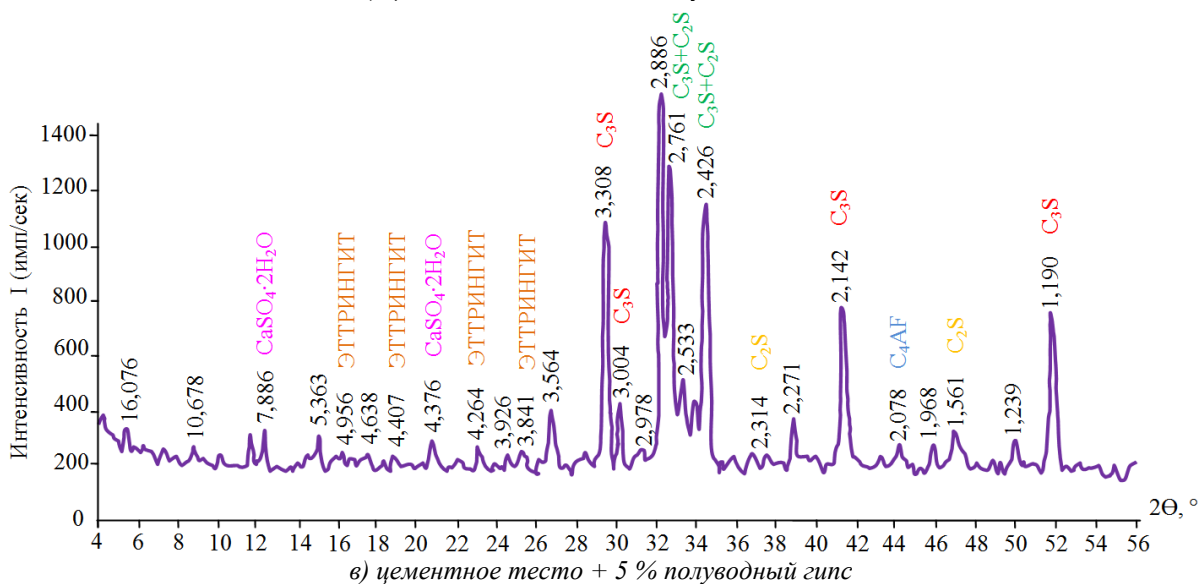
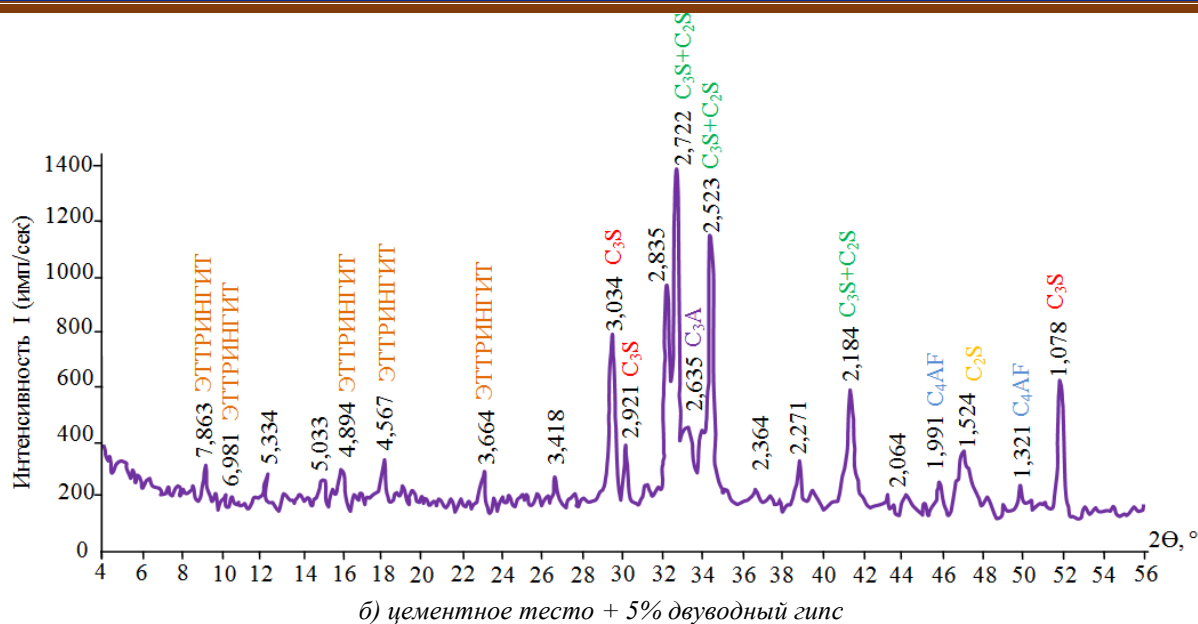


Рисунок 1 – Фазовый состав цементного теста после 3-х часов гидратации

Выявлено, что взаимодействие двуводного гипса с трехкальциевым алюминатом, происходит во время смешивания цемента и воды и его уравнение можно записать в виде:



это означает, что появляется эттрингит, который влияет на процесс гидратации клинкерных минералов. Но, когда в клинкер вводим полуводный гипс то получаем взаимодействие реакции полуводного гипса до двуводного, реакция которого выглядит так: $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а после этого происходит реакция по образованию эттрингита (1) [4-10]. Высказанное можно увидеть на рентгенограмме смеси №3 (рис. 1 в) – это цементная смесь с полуводным гипсом после трех часовой гидратации. Следовательно, постепенное, а значит, более медленное, появление эттрингита в цементном тесте с полуводным гипсом приводит к быстрой гидратации C_3A , что ускоряет процесс осаждения цементного теста.

Для анализа процесса образования трехсульфатной и моносulfатной форм эттрингита и их влияния на скорость твердения цементного теста, которая, по исследованиям европейских ученых, напрямую влияет на явление ложного твердения, были приготовлены смеси C_3A и гипса, которые готовились с расчетом на перевод 40% C_3A в трисульфатную форму эттрингита (смесь 1), и моносulfатную форму эттрингита (смесь 2).

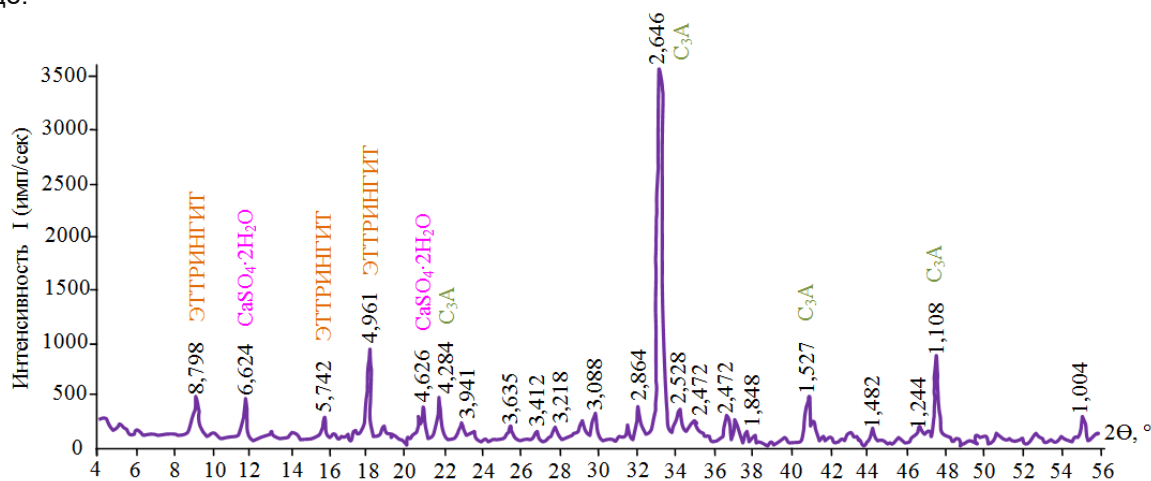
Проведенные исследования показали, что сроки схватывания полученных смесей были примерно одинаковыми (таблица 2).

Таблица 2 - Схватывания цементной смеси (для формирования тресульфатной и моносульфатной форм этtringита).

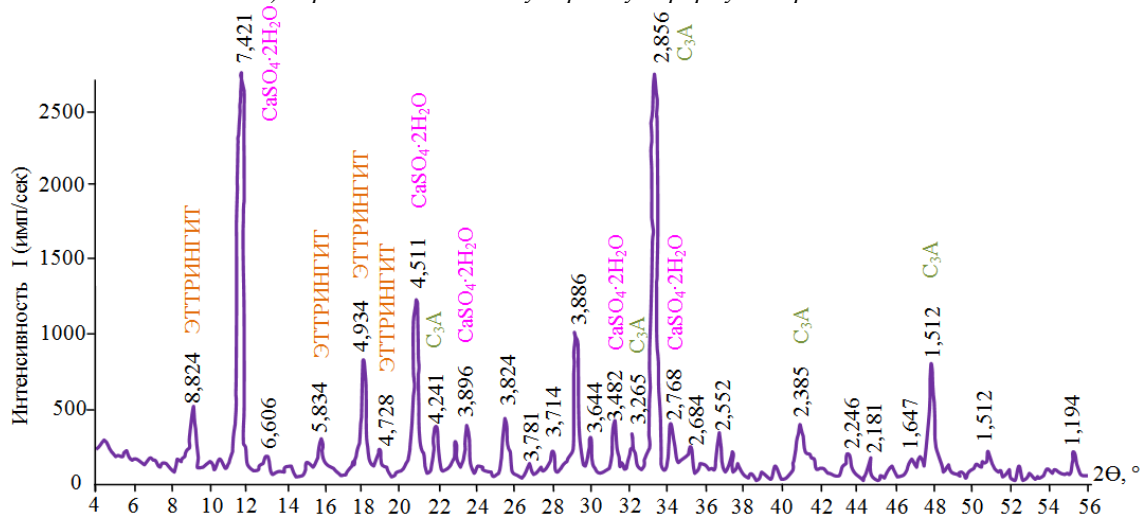
№ смесь	Схватывания, час-мин	
	начало	конец
4.Переход 40 % СЗА в моносульфатную форму этtringита	3 ч. 17 мин.	4 ч. 38 мин
5.Переход 40 % СЗА в тресульфатную форму этtringита	3 ч. 44 мин.	5 ч. 18 мин

Анализ фазового состава образцов цемента после 3 часов гидратации показал, что в обоих случаях образуется тресульфатная модификация этtringита ($d = 9,67, 4,93 \text{ \AA}$). Однако в смеси, предназначенной для образования моносульфатной формы, содержание этtringита ниже из-за уменьшенного количества сульфата кальция в образце, что отражается в меньшей интенсивности его дифракционного отклика (рис. 2).

Незначительное увеличение времени твердения цементного теста, направленное на образование тресульфатной формы этtringита, связано с увеличением количества этой фазы в соответствующем образце.



а) переход 40% в моносульфатную форму этtringита



б) переход 40% в тресульфатную форму этtringита

Рисунок 2 – Переход 3% СЗА в тресульфатную форму этtringита

Вывод

Исследование процесса ложного схватывания цементного теста выявило, что данное явление возникает при добавлении в клинкер полуводного гипса. Причиной этого является замедленное формирование этtringита в две стадии.

Рецензент: Нуманов О.Р. — к.т.н., доцент кафедры «Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций» ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. Москва, 1979. 476 с.
2. Петрова Т.М., Серенко А.Ф., Милачев М.И. Методы предупреждения «ложного схватывания» цементов // Строительные материалы. 2007. №7. С. 30-31.

3. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
4. Харьков В.О., Нормантович А.С., Коновалов В.М. Влияние фосфогипса на водоудерживающую способность цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. №10. С. 309-314.
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 сульфогерритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашулов 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.
8. Akramov A.A. Changes in physical, mechanical and chemical properties of low water demanding cement strength over time / Mukhammadiyev I. A., Yusupov Kh. V., Akramov.A.A., Babayev S. // Scientific and technical magazine «Problems of architecture and construction». Special volume. Samarkand state named by Mirzo Ulug'bek university of architecture and construction. November 8, 2024. – P.582-589.
9. Джуракулов М.Р. Термохимическая активация сырьевой смеси на ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» / Джуракулов М.Р., Акрамов А.А. // Вестник Таджикского национального университета. Наука и инновация Серия геологических и технических наук. Душанбе. 2024. №4. С.37-42.
10. Акрамов А.А. Влияние термохимической активации сырьевых компонентов на процессы минералообразования и свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 190-195.

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

TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевӣ	Акрамов Авазжон Абдуллоевич	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	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
Комилзода Абдували Ҳаким	Комилзода Абдували Хаким	Komilzoda Abduvali Hakim
Номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсент	Кандидат технических наук, и.о. доцента	Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor
Донишгоҳи техникӣ 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: a.komilov@yahoo.com		
TJ	RU	EN
Чуракулов Муродали Роҳатовӣ	Джуракулов Муродали Рохатович	Jurakulov Murodali Rohatovich
Номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсент	Кандидат технических наук, и.о. доцента	Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor
Донишгоҳи техникӣ 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: murodali1969@gmail.ru		
TJ	RU	EN
Абдуганиев Абдумачид Мамасодиқовӣ	Абдуганиев Абдумаджид Мамасодиикович	Abduganiev Abdumadzhid Mamasodikovich
муаллими калон	Старший преподаватель	senior lecturer
Донишгоҳи техникӣ 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: shahboz04@mail.ru		

УДК 332.87

МЕТОДЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Н.О. Олимова

Политехнический институт Таджикского технического университета им. академика М. С. Осими в г. Худжанде

В статье рассматривается одна из актуальных тем архитектуры и строительства последних лет – энергосбережения эксплуатируемых зданий и сооружений. В ней приведены основные методы энергоэффективных решений в жилых зданиях и классификация по энергосбережению зданий. Так же просвещены несколько примеров экспериментальных проектов энергосберегающих жилых домов и рассмотрены решения повышения энергосбережения в этих домах, построенных в разных регионах Таджикистана.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, жилые здания, зелёное строительство, архитектурно–строительные решения, возобновляемые источники энергии, микроклимат зданий, система отопления и кондиционирования.

УСУЛҲОИ ҲАЛЛИ ЭНЕРГОСАМАРАНОКӢ БАРОИ БИНОҲОИ ИСТИҚОМАТӢ ВА ГУРӮҲБАНДИИ ОНҲО

Н.О. Олимова

Мақолаи мазкур ба яке аз масъалаҳои ақтуалии меъморий ва сохтмони солҳои охир – энергосарфанокии биноҳо ва иншоотҳои истифодашудаи соҳаи бахшида шудааст. Дар он усулҳои асосии ҳалли энергияи самаранок барои биноҳои истиқоматӣ ва табақабандии биноҳо аз рӯйи энергосарфанокии оварда шудаанд. Инчунин лоиҳаҳои таҷрибавии хонаҳои истиқоматии энергосарфанокии дар Тоҷикистон сохташуда шарҳи худро ёфтаанд. Дар мақола усулҳои баланд бардоштани энергосамаранокии биноҳои истиқоматӣ бо роҳи ҳалли комплекси меъморию сохтмонӣ, истифодабарии манбаъҳои энергияи ғайрианъанавӣ барқароршаванда ва мутобиккунии системаи таъминоти микроклими биноҳо ва иншоотҳо таҳлил карда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: энергосамаранокӣ, сарфаи энергия, биноҳои истиқоматӣ, сохтмони сабз, ҳалли меъморию сохтмонӣ, манбаъҳои энергияи барқароршаванда, микроклими биноҳо, системаи гармкунӣ ва хушккунӣ.

METHODS OF ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS AND THEIR CLASSIFICATION

N.O.Olimova

This article is devoted to one of the topical topics of architecture and construction in recent years – the energy saving of buildings and structures in operation. It presents the main methods of energy – efficient solutions in residential buildings and classification for energy – saving buildings. And also the projects of experimental energy – saving residential buildings built in Tajikistan were enlightened. The article discusses methods for increasing energy saving in residential buildings through integrated architectural and construction solutions, the use of non – traditional renewable energy sources and the optimization of systems for ensuring the microclimate of buildings and structures.

Keywords: energy efficiency, energy saving, residential buildings, green building, architectural and building solutions, renewable energy sources, building microclimate, heating and air conditioning system.

Введение

В условиях современного экономического кризиса задача ресурсосбережения и повышения энергоэффективности зданий и сооружений приобретает особую значимость. Неэффективное использование исчерпаемых природных ресурсов и их ограниченность становятся первоочередными проблемами, требующими внимания и решения. Экологические аспекты, связанные с эксплуатацией данных ресурсов, подчеркивают необходимость разработки устойчивых и эффективных архитектурных решений, способствующих минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

В последние десятилетия в развитых странах мира идёт тенденция проектирования и строительства энергоэффективных зданий, называемыми другими словами - «зелёное строительство» [1]. Зелёный дом – это такое здание, в котором основной целью является снижение энерго- и ресурсопотребление, при этом повышаются комфортные условия микроклимата зданий. Строительство в современных условиях сталкивается с рядом ключевых задач, которые необходимо решать на этапе проектирования и возведения объектов:

- улучшение энергетической эффективности зданий;
- уменьшение негативного воздействия на окружающую среду;
- сокращение использования природных ресурсов в ходе эксплуатации [2].

Теория

Методы повышения энергоэффективности

1. **Архитектурные решения** - включают в себя оптимизацию формы здания, его ориентацию относительно сторон света, использование естественного освещения и вентиляции. Правильное расположение окон, использование навесов и козырьков может значительно снизить потребность в отоплении и кондиционировании воздуха.

2. **Теплоизоляция** - эффективная теплоизоляция стен, крыши и пола является одним из основных методов повышения энергоэффективности. Использование современных теплоизоляционных

материалов, таких как пенополистирол, минеральная вата и другие, позволяет значительно снизить теплопотери.

3. **Энергосберегающие технологии** - внедрение таких технологий, как светодиодное освещение, системы автоматизации и управления, а также высокоэффективные отопительные и вентиляционные системы, способствует снижению потребления энергии. Использование умных технологий (smart home) позволяет оптимизировать потребление энергоресурсов в зависимости от потребностей жильцов.

4. **Воспроизводимые источники энергии** - интеграция солнечных панелей, ветряков и других возобновляемых источников энергии в жилые здания позволяет не только сократить потребление традиционных энергоресурсов, но и снизить эксплуатационные расходы. Это также способствует повышению энергетической независимости зданий.

5. **Использование систем рекуперации тепла** - системы рекуперации тепла позволяют утилизировать тепло, выделяющееся при вентиляции и отоплении, что снижает затраты на энергоресурсы. Такие системы могут быть как механическими, так и естественными, в зависимости от проектных решений.

Классификация энергоэффективных зданий по европейскому стандарту, приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация зданий по уровню их годового потребления энергии [3].

Классификация зданий	Годовое потребление энергии, кВт·ч/м ²
Старое здание	300
Новое здание	150
Дом с низким энергопотреблением	60
Пассивный дом	15
Дом нулевой энергии	0
Дом плюс энергии (активный дом)	Вырабатывает больше энергии своей потребности

В Таджикистане существует ряд строительных норм и правил, относительно проектированию и строительству новых зданий и сооружений и реконструкции существующих зданий. Одним из них, СНИП РТ 23-02-2021 «Тепловая защита зданий», который регламентирует уменьшение затрат энергии на отопление и вентиляцию зданий [3]. А также в нём своя классификация энергосберегающих зданий и сооружений (таблица 2).

Таблица 2 - Классы энергетической эффективности зданий [3]

Обозначение класса	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения расчётного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормативного, %	Рекомендуемые мероприятия органами администрации субъектов РТ
Для новых и реконструированных зданий			
A	Очень высокий	Менее минус 51	Экономическое стимулирование
B	Высокий	От минус 10 до минус 50	То же
C	Нормальный	От плюс 5 до минус 9	-
Для существующих зданий			
D	Низкий	От плюс 6 до плюс 75	Желательна реконструкция здания
E	Очень низкий	Более 76	Необходимо утепление здания в ближайшей перспективе

В данной таблице приведена характеристика, где проектирование зданий с учётом энергосбережения под классами «D» и «E» является запрещённым, однако значительная часть существующего жилого фонда была возведена в соответствии с устаревшими нормами, что делает их несоответствующими современным стандартам энергоэффективности. Решением такой задачи является реконструкция этих зданий.

В настоящее время в Таджикистане началась реализация концепции «зелёного строительства». Несмотря на медленный темп, были реализованы несколько проектов экспериментальных домов в рамках деятельности программы «DYNAMO», ориентированных на энергоэффективность. В районах Рудаки, Вахдат, Шахринав и Гиссар при поддержке Европейского Союза и французской организации «ГЕРЕС», под руководством специалистов, отремонтировано примерно 100 домов. Проектирование энергосберегающих зданий учитывает климатические условия и доступные строительные материалы Таджикистана. Стены возводятся исключительно кирпичом и утепляются. Теплоизоляция потолка достигается с помощью камыша или соломы, которые обрабатываются негашеной известью, а также специальным раствором для обеспечения пожарной безопасности [4].



Рисунок 1 - Процесс отделки утепляемой комнаты в пилотном доме, выбранном организацией «ГЕРЕС» [4]

В ходе анализа энергоэффективных мероприятий можно выявить ключевые методы повышения энергетической эффективности зданий и уменьшение расхода энергетических ресурсов в процессе их использования:

- оценка и оптимизация архитектурных, планировочных и инженерных решений в строительстве;
- использование возобновляемых источников энергии;
- оптимизация систем создания комфортного микроклимата в зданиях.

В данное время мы можем на примере, районов Согдийской области проанализировать несколько методов энергоэффективности жилых домов благодаря пилотному проекту инициативы зелёных домов компании ГЕРЕС. К примеру, в джамоате Дадобой Холматов в Бабаджан Гафуровском районе специалисты предприятия превратили одну жилую комнату в доме Хакимовых в энергоэффективный. Закрыли прежний оконный проём, с учётом солнца открыли новый проём в сторону света, а также методом утепления установили стеклопакет в одной из комнат. В результате зимой 2022 на 2023 год владельцы дома использовали только один обогреватель с одной включённой спиралью. Раньше семья Хакимовых ежегодно тратила на обогрев этой комнаты тонны угля [5].

В прежние времена наши предки строили дома с учётом солнечного тепла, но последующие времена такая традиция была забыта. А сегодня вновь оживляя традиции, в рамках проекта ГЕРЕС люди обращают внимание на концепцию экологически чистого жилья. С этой целью, по всему миру в строительстве начали использовать современные технологии и конструкции, которые дают возможность экономить энергию и сократить отрицательное воздействие на окружающую среду. Основные методы энергоэффективности, применяемые в «зелёных домах»: - внедрение возобновляемых источников энергии, использование изолирующих материалов, эффективных систем отопления и кондиционирования воздуха.

В Согдийской области более 500 жителей получили доступ к энергоэффективным домам, благодаря проекту, поддержанному французскими агентствами развития и фондом аббата Пьера. Этот проект предоставляет скидки до 50% на строительные материалы и количество, получающие такие льготы, становятся всё больше. С каждым годом концепция «зелёных домов» становится всё более популярным и намечается, что в недалёком будущем это станет стандартом для всех новых строений.

Возобновляемые источники энергии представляют собой «зелёную» энергетику, которая приобретает все большую значимость в контексте обсуждений о климатических изменениях и необходимости диверсификации источников электроэнергии. При использовании нефти, газа и урана, которые являются исчерпаемыми ресурсами, выбросы углерода в атмосферу продолжают расти. В Таджикистане около 10% населения не имеют доступа к электроэнергии, особенно в горных районах, где прокладка линий электропередачи представляет собой значительные трудности. Внедрение солнечных панелей и ветрогенераторов может стать эффективным решением проблемы электрификации удалённых территорий. Однако реализация данной практики в настоящее время зависит от международных грантов, поскольку местное население сталкивается с ограниченными финансовыми возможностями. Биотопливо, особенно дрова, является основным источником энергии в горах, но его популярность приводит к вырубке деревьев из-за лимитов на электричество. Восстановление деревьев леса – задача не из лёгких, а сделать это без развития альтернативной энергии становится, скорее всего, невозможным.

В рамках исследования альтернативных источников энергии в Центральной Азии особое внимание уделяется солнечной, гидро- и ветровой энергетике. Таджикистан, находящийся между 36°40' и 41°05' северной широты, располагается в зоне, обладающей высоким уровнем солнечного излучения, согласно метеорологическим данным. По сведениям Агентства по гидрометеорологии Таджикистана, страна получает от 2100 до 3166 часов солнечного света в год, что соответствует 260-300 солнечным дням. Эти значительные ресурсы обосновывают целесообразность использования солнечной энергии, особенно в горных районах, где отсутствуют линии электропередачи.

Согласно оценкам Министерства энергетики Таджикистана, потенциал солнечной энергии в стране составляет 3103 миллиарда кВт·ч в год. Это количество может частично компенсировать зимний дефицит

электроэнергии в регионах, где проживает 70% населения. Важно отметить, что в Таджикистане наблюдается нарушение энергетического баланса: в летний период наблюдается избыток электроэнергии, тогда как зимой фиксируется дефицит, что приводит к ограничению подачи электроэнергии на 8-10 часов и более в ряде регионов, что также наблюдалось в зимний период 2023-2024 годов.

Кроме того, Таджикистан обладает значительным потенциалом ветровой энергии, хотя исследования в этой области еще не завершены. По различным оценкам, потенциал ветровой энергии составляет от 30 до 100 миллиардов кВт·ч в год. Анализ данных Министерства энергетики Республики Таджикистан свидетельствует о крайне низком уровне внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в стране. На сегодняшний день эксплуатируется всего девять ветроэнергетических установок суммарной мощностью 5,1 кВт и 2433 солнечных установки общей мощностью 8,87 кВт. Это указывает на незначительный вклад ВИЭ в национальную энергосистему. Более того, экономическая целесообразность использования ветровой и солнечной энергии в настоящее время ограничена высокой себестоимостью производства электроэнергии. В качестве сравнительного анализа можно привести стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, производимой на ГЭС (26,51 дирам, или 2,5 цента по состоянию на 1 октября 2022 г.), и ориентировочную стоимость 1 кВт·ч ветровой энергии (около 20 центов, согласно данным зарубежных источников). Высокая стоимость ВИЭ обусловлена, предположительно, недостаточно развитой инфраструктурой и технологиями, а также отсутствием масштабного производства.

Несмотря на это, имеются примеры успешной реализации проектов по использованию солнечной энергии. Так, в 2020 году в рамках совместного проекта USAID и компании «Памир Энерджи» в высокогорном районе Мургаб (Горно-Бадахшанская автономная область) была запущена первая крупномасштабная солнечная электростанция в Таджикистане, которая, согласно заявлениям, станет не только крупнейшей в стране, но и самой высоко расположенной в мире. Внедрение данной электростанции, включающей в себя гибридную систему накопления энергии мощностью 180 кВт·ч, демонстрирует потенциал ВИЭ, однако масштабирование подобных проектов требует значительных инвестиций и решения вопросов экономической эффективности.

Внедрение новой солнечной электростанции в высокогорном поселке Мургаб (3600 м над уровнем моря) обеспечило электричеством более 6000 человек, ранее не имевших доступа к электросети ввиду сложной горной местности. Данное мероприятие привело к увеличению доступности дневной электроэнергии на 50%, улучшая жизнь жителей и способствуя экономическому развитию региона – по информации американского диппредставительства [7].

Введённая в эксплуатацию солнечная электростанция в Мургабе, несмотря на значимость для местного населения, характеризуется относительно невысокой мощностью — 220 кВт. Это значение существенно уступает мощности даже малых гидроэлектростанций Таджикистана, таких как Варзобская ГЭС-3 (3,52 МВт), а также значительно меньше мощности крупнейшей действующей Нурекской ГЭС (3000 МВт). Таким образом, масштаб проекта ограничен, что обусловлено, вероятно, спецификой местоположения и целевой аудиторией, но в перспективе результаты дают хорошую базу для развития в этом направлении электроснабжения.



Рисунок 2 – Солнечная электростанция в Мургабе Горно-Бадахшанской автономной области [7]

В городе Душанбе в Институте ветеринарной медицины Академии сельскохозяйственных наук установили собственную автономную солнечную электростанцию. На крыше здания смонтировали более 30 панелей.

В лаборатории института занимаются молекулярными исследованиями и хранят материалы в условиях глубокой заморозки. С помощью солнечной энергии руководство решило не просто сэкономить на коммунальных платежах, но и позаботиться о сохранности имеющихся материалов, так как при сбое электричества размораживая, пропадают полученные данные.

Научный сотрудник института Светлана Жбанова отметила, что солнечные панели позволяют снабжать институт электричеством, целую неделю [5].

В последние годы в стране подобный опыт автономного электроснабжения возрастает. Например, столичный роддом уже не первый год также перешел на возобновляемые источники энергии.

В качестве иллюстрации эффективности внедрения возобновляемых источников энергии можно привести пример солнечной электростанции, установленной в Институте ветеринарной медицины Академии наук Республики Таджикистан. Система, состоящая из фотоэлектрического модуля, включает 38 солнечных панелей по 275 Вт каждая, обеспечивая общую мощность 10,45 кВт. Интегрированный энергоблок, оснащенный аккумуляторными батареями емкостью 38,4 кВт·ч, гарантирует бесперебойное электроснабжение лаборатории института. Данный пример демонстрирует успешную интеграцию локальных систем солнечной энергетики для обеспечения электроснабжения объектов с относительно небольшой потребностью в энергии [5].

В ближайшее время и в Согдийской области планируется возведение солнечной электростанции. В ходе встречи Министра энергетики Республики Таджикистан с Исполнительным директором Всемирного банка по энергетике для стран Европы и Центральной Азии, состоявшейся 1 мая 2023 года, было обсуждено строительство частной солнечной электростанции мощностью 200 МВт. Данное мероприятие свидетельствует о привлечении внешних инвестиций в развитие возобновляемой энергетики Таджикистана и подчёркивает стратегическое значение данного проекта для энергетической безопасности страны [4].

В рамках стратегического курса на устойчивое развитие, провозглашённого Президентом Эмомали Рахмоном в 2021 году и детализированного в «Стратегии развития «зелёной» экономики на 2023-2037 годы» (с общим объёмом финансирования 21,6 млрд сомони), была обозначена приоритетная задача по внедрению возобновляемых источников энергии. Данная стратегия направлена на оптимизацию использования природных ресурсов посредством привлечения инвестиций и инновационных технологических решений. В качестве конкретной меры планируется реализация трёх проектов по развитию солнечной энергетики общей мощностью 260 МВт до 2025 года.

Несколько предприятий, такие как «Неруи Дастрас», ОАО «Системаавтоматика» и ООО «Технологияҳои Сабз» уже предоставляют услуги по установке солнечных панелей, батарей, насосов и другого оборудования, работающего на солнечной энергии. Эти услуги в основном оказываются в отдалённых районах от столицы. В качестве примера частной компании, предоставляющей услуги по установке систем возобновляемой энергетики, можно привести «Технологияҳои Сабз». Данная компания реализует индивидуальные проекты, включающие монтаж солнечных панелей, водонагревателей, насосного оборудования и микрогидротурбин. Стоимость таких проектов определяется на основе технического задания и объемов выполняемых работ.

Отмечается, что установка солнечной электростанции мощностью один киловатт стоит около 25 тыс. сомони. Анализ ценовой политики предприятия «Технологияҳои Сабз» демонстрирует наличие как гибкой, зависящей от объёма работ, системы ценообразования на услуги по установке солнечных панелей, водонагревателей, насосов и гидротурбин, так и фиксированных расценок на отдельные компоненты солнечных электростанций. В качестве примера, заявлена стоимость солнечной панели мощностью 100 Вт в диапазоне 590-600 сомони. Данные о ценообразовании на инверторы и аккумуляторные батареи указывают на дифференцированный подход, основанный на единицах мощности и ёмкости.

Ещё одним альтернативным источником энергии является малая гидроэнергетика. Эксперты оценивают потенциальный вклад малой гидроэнергетики в энергобаланс Таджикистана в 18 млрд кВт·ч в год. Анализ данных о потенциале малой гидроэнергетики в Таджикистане указывает на значительные, но сезонно-зависимые ресурсы. Высокие показатели годового потенциала (18 млрд кВт·ч) коррелируют с аналогичными ограничениями, характерными для крупных гидроэлектростанций: производительность

напрямую зависит от водного стока, испытывающего существенные сезонные колебания с понижением уровня воды в холодный период года. Это обуславливает необходимость разработки стратегий, компенсирующих сезонный дефицит генерации.



Рисунок 3 – Процесс установки солнечных панелей сотрудниками компании «Технологияҳои сабз» [8]

Выводы

Повышение энергоэффективности жилых зданий является важной задачей, требующей комплексного подхода. Использование различных методов и технологий позволяет значительно снизить потребление энергии, сократить эксплуатационные расходы и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Важно продолжать исследования в этой области и внедрять инновационные решения, способствующие устойчивому развитию.

В данное время хоть и подавляющий объём электроэнергии в стране всё ещё производится на гидростанциях, где приложена дорога, то в перспективе будут использованы возобновляемые источники энергии. И эти концепции дают нам надежду на развитие альтернативной энергетики в Таджикистане в ближайшие годы. Хотелось бы отметить, что одним из основных препятствий, является не информированность населения новыми решениями и приборами этого направления. Сотрудничество государства с иностранными организациями и сообществами по распространению информации о цели стратегии будет способствовать ускорительному развитию использования ВИЭ.

Рецензент: Хасанов Н.Н. — Доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектуры зданий и сооружений» ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Шилкин Н.В. Энергоэффективные дома Дании / Н.В. Шилкин, А.Е. Насонова // Здания высоких технологий. 2014. Лето. -С. 72–78.
2. Бродач М.М. Здание с близким к нулевому энергетическому балансу / М.М. Бродач, В.И. Ливчак // АВОК. 2011. № 5.
3. Свод правил СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2009. /Минрегион России. –М., 2012. – 126 с.
4. В Вахдате и Рудаки построили энергоэффективные дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vecherka.tj/archives/54098>– (дата обращения: 19.01.2023).
5. В Таджикистане начали строить энергосберегающие дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://centralasia.media/news:1575608/> (дата обращения 11.03.2023).
6. Перспектива использования солнечной энергии и биомассы в Таджикистане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ravshanfikr.tj> (дата обращения 3.05.2022).
7. В Мургабе открыли крупнейшую солнечную электростанцию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/economic/20201112/v-murgabe-otkrili-krupneishuyu-solnechnuyu-elektrostantsiyu-v-tadjikistane> (дата обращения 21.11.2024).

8. В Согде построят частную солнечную электростанцию. Почему они важны для Таджикистана? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asiaplustj.info/en/node/324836> (дата обращения 15.11.2024).

9. Казанцев П.А. Архитектурный проект «Энергоэффективное здание «Экодом Solar-5»» / П.А. Казанцев // Энергобезопасность и энергосбережение. 2010. № 4. -С. 17–20.

10. Лысев В.И., Шилин А.С. Направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Научный журнал НИУ ИТМО. 2017. №2/3 – с. 18-25.

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

TJ	RU	EN
Олимова Нодирабегим Омоновна	Олимова Нодирабегим Омоновна	Olimova Nodirabegim Omonovna
докторанти кафедраи “Сохтмон”-и ИПДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ дар ш.Хучанд	докторант кафедры «Строительство» ПИТТУ имени академика М.С. Осими в городе Худжанд	Doctoral student of the department "Construction" PITTU named after academician M.S. Osimi in the city of Khujand
beginolimova@gmail.com		

ТДУ: 699.86 (575.3)

МАФҲУМҲОИ АСОСИИ ТАҲСИЛОТИ ФАРОГИР

А.Р. Муминов, Н.Н. Ҳасанов, Д.Ғ.Сафарзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола мафҳумҳои асосии таҳсилоти фарогир мавриди баррасӣ ва омӯзиш қарор дода шудаанд. Қайд гардидааст, ки таҳсилоти фарогир, раванди таълимиву тарбиявии хонандагон дар муассисаҳои таҳсилоти умумӣ мебошад, ки барои таъмин намудани ҳуқуқи имкониятҳои баробари дастрасии кӯдакони синнусоли гуногун ба таҳсилоти босифати муосир, новобаста аз хусусиятҳои физикиву психологӣ ва маҳдудияҳои ҳолати саломатии онҳо равона гардидааст. Истилоҳоти асосии фарогирӣ дар соҳаи таҳсилот аз мафҳумҳои ҳоси фарогирӣ, дастрасӣ, муносибати инфиродӣ дар раванди таҳсилот, ниёзҳои таълимиву тарбиявӣ ё таҳсилотӣ ҳамкориҳои хонандагону омӯзгорон, иштирок дар раванди таҳсилот, муҳити мададгор, таҳасуснокии ҳайати педагогии муассиса, инчунин ҳамҷоякунии (интегратсия) иҷтимоӣ ё ҳамбастагии байниҳамдигарии толибилмон иборат мебошад.

Калидвожаҳо: таҳсилоти фарогир, дастрасӣ, таълимиву тарбиявӣ, муҳит, раванди таълим, мутобиқат, педагогика.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.Р. Муминов, Н.Н. Хасанов, Д.Г. Сафарзода

В статье рассматриваются основные понятия инклюзивного образования и обучения. Отмечено, что инклюзивное образование-это учебно-воспитательный процесс учащихся в общеобразовательных учреждениях, направленный на обеспечение равных прав и возможностей доступа детей разных возрастов к качественному современному образованию независимо от физических и психологических особенностей и ограничений состояния их здоровья. Основные термины инклюзивности в сфере образования включают специфические понятия, такие как инклюзия, доступность, индивидуальный подход в образовательном процессе, учебно-воспитательные или образовательные потребности, взаимодействия учащихся и учителей, участия в образовательном процессе, благоприятная среды, специализации педагогического персонала учреждения, а также социальной интеграции или межличностной солидарности учащихся.

Ключевые слова: инклюзивное образование, доступность, учебно-воспитательная среда, учебный процесс, соответствие требованиям, педагогика.

BASIC CONCEPTS OF INCLUSIVE EDUCATION

A.R. Muminov, N.N. Khasanov, D.D.Safarzoda

The article discusses the basic concepts of inclusive education and learning. It was noted that inclusive education is an educational process of students in general education institutions aimed at ensuring equal rights and opportunities for children of different ages to access high-quality modern education, regardless of their physical and psychological characteristics and limitations of their health status. The main terms of inclusivity in the field of education include specific concepts of inclusivity, accessibility, individual approach in the educational process, educational and educational needs of interaction between students and teachers, participation in the educational process, a favorable environment, specialization of the teaching staff of the institution, as well as social integration or interpersonal solidarity of students.

Keywords: inclusive education, accessibility, educational environment, learning process, compliance, pedagogy.

Таҳсилоти фарогир (ТФ), раванди таълимиву тарбиявии хонандагон дар муассисаҳои таҳсилоти умумӣ мебошад, ки барои таъмин намудани ҳуқуқи имкониятҳои баробари дастрасии кӯдакони синнусоли гуногун ба таҳсилоти босифати муосир, новобаста аз хусусиятҳои физикиву психологӣ ва маҳдудияҳои ҳолати саломатии онҳо равона гардидааст. Истилоҳоти асосии фарогирӣ дар соҳаи таҳсилот аз мафҳумҳои ҳоси фарогирӣ, дастрасӣ, муносибати инфиродӣ дар раванди таҳсилот, ниёзҳои таълимиву тарбиявӣ ё таҳсилотӣ ҳамкориҳои хонандагону омӯзгорон, иштирок дар раванди таҳсилот, муҳити мададгор, таҳасуснокии ҳайати педагогии муассиса, инчунин ҳамҷоякунии (интегратсия) иҷтимоӣ ё ҳамбастагии байниҳамдигарии толибилмон иборат мебошад (Расми 1).

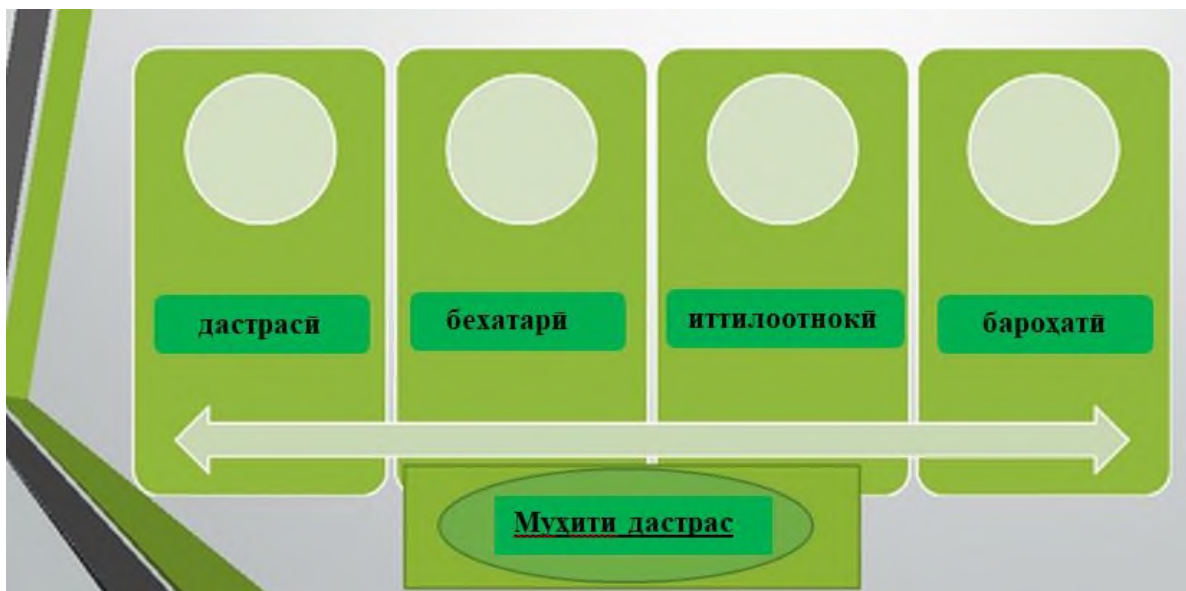
Муносибати фарогиранда дар раванди таълимиву тарбиявии (РТТ) муассисаҳои таҳсилотӣ (МТ), яке аз падидаҳои ҷалби ҳамҷоякунандаи тамоми хонандагон, аз ҷумла хонандагони имкониятҳои маҳдуди рухиву ҷисмонидошта ба раванди таҳсилот ба ҳисоб меравад. Ҳадафи асоситарини фарогирӣ дар раванди таҳсилот таъмини ҳамаҷонибаи шароиту имкониятҳои баробар ҷиҳати маълумотнок гаштан ва инкишофи босубути ҳар як кӯдак мебошад [1].

Яке аз падидаи асоситарини фарогирӣ дар биноҳои муассисаҳои таҳсилотӣ, чи тавре ки қаблан зикр гардида буд, дастрасӣ ба ҳисоб меравад, ки мафҳуми он аз дастрас будани тамоми унсурҳои тархиву ҳаҷмӣ, инфрасохторӣ ва ҳудуди замини муассисаи таҳсилотӣ барои тамоми хонандагон, ҳайати омӯзгорону кормандони хизматрасони муассисаҳо иборат аст. Бо ибораи дигар, падидаи мазкур бояд таъмини якранг ва номураккаби дастрасиро ба раванди таълимиву тарбия, аз ҷумла аз нуқтаи назари дастрасии ҷисмонӣ, иттилоотиву таъинотӣ ва тиббиву педагогӣ ба пуррагӣ амалӣ созад (Расми 2).



- ➔ Муносибати инфиродӣ: Муаллимон бояд эҳтиёҷоти инфиродии ҳар як хонандаго тавассути мутобиқ кардани маводи таълимӣ ва усулҳои таълим ба ниёзҳои хоси онҳо ба назар гиранд
- ➔ Муҳити дастрас: Мактабҳо бояд барои ҳамаи хонандагон дастрас бошанд. Ин ҳалҳои меъморӣ, аз қабили пандусҳо ва лифтҳо, инчунин маводи таълимӣ ва технологияҳои мавҷударо дар бар мегирад
- ➔ Ҳамкорӣ: Фароҳам овардани шароит барои ҳамкориҳои фаъол байни хонандагон бо эҳтиёҷоти гуногун, инчунин байни хонандагону муаллимон муҳим мебошад
- ➔ Интеграцияи иҷтимоӣ: Таҳсилоти фарогир ба фароҳам овардани фазои таҳаммулпазир ва эҳтиромона дар мактабҳо мусоидат менамояд

Расми 1 – Принципиҳои асосии таҳсилоти фарогир



Расми 2 – Дастрасии муҳити таҳсилоти фарогир

Шарти асосии таъмини дастрасии биноҳои МТ аз он иборат мебошад, ки дар онҳо ба иштирокчиёни раванди таълиму тарбия, хусусан хонандагони синнусол ва хусусиятҳои руҳиву ҷисмонии гуногундошта, бояд имкониятҳои дастрасии озоду бемонеаро ба биноҳо ва инфрасохторҳои алоҳидаи он таъмин намояд. Дар роҳҳои ҳаракати муҳити дохиларо берунаи муассисаҳо бояд ягон намуди монеаъ ё мушкилоте, ки метавонанд амалисозии раванди таъинотиро мураккаб созанд, пешбинӣ нашуда бошад. Ҳамзамон, ба сифати талаботи асосии дастрасӣ, бояд ғоя ё принципи *мутобиқати* муҳити МТ ба назардошти хусусиятҳо ва ниёзҳои хонандагони имкониятҳои руҳиву ҷисмонидошта баррасӣ гардад. Бояд таҷҳизот ва сохторҳои махсуси робитавию (коммуникатсионӣ) технологӣ, аз ҷумла лифту нишебостонаҳо (пандусҳо), дастқапаку аломатҳои иттилоотӣ, таҷҳизоти болобардор, рампаҳо ва васоиту системаҳои дигари ёрирасону техникии мавқеъмуайянкунӣ пешбинӣ карда шаванд (Расми 3).



Расми 3 – Таҷҳизот ва сохторҳои махсуси робитавию технологиҳои дастрас

Принципи мутобиқати мазкур бояд дар лоиҳакашии тамоми унсурҳои инфрасохтори асосии биноҳои МТ, аз ҷумла: қисмҳои санитариву техникӣ (ҳочатхонаву ташноҳо ва ғ.), ҳуҷраҳои таълимӣ (синфхонаҳо, кабинети озмоишгоҳҳо) ва инчунин дар муҳити берунаи муассиса, роҳраву пиёдароҳравҳо мавриди истифода қарор дода шавад. Масалан, масоҳат ва таҷҳизоти қисмҳои санитариву техникӣ бояд мутобиқ ба нишондодҳои антропометрӣ ва эргонометрии на танҳо кӯдакони солим, балки кӯдакони нуқсонҳои гуногуни саломатидошта муайян ва қабул карда шаванд. Дар ҳуҷраҳои таълимии МТ мизу курсиҳои махсус пешбинӣ шуда, лоиҳакашии пиёдароҳравҳои беҳатару дастрас бо назардошти ниёзу талаботи гуруҳи осебпазирӣ хонандагони муассиса бояд ба анҷом расонида шавад [1,3,7].

Пешбинӣ намудани *дастрасии иттилоотӣ* дар биноҳои муассисаҳои таҳсилоти (МТФ) аҳамияти назаррас дорад. Ҳар як хонандаи МТФ бояд дастрасии бемаҳдуд ба захираҳои хусусияти иттилоотӣ, аз қабили почтаи электронӣ ё шабакаҳои интернетӣ, маводҳои таълимии мутобиқгардонидашуда, инчунин асбобҳои садоӣ ва таҷҳизоти намоишӣ (визуалӣ) дошта бошад.

Амалисозии босамару пурраи раванди таълиму тарбия дар таҳсилоти фарогир бе мукамалгардонии тарзу усулҳои мавҷудаи педагогии таҳсилот ғайриимкон мебошад. Он дар мавриде имконпазир мегардад, ки дар раванди мазкур принципи *дастрасии педагогӣ* ба таври зарурӣ риоя карда шавад. Яъне, дар ин маврид бояд тамоми хонандагони муассиса бо имкониятҳои мусоиду баробар барои дастрасии муносибатҳои инфиродӣ ва дастгирии мутобиқ ба ниёзҳои онҳо таъмин карда шаванд.

Дастрасии педагогӣ аз ҷабҳаҳои зерин метавонад иборат бошад [4,5]:

- фардикунонии раванди таҳсилот, яъне ташаккули шароитҳои мусоиду мувофиқи муносибати фардӣ ба раванди таҳсилот, бо назардошти ниёзу қобилияти ҳар як хонанда;
- пешбинӣ намудани имкониятҳои таъмини ҳамкорӣ ва алоқамандӣ бо волидайн, аз ҷумла барои иштироки бевоситаи онҳо дар таҳияи маводҳои таълимиву методии инфиродӣ;
- таъмини дастрасӣ барои дастгирии хонандагони нуқсонҳои руҳиву ҷисмонӣ ва ниёзҳои гуногуни таълимидошта, аз ҷумла хизматрасониҳои логопедӣ, психологӣ ва мутахассисони соҳаҳои дигари фаъолият.

Яке аз ҷиҳатҳои калидии раванди муосири таълимиву тарбиявӣ, фардикунонии он ба ҳисоб рафта, дар он бояд тамоми ҷабҳаҳои ниёзи хонандагони МТФ, аз ҷумла шавқу рағбат ва хусусияти қобилияти инфиродии хонанда ба инобат гирифта шавад. Самту муносибати мазкур нисбати раванди таҳсилот имкониятҳои ташаккули муҳити мутобиқу фардии универсалии таълиму тарбияи хонандагонро метавонад фароҳам оварад.

Унсурҳои сохтори фардикунонии раванди таҳсилотӣ дар таркиби худ қорҳои мухталифро, ба монанди ташхису арзёбии ҳолати мавҷуда, мутобиқгардонии маводҳои таълимиву методӣ, фасеҳии таҳсилот, муайян ва гузостани ҳадафҳои инфиродии хонандагон, дастгирии сарпарастӣ, ҳамбастагӣ ва

ҳамкорию бо волидайнӣ хонандагон дар раванди таҳсилот ва инчунин истифодабарии босамари технологияҳои муосир барои фардикунонии раванди таъҳсилот дар бар мегиранд [1,6,7].

Хулоса, фардикунонии раванди таҳсилоти фарогир дар тамини ҳамаҷонибаи ҷалб ва баланд бардоштани ҳавасмандгардонии тарбиягирандагонӣ муассисаҳои таҳсилотӣ ба раванди таҳсилот нақши муҳим дошта, дар натиҷа барои ба даст овардани натиҷаҳои амаливу назаррас мусоидат менамояд. Ҳамзамон, падидаи мазкур барои ташаққули муҳити таълимиву тарбиявии фарогир, ки дар он тамоми хусусияту ниёзҳои хонандагон бояд ба назар гирифта шаванд, мусоидат менамояд.

Бояд қайд намуд, ки принципҳои дастрасии муассисаҳои таҳсилоти фарогири болозир, метавонанд ҳамчун самти асосии ташаққули муҳити таҳсилоти фарогир бошад ва он барои ба даст овардани донишҳои босифату замонавӣ, амалисозии имкониятҳои худ, пас аз хатми муассиса аз ҷониби тарбиягирандагон мусоидат намояд.

Таҳсилоти фарогирро (ТФ) чун қоида, бо назардошти истифодаи принципҳои баробарӣ ва эътирофи ҳуқуқ ва озодиҳои ҳар як узви ҷомеаи шаҳрвандӣ, аз ҷумлаи қудакони синнусоли гуногун барои дарёфти донишу таҳсилоти босифат ва муосир, ки бояд ҷавобгӯ ба даъвати талаботи замонавӣ муаррифӣ менамоянд. Падидаи мазкур аз маҷмӯи санадҳои меъёриву ҳуқуқии байналмилалӣ, мисоли Конвенсияи ҳуқуқи маъёбон, ки аз ҷониби Ассамблеяи генералии Созмони миллалӣ муттаҳид (СММ) дар санаи 13 декабри соли 2006 қабул гардидааст, сарчашма мегирад. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳуҷҷати мазкур 22 сентябри соли 2016 ба тавсиб расида, он тарафдорӣ ҚТ-ро аз ҳифзи ҳамаҷонибаи ҳуқуқ ва озодии шахсони маъёб, дар ҷорҷӯбаи иҷроиши талаботи меъёрҳои байналмилалӣ тасдиқ менамояд.

Муҳимияти ТФ-ро дар замони рушду нумӯи пешрафти техникӣ баррасӣ намуда истода, бояд таваҷҷуҳи махсус ба самтҳои асосиву калидии раванди мазкур, ки он сатҳи муҳимияти масъаларо, аз нуқтаи назари ҷабҳаи иҷтимоиву таҳсилотӣ муайян менамояд, дода шавад.

ТФ бояд имкониятҳои васеи ташаққули ҷомеаи инсонӣ боадолату баробарҳуқуқиро таъмин намуда, ҳамаҷониба барои бартараф сохтани монеаҳо ва падидаҳои қолабиро дар ҳаёту фаъолияти шахсони маъёб, алахусус қудакон қўмаки ҳамаҷониба расонад. Ҳамзамон, бояд барои ҷунин гуруҳи қудакон, новобаста аз ҷинсу синнусол имкониятҳои баробари ҳамдигарфаҳмӣ ва ҳамкориро бо тамоми ҳамсинфону ҳамсолон таъмин гардад [7,8].

Ҳадафи асосии амалисозии ғояҳои фарогирии раванди таҳсилот, беҳбудии ҳамаҷонибаи сифат ва баланд бардоштани сатҳи таҳсилот ба ҳисоб меравад. Тартиби мазкури таҳсилотӣ бешубҳа аз омӯзгорон ва тамоми ҳайати педагогии муассисаи таҳсилотӣ дарки ҷиддии методологияи амалисозии раванди таълимӣ тарбияро тақозо менамояд. Тарзу усулҳои қудосозӣ ва фардикунонии таҳсилот, метавонад малакаи таълимиву тарбиявӣ ва таҷрибавию таҳсилотиро ғайӣ гардонид, имконияти мутобиқгардонии вазифаҳои таҳсилотиро ба ниёзу талаботи қудакони имкониятҳои маҳдуди функционалидошта таъмин намояд.

Дар давраи муосир, ки тамоми ҷабҳаҳои ҳаёту фаъолияти одамон бо сабаби тағйирёбии шароитҳои ҳамаҷонибаи глобалӣ бо суръати назаррас иваз мегардад, барои насли наврас аз худ намудани донишҳои замонавӣ ва малақаҳои амалии ҳамдигарфаҳмӣ, муошират ва ҳамкорӣҳои судманд бо одамони гирду атроф, ки қобилияти ниёзи гуногун доранд, ниҳоят муҳиму мубрам мебошад. Дар ин маврид, ТФ метавонад барои пайдо гардидани донишу малақаҳои номбурдаи насли наврас дар давраҳои гуногуни бавоярасии онҳо мусоидат намояд. Ҳамзамон, он барои омодагии тарбиягирандагонӣ муассисаҳои таҳсилотӣ барои ҳаёту фаъолият дар замони муосири шаҳришавӣ ва дар ҷаҳони атрофи гуногунҷабҳаи инсоният мусоидат намояд [9,11].

Дар баррасии ТФ аз нуқтаи назари рушди иқтисодиву иҷтимоии ҷомеа, бояд қайд намуд, ки маблағгузориҳо дар соҳаи фарогирӣ, дар натиҷа ба таъмини хароҷоти камтарини иқтисодии дурнамои наздик барои хизматрасониҳои иҷтимоӣ, қўмаки тиббӣ ва дастгирии шахсони маъёб ва имконияти маҳдуди функционалидошта мусоидати назаррас менамояд.

Муҳаққиқони соҳаи маориф таҳсилоти фарогирро ҳамчун падидаи арзёбӣ менамоянд, ки он бевосита барои ташаққули додани шароитҳои мусоиду баробари дастрасии тамоми қишри ҷомеа, аз ҷумла барои таълимӣ тарбияи хонандагонӣ муассисаҳои таҳсилотӣ равона карда шудааст.

Муҳимияти ТФ-ро дар замони рушди ҳамаҷонибаи ҷомеаи шаҳрвандӣ метавон бо ҷабҳаҳои бевосита бо ҳамдигар алоқаманд асоснок намуд.

Дар амалисозии ТФ ҳалли мушкилоти адолати иҷтимоӣ яке аз равандҳои назаррас ба ҳисоб рафта, ҳар як шахс ҳуқуқи дастрасӣ ба таҳсилоти муосир дорад. Дар ин маврид, муносибати фарогирии раванд, бешубҳа барои бартараф намудани монеаҳои, ки сатҳи роҳи баъзе аз гуруҳҳои осебпазири хонандагон дар раванди таҳсилот мегарданд, қўмаки амалӣ мерасонад.

Гуногунрангии ва эътирофу эҳтироми нуқтаҳои назари дигар, маърифат, мазҳаб ва тарзи ҳаёти ҳамагон хусусиятҳои дигаре мебошанд, ки дар раванди таҳсилоти фарогир, барои ташаққули муҳити мусоид бояд ба назар гирифта шаванд. Ин падида барои рушду инкишоф додани ҳамдигарфаҳмӣ, эҳтироми байниҳамдигарии хонандагон мусоидат намуда, эҳсоси аҳамияти дурноми ҳаёту фаъолияти онҳоро дар ҷомеа таъмин менамояд.

Тарзу усулҳои таҳсилоти фарогир метавонанд равади таҳсилотро бо ғайӣ гардонид, истифодаи роҳу усулҳои гуногуни таълим барои қонъ намудани ниёзи хонандагонӣ дорои хусусияти ҳарҳелабуда мусоидат намояд ва дар умум сатҳи сифати таҳсилотро афзун намоянд.

Хонандагонӣ дар доираи муҳити таҳсилоти фарогир ҷойгирбуда пеш аз ҳама роҳҳои иҷроӣ қорҳоро дастаҷамона, ҳурмату эътирофи нуқтаҳои назари дигаронро меомӯзанд ва малақаҳои ҳамкорӣҳоро инкишоф медиҳанд, ки ин малақаҳо барои мутобиқшавии онҳо дар ҳаёту фаъолияти ояндашон нақши арзандаеро мебошад.

Сифати дигари ТФ дар он мебошад, ки он барои ташаққули хусусиятҳои дарки қадрдониву арзишноқӣ дар мафкураи хонандагон мусоидат менамояд ва он метавонад дар тамоми тӯли ҳаёт онҳоро

роҳнамои кунад. Чунин арзишҳо, ба мисли ҳамдигарфаҳмӣ, дастгирӣ ва хоҳиши расонидани кӯмак ба дигарон бешубҳа метавонанд сабаби бунёди ҷомеаи муттаҳиду адолатпарвар гардад.

Раванди фарогирӣ дар муассисаҳои таълимиву тарбиявӣ, пеш аз ҳама аз ворид намудани методҳои навтарин, роҳу технологияҳои муосирро талаб менамояд, ки дар натиҷаи ниҳой он метавонад сабаби асосии навовариҳои таҳсилоти, фасеҳӣ ва афзудани мутобикгардонии системаи маориф гардад.

Хусусияти дигари калидии ТФ аз он иборат мебошад, ки он қодир аст иштирок ва ҷалби волидайнӣ хонандагонро ба раванди таҳсилот васеу босамар гардонид, ҳамзамон ба бунёди ҷомеаи ҳаммаслак дар атрофи муассисаи таҳсилоти мусоидат намояд [1,12].

Бояд қайд намуд, ки фарогирӣ дар раванди таълимиву тарбия яке аз унсурҳои муҳими ҷомеаи муосир буда, на танҳо барои рушди инфиродии ҳар як хонанда, балки барои ташаккули муҳити одилонаву устувори иҷтимоӣ мусоидат менамояд.

Муқаррир: Муқимова С.Ғ. — доктори меъморӣ, и.в. профессор, мудири кафедраи меъморӣ ва шаҳрзозии ДҶТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Васькова, Т. В. Инклюзивное образование: теория и практика / Т. В. Васькова. — Москва: Педагогика, 2020. — 256 с.
2. Гришина, Т. А. Инклюзивное образование: международный и российский опыт / Т. А. Гришина. — Санкт-Петербург: РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. — 180 с.
3. Кудрявцева, Н. М. Инклюзивные практики в образовании: от теории к практике / Н. М. Кудрявцева. — Казань: Казанский университет, 2022. — 300 с.
4. Шевченко, И. А. Инклюзивное образование: подходы и реализация / И. А. Шевченко. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2021. — 220 с.
5. Стратегия миллии рушди маориф дар ҚТ то давраи соли 2030. — Душанбе, 2016. — 103 с.
6. Қонуни ҚТ «Дар бораи маориф» (АМОҚТ, с. 2013, № 7, мод. 532; с.2014, №3, мод.156; №7,қ.2, мод.422; с.2016, №3, мод.148,№7, мод.624)
7. UNESCO. The Salamanca Statement and Framework for Action on Special Needs Education. — Salamanca, 1994. — 38 p.
8. Абаев, З. Г. Социальная инклюзия в образовании: теоретические аспекты / З. Г. Абаев. — Тверь: Тверской государственный университет, 2019. — 150 с.
9. Дмитриева, В. И. Инклюзивное образование: проблемы и перспективы / В. И. Дмитриева. — Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 2020. — 275 с.
10. Гусева, Т. С. Инклюзивное образование: современный подход / Т. С. Гусева. — Москва: Издательство "Наука", 2022. — 195 с.
11. Савельева, Н. В. Психология инклюзивного обучения / Н. В. Савельева. — Санкт-Петербург: Питер, 2021. — 230 с.
12. Рожкова, А. И. Инклюзивное образование: теоретические и практические аспекты / А. И. Рожкова. — Казань: Издательство "Молодой ученый", 2020. — 190 с.

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

TJ	RU	EN
Муминов Ашрафҷон Раҳмоналиевич	Муминов Ашрафджон Рахмоналиевич	Muminov Ashrafjon Rakhmonalievich
унвонҷӯй	соискатель	applicant
Сохтмон ва меъморӣ	Строительство и архитектура	Construction and architecture
E-mail: ashrafjon-1997@mail.ru		
TJ	RU	EN
Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич	Хасанов Нозимшо Назокатшоевич	Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich
Доктори меъморӣ, профессор	Доктор арх., профессор	Dr. Arch., Professor
Сохтмон ва меъморӣ	Строительство и архитектура	Construction and architecture
E-mail: kapitelh@mail.ru		
TJ	RU	EN
Сафарзода Дилшод Ғанӣ	Сафарзода Дилшод Ганӣ	Safarzoda Dilshod Ghani
унвонҷӯй	соискатель	applicant
Сохтмон ва меъморӣ	Строительство и архитектура	Construction and architecture
E-mail: kapitelh@mail.ru		

ТДУ: 711.58 (575.3)

ОМИЛҲОИ БА ТАШАККУЛИ РУШДИ СИНТЕЗИ САНЪАТ ДАР МЕЪМОРӢ ТАЪСИРКУНАНДА

Ҷ.Ш. Ғанизода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳлилу таҳқиқи омилҳои ба ташаккули рушди синтези санъат дар меъморӣ таъсиркунанда бахшида шудааст. Дар доираи таҳқиқот ҷабҳаҳои таърихӣ, маданияву маърифатӣ, технологӣ ва инчунин иҷтимоӣ баррасӣ шудаанд, ки метавонанд барои интегратсияи намудҳои гуногуни санъат дар эҷодиёти меъморӣ мусоидат намоёнд. Диққати махсус ба нақши амалҳои бадеӣ, навовариҳои технологӣ ва муносибатҳои байнисоҳавӣ дода шудааст, ки он барои ташаккули объектҳои ҷолибу зебои меъморӣ мусоидат менамояд. Дар натиҷа тамоюлҳои асосӣ ва қонунияти рушди синтези санъат дар меъморӣ ба даст омада, тавсияҳо оиди истифодабарии омилҳо барои батанзимдарории равандҳои пешқадаму муосир ва балан бардоштани арзиши эстетикӣ ҳамаҷонибаи меъморӣ пешниҳод шудаанд. Дар таҳқиқот муҳимияти муносибати байнисоҳавӣ ва тарзу усулҳои навоварона ҷиҳати рушди минбаъдаи синтези санъату меъморӣ дар замони муосир дарҷ гардидааст.

Калидвожаҳо: синтез, санъат, меъморӣ, ҳайкалтарошӣ, ороиш, интегратсия

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИНТЕЗА ИСКУССТВ В АРХИТЕКТУРЕ

Д.Ш. Ғанизода

Данная работа посвящена исследованию факторов, оказывающих влияние на формирование и развитие синтеза искусств в архитектуре. В рамках исследования анализируются исторические, культурные, технологические и социальные аспекты, которые способствовали интеграции различных видов искусства в архитектурное творчество. Особое внимание уделяется роли художественных движений, инновационных технологий и междисциплинарных подходов, способствующих созданию гармоничных и выразительных архитектурных объектов. В результате работы выявлены основные тенденции и закономерности развития синтеза искусств в архитектуре, а также сформулированы рекомендации по использованию этих факторов для стимулирования креативных процессов и повышения эстетической ценности архитектурных решений. Исследование подчеркивает важность междисциплинарного подхода и инновационных методов для дальнейшего развития архитектурного синтеза искусств в современном контексте.

Ключевые слова: синтез, искусство, архитектура, скульптура, оформление, интеграция

FACTORS INFLUENCING THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE SYNTHESIS OF ARTS IN ARCHITECTURE

D.Sh. Ganizoda

This study is dedicated to exploring the factors influencing the formation and development of the synthesis of arts in architecture. The research analyzes historical, cultural, technological, and social aspects that have contributed to the integration of various art forms into architectural creativity. Special attention is given to the role of artistic movements, innovative technologies, and interdisciplinary approaches that foster the creation of harmonious and expressive architectural objects. As a result of the work, key trends and patterns in the development of the synthesis of arts in architecture are identified, and recommendations are formulated for utilizing these factors to stimulate creative processes and enhance the aesthetic value of architectural solutions. The study emphasizes the importance of an interdisciplinary approach and innovative methods for the further development of artistic synthesis in architecture within the modern context.

Keywords: synthesis, art, architecture, sculpture, design, integration

Синтези санъат дар меъморӣ, ҳамҷояшавии маҷмӯи намудҳои гунгунҷабҳаи санъат (меъморӣ, мусаввирӣ, ҳайкалтарошӣ, санъати ороишӣ ва ғайра) дар асар ва ё фазаи ягона ба ҳисоб меравад. Ҳадафи асосии он аз эҷоди эҳсосоти ҳамаҷонибаи муносиби фаза, ки дар он унсурҳои гуногуни бадеӣ якдигарро пурра ва мутаасир мегардонанд ва муҳити нодири эстетикӣ таъйиноти ташаккул медиҳанд, иборат мебошад. Дар эҷодиёти меъморӣ синтези санъат бо ворид намудани унсурҳои ҳайкалтарошӣ (мучассамаҳо) ва мусаввирӣ дар намои бино ва муҳити дохилаи он, дар тарҳрезии коркарди ороишӣ ва асноби ороишӣ бо назардошти ғояҳои меъморӣ таҷассум меёбад [1].

Синтези санъат дар меъморӣ як раванди интегратсионӣ унсурҳои гуногуни бадеӣ ва маданияву маърифати дар таҷрибаи меъморӣ буда, онро дар якҷанд марҳалаҳои калидии ташаккул тасаввур намудан имкон дорад.

Марҳалаи нахустини раванд ин марҳалаи концептуалӣ ба ҳисоб рафта, дар он ғояи асосӣ эҷодиёт ташаккул меёбад. Меъмор дар ин давра бояд на танҳо ба таҳқиқи ҷабҳаҳои таъиноти бино даст занад, балки мубрамияти эстетикӣ, маърифатӣ ва иҷтимоӣ онро низ, аз нуқтаи назари таҳассусӣ дарк намоёнд. Ҳамзамон, дар марҳалаи мазкур таҳлилу омӯзиши қаринаи объекти эҷодии меъморӣ бояд амалӣ гардида, таъсири ҷабҳаҳои гуногуни санъат (мусаввирӣ, ҳайкалтарошӣ, мусиқӣ ва ғайра) ба назар гирифта шавад.

Марҳалаи минбаъдаи раванди синтези санъат дар меъморӣ аз таҳқиқу таҳлили масъала иборат буда, дар он ҷамъоварӣ ва омӯзиши иттилоот дар бораи анъанаҳо, асосҳои маърифатӣ фаъолият ва истифодабарии объекти меъморӣ бояд амалӣ гардад. Инчунин, дар марҳалаи мазкур таҳлили ҳалли меъморӣ мавҷуда, услуби равиҳои бо намудҳои дигари санъат ҳамбастагӣ дошта, иҷро мегардад [2, 6].

Давраи сеюми раванд аз коркард, батанзиму расмиятдарории лоиҳаи меъморӣ бо назардошти эҷоди ангораҳо, амсилаҳои виртуалӣ, тасаввуроти графикӣ ва бадеӣ иборат буда, дар он ҳамҷояшавӣ, яъне интегратсияи санъат дар сатҳи маводу масолеҳ, шаклу рангубор, сохту таркиб ва унсурҳои ороишӣ

декоративӣ амалӣ карда мешавад. Марҳалаи мазкур дар ҷаҳони муосир бештар ҳамчун “дизайн ва лоиҳакашӣ” муаррифӣ гардидааст.

Бунёд ва амалисозии лоиҳаи меъморӣ марҳалаи муҳими раванди синтези санъат дар меъморӣ ба ҳисоб рафта, дар давраи мазкур дарку эҳсоси ҷиғанагии ҳамбастагӣ ва алоқамандии объекти сохташуда бо намудҳои дигари санъат, аллакай дар иншооти ба истифодадодашуда бояд ба назар гирифта шавад. Ҳамзамон, баъди ба анҷом расидани лоиҳаи бунёд дастрас намудани тақризу эродҳо аз ҷониби мутахассисони соҳа ва ҷомеа, таҳлили муваффақӣ ва барорнокии синтези санъат, баҳогузориҳои сатҳи амалишавии ғоя ва концепсияи пешбинигурдида муҳим мебошад [4,7,9].

Арзиши таъсири лоиҳаи амалишуда ба рушду нумуи минбаъдаи меъморӣ ва санъат, бо назардошти истифодабарии имконпазири малакаи ҳосилгардида дар фаъолият ва таҳқиқотҳои ояндаи соҳаи мазкур низ хело нақши муҳим дошта метавонад. Ҳар як марҳалаи болозикр метавонад дар ташаккули асари пурарзиши меъморӣ, ки дар қатори иҷрои вазифаҳои таъйиноти асосии худ, боз аҳамияти назарраси бадеӣ дорад, нақши арзандае гузоранд. Боиси зикр аст, ки синтези санъат дар меъморӣ зери таъсири як қатор омилҳои ҷиддӣ, ки метавонанд ҷӣ дохиливу ҷӣ беруна бошад, аз ҷумла: анъана, урфу одат ва таърихи маҳал, шароитҳои иҷтимоии ҷомеа, дастрасии технологӣ, омилҳои экологӣ, равияҳои бадеӣ ва фалсафавӣ, ҳамбастагӣҳои тахассусӣ ва инчунин дарку эҳсоси рухиву равонӣ ташаккул меёбад [10, 11].

Анъана, урфу одат ва таърихи маҳал, ки бевосита дар доираи онҳо асари меъморӣ эҷод мегардад, ба интиҳоби шакл, маводу масолеҳ ва унсурҳои дизайни меъморӣ таъсири назаррас доранд. Робитаву ҳамбастагӣ бо маданияту тарзи ҳаёти сокинон ва санъати маҳал имкон медиҳад иншооти меъморӣ муносибу мувофиқ эҷод карда шавад.

Сохтори иҷтимоӣ ва ниёзу эҳтиёҷоти ҷомеа вазифаҳои таъйиноти меъмориро муайян сохта, омилҳои иқтисодӣ, аз ҷумла захира ва буҷаи дастрас, метавонанд интиҳоби ҳалли меъморӣ-бадеиро маҳдуд созанд, ё баръакс барои ғанигардонии ғояи меъморӣ бо унсурҳои марбут ба санъат мусоидат намоянд.

Технологияҳои муосири сохтмонӣ ва истехсоли масолеҳҳо имкониятҳои меъморону лоиҳакашонро ҳамаҷониба васеъ намуда, барои амалисозии ғоя ва ҳалли мураккабу наоваронаи меъмориву бадеии онҳо мусоидат кунанд. Пайдо гардидани барномаҳои нав барои амсиласозӣ ва лоиҳакашӣ (масалан, CAD ва BIM), инчунин барои интегратсияи санъатҳои гуногунҷабҳа мусоидати амалӣ менамоянд.

Дар давраи ҷаҳонишавии муосир яке проблемаҳои мубрамтарини тамоми соҳаҳои иқтисодиёти кишварҳо, таъсири омилҳои экологӣ ба ҳисоб рафта, лоиҳакашӣ ва экологияи устувор ба ҷанбаи муҳими меъморӣ, ки ба интиҳоби масолеҳ ва технологияҳо, инчунин ҳамбастагии конструксияҳо бо муҳити атроф таъсири ҷиддӣ мерасонад, мубаддал гардидааст. Ҳамзамон, бояд қайд намуд, ки таъсири муҳити табиӣ атроф, ландшафт ва иқлими маҳали сохтмон ба ҳалли меъморӣ биноҳо ва иншооти сохташаванда назаррас мебошад [5].

Усулу равияҳои меъморӣ, инчунини ғояҳои назариявии фалсафа (масалан, функционализм, минимализм, меъморӣ органикӣ ва ғайра) ба синтези санъат таъсири ҷиддӣ расонида, афзоиш додани амалҳои муайяни бадеӣ, аз қабилӣ абстраксия, постмодернизм, суррреализм, постмодернизм ва ғайра метавонанд дар ҳалли меъморӣ нақши назаррас дошта бошанд.

Падидаи дигари муҳим дар раванди синтези санъат ва меъморӣ ҳамкориву ҳамгироии тахассусӣ ба ҳисоб меравад. Робитаҳои тахассусӣ байни меъморону рассомон, дизайнерони интерер ва мутахассисони дигари соҳа, боиси ғанигардонии лоиҳаҳои меъмориву сохтмонӣ бо ғоя ва муносибатҳои нав мегардад. Ҳамкорӣҳо бо арбобони шинохтаи маданияту санъат ва иштироки онҳо дар таҳияи лоиҳаҳои эҷодии меъморӣ метавонад самарائي назаррас дошта бошад.

Нуқтаи дигари муҳим дар синтези санъат ва меъморӣ психологияи идрок мебошад. Фаҳмиши он, ки инсоният фазо, ранг, шакл ва равшаниро ҷӣ гуна эҳсос менамоянд, метавонад дар қабули ҳалли мусоиди меъморӣ ва қисмати таркибии бадеӣ он таъсири назаррас расонада, эҳсосот ва рӯҳияву кайфияти инсон метавонад ҳамчун асос барои қабули ҳалли дурусту босамари меъморӣ гардад [9, 10].

Кулли омилҳои болозикр дар робита ва ҳамбастагии байниҳамдигарӣ қарор дошта, барои эҷоди шароитҳои нотақрору нодир ҷиҳати амалисозии синтези санъат дар меъморӣ мусоидат менамоянд.

Чуноне, ки қаблан дарҷ гардида буд, синтези санъат дар меъморӣ раванде мебошад, ки дар он фаъолияти меъморӣ намудҳои гуногуни санъатро, аз ҷумла: мусаввирӣ, мучҷамасозӣ, мусиқӣ, санъати театрӣ, адабиёт ва ғайраро бо ҳам пайваستا, як фазои мусоиду ҳамҷаворро ташкил медиҳад. Дар ин ҷода метавон як чанд намунаҳои ҷолибу назарраси соҳаро таҳлилу баррасӣ намоем.

Колисои ҷомеаи Нотр-Дам дар шаҳри Парижи Фаронса (Notre-Dame de Paris). Бинои мазкур дар таркиби худ дастовардҳои бузурги меъмориву ҳайкалтарошӣ ва истифодабарии шишабандии витражиҳои давраи готикии таърихи меъмориро дар бар гирифтааст. Таърих, меъморӣ, мучҷамасоҳо, шишабандиҳои витражи ва ҳатто муҳити атрофи он таҷрибаву малакаи бисёрҷанбаеро барои инсоният пешниҳод менамояд (расми 1).



Расми 1 - Колисои ҷомеъаи Нотр-Дам дар шаҳри Парижи Фаронса

Бино намунаи барҷастаи меъмории готикии баландпоя ба ҳисоб рафта, дорои хусусиятҳои хоси меъморий, ҳайкалтарошӣ, шишабандии витражӣ ва таърихӣ мебошад. Он яке аз машҳуртарин намунаҳои меъмории готикии фаронсавӣ ба ҳисоб рафта, ҳанӯз дар солҳои 1163-1345 сохта шудааст [10].

Мақбара - Масҷиди Тоҷмаҳал дар Ҳиндустон. Маҷмааи Тоҷмаҳал дар нимаи дууми асри XVII бо амри подшоҳ Шохҷаҳони I ба гиромидошти ҳамсараш Мумтоз-Маҳал, дар шаҳри Аграи Ҳиндустон бунёд гардидааст (расми 2). Он на танҳои муъҷизаи меъморий, балки намунаи муваффақонаи санъати боғпарварӣ, ҳайкалтарошиву ҷўбтарошӣ мебошад. Дар соли 1983 маҷмааи мазкур бо қарори ЮНЕСКО ба феҳристи мероси умумиҷаҳонӣ ва дар соли 2007 ба ҳайати “Ҳафт муъҷизаи нави ҷаҳон” шомил карда шудааст.



Расми 2 - Мақбара - Масҷиди Тоҷмаҳал дар Ҳиндустон

Театр дар шаҳри Генте, Белгия. Санъати меъмории бинои театри мазкур заминаи нотақроре дар саъати театрий ба ҳисоб рафта, он ҳанӯз дар соли 1897, тарафи шимолии майдони Синт-Баафсплейн шаҳри Генте бунёд гардидааст. Фазои дохилаи театр бо асарҳои эҷодии рассомону муҷҷамасозони машҳури ҳамон давра ороиш дода шудааст, ки онҳо як муҳити нодиру нотақрореро ба вуҷуд овардаанд.

Ҳоло бошад, бинои театр барои зиёда аз ҳазор тамошобинон пешбинӣ гардида, дар он намоишномаҳои опереу балет ва концертҳои мусиқии классикӣ ба сахна гузошта мешавад (расми 3).



Расми 3 - Театр дар шаҳри Генте, Белгия

Осорхонаи Соломон Гуггенхайм дар шаҳри Билбао, Испания. Намунаи дигари ҷолибу босамари синтези санъат дар меъмории муосир, бешубҳа осорхонаи Гуггенхайм дар шаҳри Билбаои давлати Испания ба ҳисоб меравад. Лоиҳаи осорхона аз ҷониби меъмори барҷаста Фрэнк Гери таҳия гардидааст. Бинои мазкур на танҳо ҳамчун намунаи беҳтарини санъати меъмории муосир ба ҳисоб меравад, балки он ҳамчун фазои намоиши асарҳои эҷодиёти санъати тасвирӣ ва муҷаммасозӣ хизмат менамояд. Низомии намоиш (экспозитсияи) ва меъмории дар он бо ҳам ҳамбастагии бевосита дошта, дарку эҳсоси навини санъатро барои тамошобинон пешниҳод намудааст (расми 4).



Расми 4 - Осорхонаи Соломон Гуггенхайм дар шаҳри Билбао, Испания

Бояд қайд намуд, ки дар таҷрибаи таърихиву муосири синтези санъат дар эҷодиёти меъмории бинову иншооти ниҳоят зиёд ба чашм расида, як қатори онҳо, аз қабili бинои маърифатии “Родина” дар шаҳри Москваи Россия, маркази ба номи Помпиду дар шаҳри Парижи Фаронса, фавораҳои Трев дар Рими Италия ва даҳҳо дигарон намунаи барҷастаи эҷодиёти ҳамгиронаи рассомону ҳайкалтарошон ва меъморон ба ҳисоб мераванд.

Дар кулли онҳо унсурҳои санъати тасвириву муҷаммасозӣ ва меъмории таҷассум ёфта, намунаҳои мазкур муҳимияту мубрамияти синтези намудҳои гуногуни санъатро дар ташаккул додани асарҳои нодирӣ хушӯҳанг, ки дорои қиммати маърифативу эстетикӣ мебошанд, ифода менамоянд.

Омилҳои ба ташаккули рушди синтези санъат дар меъмории таъсиркунанда аз ҷабҳаҳои фарҳангиву таърихӣ, навовариҳои технологӣ, ғояҳои эстетикӣ ва ҳамгироии байнисоҳавӣ иборат

мебошанд. Онҳо барои ташаккул додани ҳалҳои ҳамоҳангу муассири меъмории, ки намудҳои гуногуни санъати эҷодиро, ба монанди мусаввирӣ, муҷассамасозӣ, дизайн ва ғайраҳо бо ҳам мепайвандад, мусоидат менамояд. Дар натиҷаи ниҳой малакаи бою ғаний ва бисёрҷабҳаи меъмории рушд намуда, арзишҳои маънавию иҷтимоиро таҷассум менамоянд.

Муқарриз: Раҳматуллозода Ш.М. — Номзоди меъмории, и.в. дотсенти кафедраи дизайни муҳити меъмории ва тармим — и ДПЭП ба номи акадeмик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Каган, М.С. Морфология искусства / М.С. Каган. — Л.: Искусство, 1972. — 440 с.
2. Дизайн: очерки теории системного проектирования / Н.П. Валькова [и др.]. — Л.: ЛГУ, 1983. — 185 с.
3. Яловенко, А.А. Газтано Пеше. Между искусством и архитектурой / А.А. Яловенко // Частная архитектура. — 1999. — № 2.
4. Синтез искусств в архитектуре: сб. — М., 1963.
5. Громов, Е.С. Современный кинематограф и проблема синтеза искусств / Е.С. Громов // Кинематограф сегодня: сб. — М., 1967.
6. Синтез искусств и архитектура общественных зданий: сб. — М., 1974.
7. Аль-Нуман, Л.А. Витраж в архитектуре (проблемы синтеза витража и архитектуры): автореф. дис. ... канд. искусствовед.: 17.00.06 / Л.А. Аль-Нуман. — М., 2009 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.moskva-ipoteka.ru/secretslovari/page/36.html>.
8. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.33плюс1/Монументально-декоративное искусство разных стран/mht](http://www.33плюс1/Монументально-декоративное_искусство_разных_стран/mht).
9. Aspekt des Mabatabs im Künstlerischen Gesaraterscheinunssbild // Die Stadt als Geaamtkunatmerk. iäin Projekt des Instituts für Gesell30hafts - und Wirtachafths Kommunikation der HdK Berlin mit der Kunsthochschule 3t.Petersburg. Berlin. Шк, 1992, s. 119-122.
10. Notre-Dame de Paris — La grâce d'une cathédrale / Вен-Труа, Андре. — Страсбург: Nuée bleue, 2012. — 501 с. — (La Grâce d'une Cathédrale).
11. Об изобразительном модуле. //Вопросы композиции. Межвузовский сборник статей.-Ижевск,.1992.-с.28-45. В надзаг. :М-во науки,выси, ам. м техн.утолит. Р\$.УГУ.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Ғанизода Ҷамшед Шуҷоат	Ганизода Джамшед Шуджоат	Ganizoda Jamshed Shujoat
унвонҷӯй	соискатель	applicant
Соҳтмон ва меъмории	Строительство и архитектура	Construction and architecture
E-mail: jamna@mail.ru		

АМПЛИТУДНЫЕ СПЕКТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Д.Н. Низомов¹, И.И. Каландарбеков², И.К. Каландарбеков²

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ

²Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

Статья посвящена вопросам спектров различных землетрясений. По разработанной компьютерной программе на языке Фортран **SPECTRUM-12** получены результаты численного интегрирования для определения амплитудного спектра различных землетрясений. Приводится сравнение полученных результатов по совпадению энергии различных акселерограмм землетрясений. Из сравнения следует, что только в случае с акселерограммой El Centro имеется точное совпадение энергии, а в остальных имеет место погрешность от 1,03% до 9,7%. Эти погрешности связаны с выбранным отрезком времени, на котором строится амплитудный спектр. На основе разработанной компьютерной программы на языке Фортран «**R-SPECTRUM**» проведены численные эксперименты и получены спектры кинематических реакций от заданных акселерограмм землетрясений. Проведено отдельное исследование акселерограммы Japan-2011.

Ключевые слова: амплитудный спектр, синтезированная акселерограмма, амплитудно - частотная характеристика, численное интегрирование, коэффициент Симпсона, энергия землетрясения, спектральная плотность.

АМПЛИТУДАИ СПЕКТРҲОИ ЗАМИНЧУНБИҲОИ ҲАРХЕЛА

Ч.Н. Низомов, И.И. Қаландарбеков, И.Қ. Қаландарбеков

Мақола ба масъалаи спектрҳои ҳархелаи заминчунбиҳо бахшида шудааст. Дар асоси коркарди барномаи компютерӣ дар забони Фортран **SPECTRUM-12** натиҷаҳои адабии интегронӣ барои муайян намудани амплитудаи спектри заминчунбиҳои ҳархела ба даст оварда шудаанд. Муқоисаи натиҷаҳои бадаст оварда шуда оиди якҷояшавии энергияҳои заминчунбиҳои ҳархела оварда шудааст. Аз муқоисаҳо дида мешавад, ки танҳо акселерограммаи El Centro ҳамин шартро иҷро кардааст, вале дар дигарҳо ҳатогӣ аз 1,03% то 9,7% мавҷуд аст. Ин ҳатогӣ аз интиҳоби порчаи вақт, ки дар он спектри амплитуда сохта мешавад алоқамандӣ дорад. Дар асоси барномаи коркардшуда дар забони Фортран «**R-SPECTRUM**» таҷрибаи адабӣ гузаронидашуда натиҷаи аксуламали спектри кинематикӣ аз акселерограммаи додашудаи заминчунбӣ ба даст оварда шудааст. Таҳқиқоти алоҳида оиди акселерограммаи Japan-2011 гузаронида шудааст.

Калимаҳои калидӣ: спектри амплитудӣ, акселерограммаи сунӣ, таснифоти амплитудӣ-зудӣ, интегронии адабӣ, коэффиенти Симпсон, энергияи заминчунбӣ, зичии спектралӣ.

AMPLITUDE SPECTRUMS OF VARIOUS EARTHQUAKES

D.N. Nizomov, I.I. Kalandarbekov, I.K. Kalandarbekov

The article is devoted to the questions of spectra of various earthquakes. The results of numerical integration for determining the amplitude spectrum of various earthquakes are obtained using the developed computer program in the Fortran language **SPECTRUM-12**. Comparison of the obtained results for matching the energy of different earthquake accelerograms is given. From the comparison it follows that only in the case of El Centro accelerogram there is an exact coincidence of energy, and in the rest there is an error from 1.03% to 9.7%. These errors are related to the selected time interval on which the amplitude spectrum is plotted. On the basis of the developed computer program in Fortran language “**R-SPECTRUM**”, numerical experiments have been carried out and spectra of kinematic reactions from given accelerograms of earthquakes have been obtained. A separate study of Japan-2011 accelerogram was carried out.

Keywords: amplitude spectrum, synthesized accelerogram, amplitude-frequency response, numerical integration, Simpson coefficient, earthquake energy, spectral density.

Введение

Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, в том числе природного и техногенного характера, рассматривается как одно из ключевых направлений социально-экономического развития Республики Таджикистан. В особенности, значительное внимание уделяется вопросам повышения устойчивости зданий и сооружений к сейсмическим воздействиям, что приобретает особую актуальность с учётом высокой сейсмической активности региона.

Обеспечение сейсмостойкости строительных объектов и создание безопасных условий проживания на потенциально опасных в сейсмическом отношении территориях — это важнейшие инженерные и социальные задачи. Повышение устойчивости инфраструктурных объектов требует системного подхода, включающего как совершенствование нормативной базы, так и внедрение современных инженерных решений.

В этих условиях защита зданий и сооружений от сейсмических нагрузок приобретает первостепенное значение. Для достижения надёжных результатов необходимо активное развитие методов как теоретических, так и экспериментальных исследований. Это включает проведение численного моделирования, создание и отладку адекватных математических моделей, способных точно отражать поведение строительных конструкций под воздействием сейсмических колебаний.

Особое внимание следует уделять комплексным научным разработкам, направленным на изучение динамики зданий, развитие методов анализа устойчивости и долговечности конструкций, а также внедрение инновационных технологий, обеспечивающих повышенный уровень сейсмозащиты. Кроме того, важно наладить межведомственное и международное сотрудничество в области обмена опытом, передовыми инженерными решениями и научно-техническими достижениями [1–5].

Методы исследования

В данной задаче методом исследования является численное моделирование по построению амплитудных спектров.

Результаты исследования и обсуждения

Алгоритм численного решения по построению амплитудных спектров реализуется на примере 8 известных акселерограмм землетрясений, представленных на рис.1. В этих графиках ускорение представлено в безразмерном виде $\ddot{u}_0 / g$. Наряду с аналоговыми рассматривается и одна синтезированная акселерограмма СА-482.

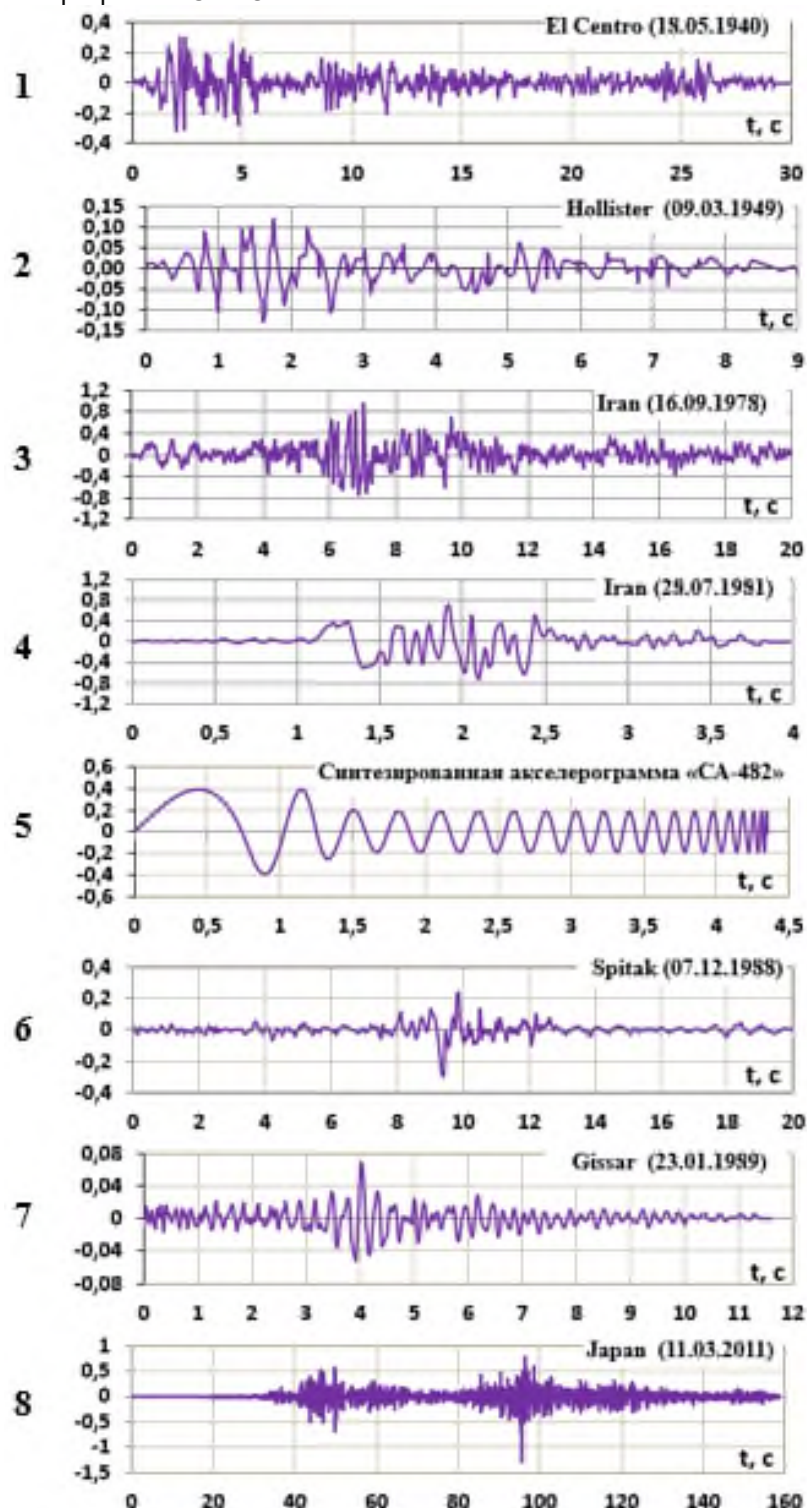


Рисунок 1 - Акселерограммы землетрясений, где ускорения представлены в долях g

В табл. 1 приведены основные характеристики рассматриваемых землетрясений, где t_d — продолжительность записи землетрясения, Δt — шаг оцифровки акселерограммы, $\ddot{u}_{0,\max}$ — максимальная амплитуда, M — магнитуда землетрясения.

Таблица 1 - Основные характеристики акселерограмм

№пп	Акселерограммы землетрясений	t_d , с	Δt , с	$\ddot{u}_{0,\max}$, см/с ²	М
1	El Centro 1940	31,2	0,02	313	7,2
2	Hollister 1949	8,99	0,01	128	-
3	Иранское 1978 г.	19,98	0,02	916	7,4
4	Иранское 1981 г.	3,98	0,02	709	7,1
5	СА-482	4,36	0,005	392	-
6	Спитакское 1988 г.	20,1	0,05	290	6,8
7	Гиссарское 1989 г.	11,6	0,025	68	5,5
8	Японское 2011 г.	158,72	0,08	1270	8,9

Разработана компьютерная программа на языке Фортран **SPECTRUM-12** и получены результаты численного интегрирования по определению амплитудного спектра для каждой акселерограммы. Шаг интегрирования методом Симпсона принят равным $\tau = \Delta t/2$. Шаг разбивки периода свободных колебаний равняется $\Delta T = 3/200 = 0,015$ с. Коэффициент Симпсона $k_p = \tau/3 = \Delta t/6$. На рис. 2 представлены графики амплитудного спектра, полученные для восьми акселерограмм.

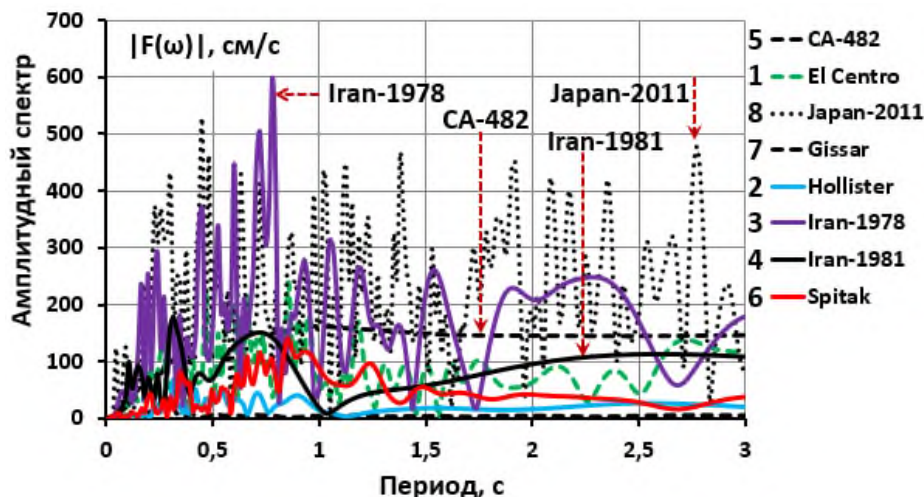


Рисунок 2 - Сопоставление амплитудных спектров акселерограмм различных землетрясений

Из полученных результатов следует, что амплитудно - частотная характеристика Иранского землетрясения 1978 г. и Японского землетрясения имеют достаточно сложный характер изменения, их наибольший максимум 598 см/с и 523 см/с соответствуют периодам $T = 0,78$ с и $T = 0,45$ с.

В Японском землетрясении наблюдается высокочастотный характер изменения амплитудного спектра на всем отрезке времени. Пики амплитудного спектра Иранского землетрясения 1978 г. соответствуют периодам в пределах $0,165 \leq T \leq 1,53$ с. В амплитудном спектре Спитакского землетрясения с максимальной амплитудой 140 см/с также отмечается высокочастотный проявления в периодах от нуля до одной секунды. Синтезированная акселерограмма СА-482 имеет относительно гладкий характер изменения с максимальной амплитудой 162 см/с.

Полная энергия землетрясения определяется из теоремы Парсеваля [4 с.83], согласно которой энергия при интегрировании квадрата временной функции во временном интервале равняется энергии при интегрировании квадрата модуля спектра амплитуд по всему интервалу частот $E_f = E_F$,

где

$$E_f = \int_{t=0}^{\infty} |f(t)|^2 dt, \quad (1)$$

$$E_F = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega. \quad (2)$$

С заменой $\omega = 2\pi / T$, $d\omega = -2\pi dT / T^2$, интеграл (2) можно записать в виде

$$E_F = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega = -2 \int_{\infty}^0 \frac{|F(T)|^2}{T^2} dT = 2 \int_0^{\infty} \frac{|F(T)|^2}{T^2} dT, \quad (3)$$

$$|F(\omega)|^2 = a^2(\omega) + b^2(\omega),$$

где $|F(\omega)|^2$ – спектральная плотность энергии или энергетический спектр. Интеграл (1) называется полной энергией функции $f(t)$. Численным интегрированием во временной области и в интервале частот, с заменой $\omega = 2\pi/T$, получены значения полной энергии. В табл.2 приведены результаты численного решения интегралов (2) и (3): N_A – число точек в оцифрованной акселерограмме, $\tau_A = \Delta t/2$ – шаг интегрирования во временном интервале, τ_F – шаг интегрирования в интервале времени, соответствующий амплитудному спектру

$$\tau_F = T/(N_T - 1),$$

где для всех амплитудных спектров принят: $T = 3$ с, $N_T = 201$ и $\tau_F = 0,015$ с, δ – относительная погрешность.

Из полученных результатов следует, что только в случае с акселерограммой El Centro мы имеем точное совпадение энергии, а в остальных имеет место погрешность от 1,03% до 9,7%. Эти погрешности связаны с выбранным отрезком времени T , на котором строится амплитудный спектр. Например, если принять $T = 10$ с, то погрешность в разности энергии для акселерограммы под номером 5 получается равным 3,2%.

Таблица 2 - Полная энергия землетрясений

№ пп	N_A	τ_A , с	E_f	E_F	δ , %
1	1560	0,01	$0,1075 \cdot 10^6$	$0,1075 \cdot 10^6$	0
2	900	0,005	$0,8302 \cdot 10^4$	$0,8389 \cdot 10^4$	1,03
3	1000	0,01	$0,6043 \cdot 10^6$	$0,6542 \cdot 10^6$	7,6
4	200	0,01	$0,1660 \cdot 10^6$	$0,1558 \cdot 10^6$	6,1
5	872	0,0025	$0,1553 \cdot 10^6$	$0,1401 \cdot 10^6$	9,7
6	402	0,025	$0,2813 \cdot 10^5$	$0,2741 \cdot 10^5$	2,5
7	465	0,0125	$0,1749 \cdot 10^4$	$0,1670 \cdot 10^4$	4,5
8	1985	0,04	$0,1257 \cdot 10^7$	$0,1197 \cdot 10^7$	4,7

Построение спектров кинематических реакций

На основе разработанной компьютерной программы на языке Фортран «R-SPECTRUM» проведены численные эксперименты и получены спектры кинематических реакций от заданных акселерограмм землетрясений $\ddot{u}_0(t)$. С целью подтверждения достоверности результатов была решена тестовая задача [6]. На рис.4 представлены спектры скоростей и псевдоскоростей, полученные от акселерограммы El Centro при различных значениях параметра затухания. Результаты, полученные при $\xi = 0,02$ сравниваются с данными [5], где приведены численные значения в in/sec (дюйм/с, 1 дюйм=2,54 см) при $T = 0,5; 1; 2$ с. Сравнение показывает практическое совпадение результатов.

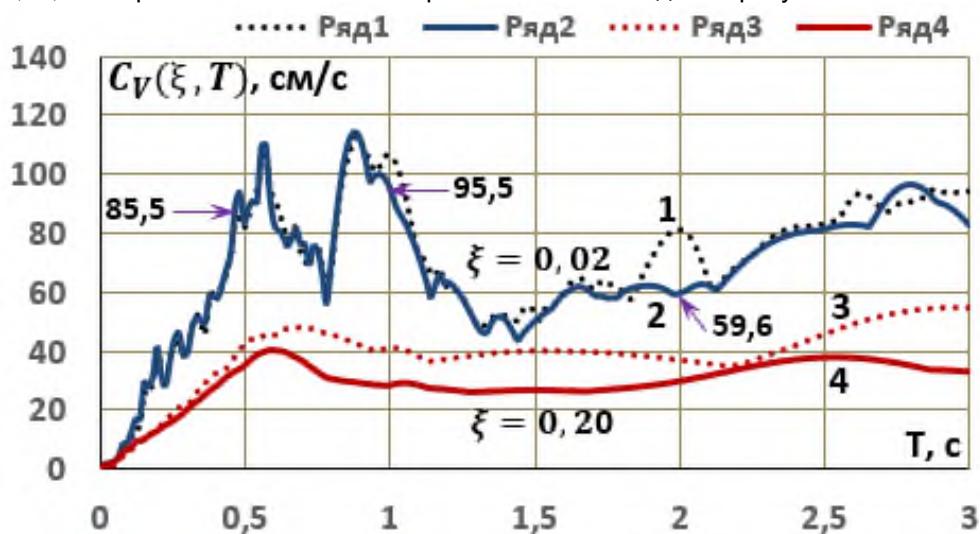


Рисунок 4 - Сравнение спектров скоростей при различных параметрах затухания (1, 3 – псевдоскорость; 2, 4 – действительная скорость) акселерограммы El Centro

Спектры скоростей C_V и смещений C_U можно получить из следующей зависимости [7].

$$C_W(\xi, T) = \omega C_V(\xi, T) = \omega^2 C_U(\xi, T), \quad (4)$$

$$C_V(\xi, T) = C_W(\xi, T) / \omega = \left| \omega [A(t) \sin \omega_1 t - B(t) \cos \omega_1 t] \right|_{\max_t}, \quad (5)$$

$$C_U(\xi, T) = C_W(\xi, T) / \omega^2 = |A(t) \sin \omega_1 t - B(t) \cos \omega_1 t|_{\max_t}, \quad (6)$$

здесь $C_V(\xi, T)$ называется спектром псевдоскорости [4,5].

На рис. 5 представлены спектры скоростей реакций, полученные по формуле (5) для различных акселерограмм при нулевом демпфировании. Сравнение этих графиков с данными амплитудного спектра Фурье (рис. 2) показывает их достаточно близкое соответствие, как по амплитудным, так и частотным характеристикам.

Спектры ускорений, представленные на рис. 6 показывают, что амплитуда спектра акселерограммы землетрясения Иран 1978 (кривая 2) примерно в три раза больше амплитуды спектра синтезированной акселерограммы СА-482 (кривая 4). Если разделить спектры (рис. 6) на ускорение $0,4g$, то например, спектральный коэффициент динамичности $\beta(\xi, T)$ для СА-482 будет иметь максимальное значение на отрезке от $T = 0,125$ до $T = 0,5$ с, равное примерно 3, а для акселерограммы Иран-1978 этот коэффициент при $T = 0,2$ с равняется 8,75.

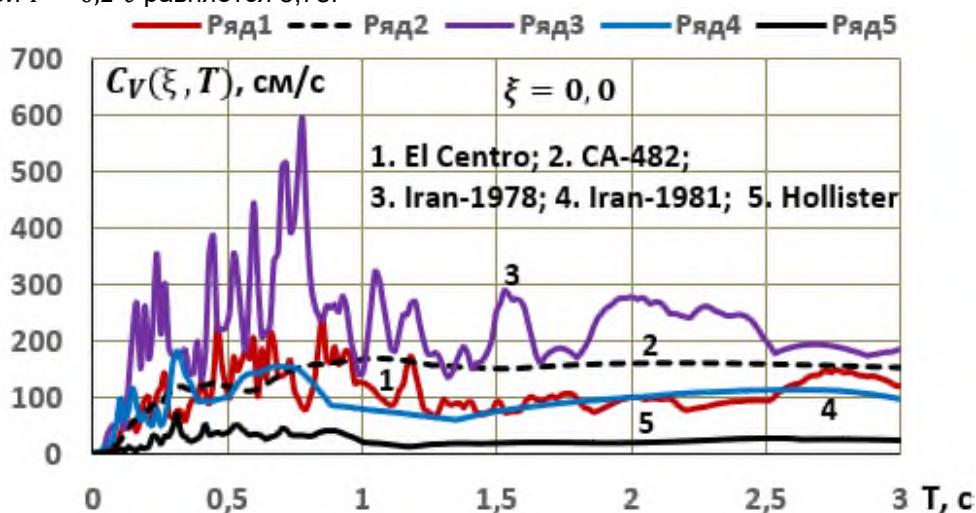


Рисунок 5 - Спектры скоростей реакций пяти акселерограмм при $\xi = 0$

На рис. 6 представлены спектры ускорений реакций различных землетрясений. Видно, что пиковые значения ускорений для всех акселерограмм соответствуют периодам в пределах от 0,05 до 0,75 с.

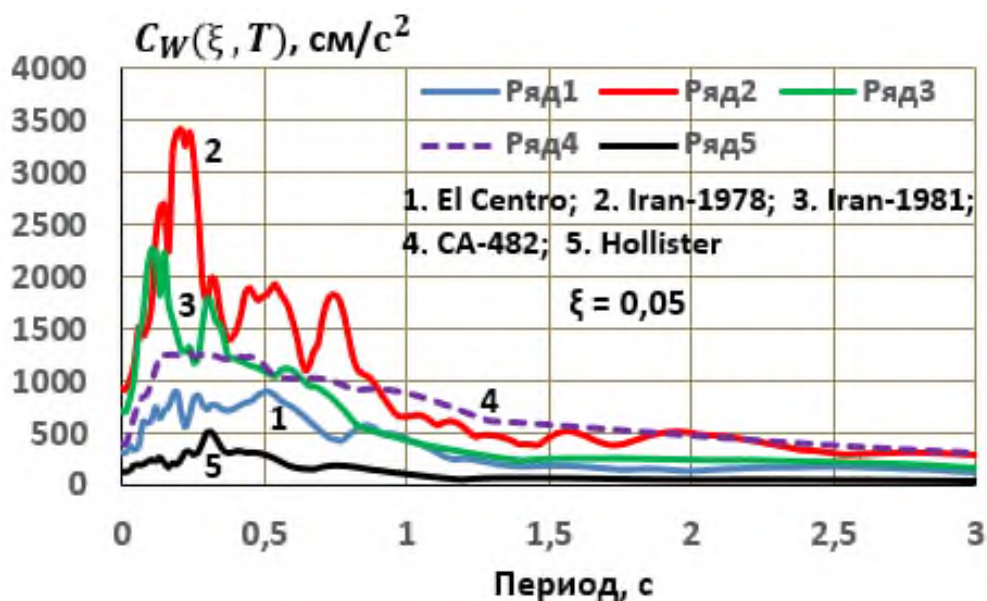


Рисунок 6 - Сравнение спектров ускорений пяти акселерограмм при $\xi = 0,05$

На рис.7 и 8 представлены спектры псевдоскоростей и псевдоперемещений четырёх акселерограмм при $\xi = 0,05$

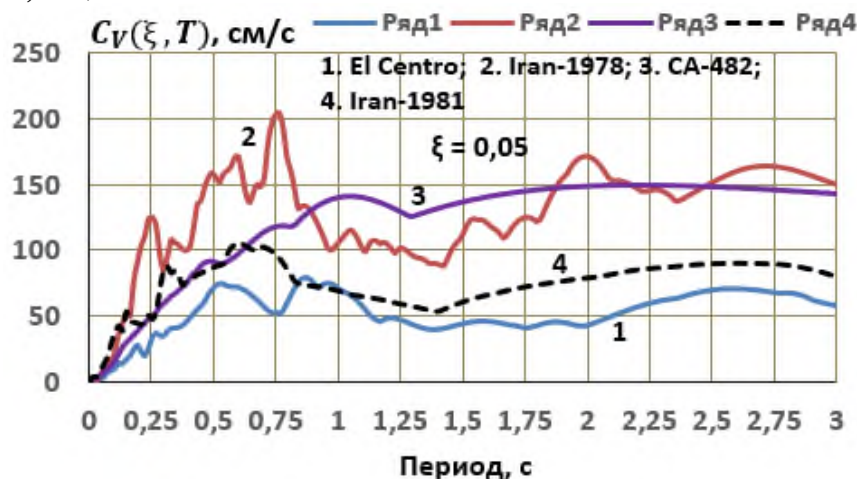


Рисунок 7 - Спектры псевдоскоростей четырёх акселерограмм

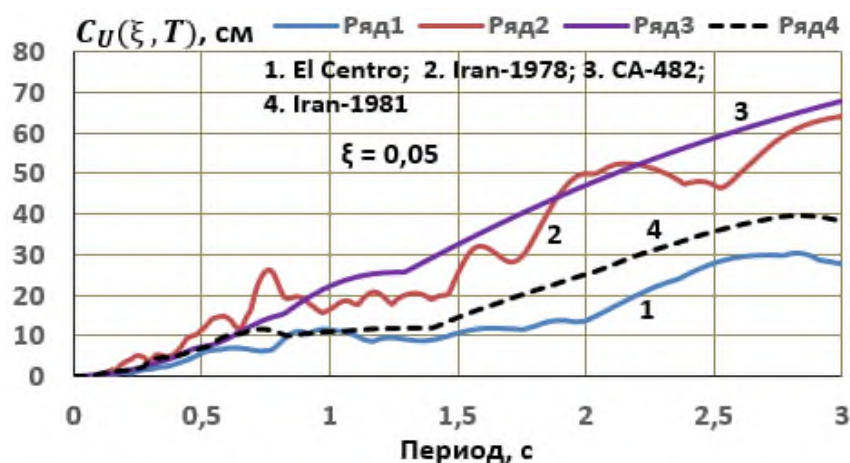


Рисунок 8 - Спектры перемещений четырёх акселерограмм

Было проведено отдельное исследование акселерограммы Япон-2011. Данная акселерограмма, оцифрованная с шагом $\Delta t = 0.08\text{с}$, имеет продолжительность $t_A = 158,72\text{с}$ (рис.1). Пиковые значения ускорений, равные $1,29g$ и $0,77g$, соответствуют моментам времени $95,68\text{с}$ и $96,48\text{с}$. На рис.9 представлены спектры ускорений, скоростей и перемещений. Максимальные ускорения, равные $C_W = 6960\text{ см/с}^2 = 7,1g$ и $C_W = 2780\text{ см/с}^2 = 2,8g$, соответствуют периодам $T = 0,045\text{с}$ и $T = 0,24\text{с}$. Максимальное значение спектра ускорений Японского землетрясения 11.03.2011 г. в два раза больше чем спектр ускорения Иранского землетрясения 16.09.1978 г.

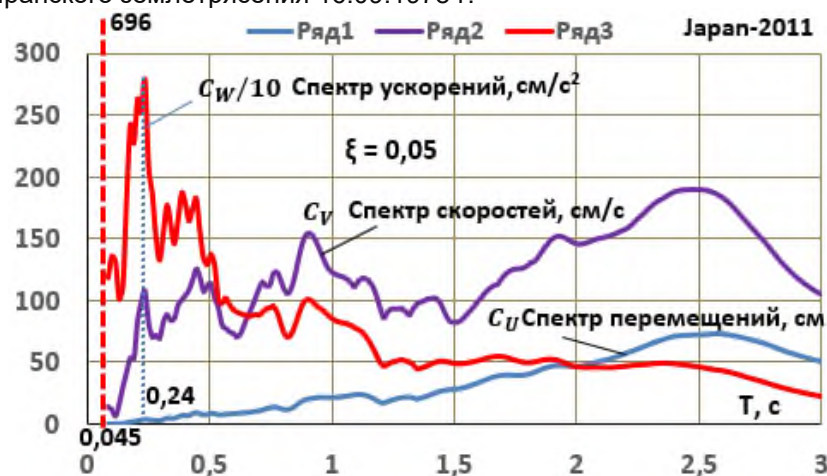


Рисунок 9 - Спектры перемещений, скоростей и ускорений акселерограммы Японского землетрясения

Вывод

На основе полученных результатов можно заключить, что разработанные алгоритмы и программы численного построения спектров сейсмических колебаний дают возможность проводить исследования по спектральному анализу сейсмических воздействий.

Рецензент: Зарифов С.С.—кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Низомов, Д.Н. Численное моделирование сейсмоизолированных зданий с сухим трением / Д.Н. Низомов, И.К. Каландарбеков, И.И. Каландарбеков // ДАН РТ. 2017. Т. 61, № 1. С. 47–53.
2. Каландарбеков, И.К. Сравнительный анализ различных типов сейсмоизоляции в многоэтажных зданиях / И.К. Каландарбеков, Д.Н. Низомов, И.И. Каландарбеков // Известия АН РТ. 2016. № 4 (165). С. 58–64.
3. Низомов, Д.Н. Компьютерная программа численного решения динамической задачи сейсмоизолированного здания со скользящим поясом / Д.Н. Низомов, И.К. Каландарбеков, И.И. Каландарбеков // Патент РТ, № 78 от 11.03.2019.
4. Маркус, Бат Спектральный анализ в геофизике/ Бат Маркус – М.: «Недра», 1980. – 535 с.
5. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкости строительства / Н. Ньюмарк, Э.Розенблюэт. Пер. с англ. Г. Ш. Подольского; под. ред. Я. М. Айзенберга. - М. Стройиздат, 1980. – 344 с.
6. Завриев, К.С. Сейсмостойкость зданий / К.С. Завриев. – Тбилиси, 1970. – 82 с.
7. Chopra, A.K. Dynamics of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering / A.K. Chopra //University of California at Berkeley Fourth Edition, 2012. – 980 p.

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

TJ	RU	EN
Низомов Чахонгир Низомович	Низомов Джахонгир Низомович	Nizomov Jachongir Nizomovich
Доктори илмҳои техники, профессор	Доктор технических наук, профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Институти геология, сохтмони ба заминчунӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана	Institute of Geology, Seismic Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: tjees@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Kalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техники, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of Technical Sciences,
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академик М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
E-mail: iftikhor791@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Kalandarbekov Imomyorbek Kalandarbekovich
Доктори илмҳои техники, профессор	Доктор технических наук профессор	Doctor of Technical Sciences 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		

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНОВ

М.Ш. Набизода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье представлены исследования модели пространственной конструкции покрытий из неразрезных железобетонных оболочек положительной гауссовой кривизны применительно к сейсмическим регионам.

Ключевые слова: исследование, моделирование, арматура, неразрезность, масштаб, пологая оболочка, сейсмика.

МОДЕЛСОЗИИ ЧИЛДҲОИ ЯКЛУХТИ ОҲАНУБЕТОНИИ ФУРҲАМИДА БАРОИ МАҲАЛҲОИ ЗАМИНЛАРЗА

М.Ш. Набизода

Дар мақолаи мазкур тадқиқоти модели конструксияҳои фазои чилдҳои моили яклухти оҳанубетони фуруҳамида нисбат ба минтақаҳои сейсмиқӣ оварда шудааст.

Калидвожаҳо: тадқиқот, модели физикӣ, моделсозӣ, арматура, яклухт, миқёс, чилдҳои фуруҳамида, сейсмика.

MODELING OF CONTINUOUS REINFORCED CONCRETE SHELLS FOR SEISMIC AREAS

M.SH. Nabizda

This article presents a study of a model of the spatial design of coatings made of continuous reinforced concrete flat shells of positive Gaussian curvature in relation to seismic regions.

Keywords: research, modeling, reinforcement, continuity, scale, shallow shell, seismic.

Введение

Технические объекты, в том числе пространственные конструкции, должны управляться с учетом конкретных требований на каждом этапе, от их создания до использования. Эти требования формируются нормативной, технической и проектной документацией. Методы моделирования широко используются для изучения свойств реальных объектов. Модели делятся на две категории: физические модели и абстрактные модели.

Физическая модель - пологих оболочек часто производят в уменьшенном виде, а с помощью инструментов изучают параметры, характеризующие реакцию конструкции на воздействия конкретных типов нагрузки [8].

На этапе проектирования пологих оболочек для изучения их статических и динамических характеристик и свойств используются масштабные уменьшенные модели пространственных конструкций покрытия.

Абстрактные модели порой являются сложным сочетанием феноменологических представлений о взаимодействии объекта с внешней средой, информационных моделей входных и выходных сигналов изучаемого объекта, абстрактного языка математических соотношений, моделирующих физические процессы функционирования технического объекта.

Абстрактная модель — это сложное сочетание феноменологических представлений о взаимодействии объекта с его внешней средой, информационной модели входных и выходных сигналов исследуемого объекта и абстрактного языка математических связей, моделирующих физические процессы функционирования объекта. Возможно технического гоъекта [5].

Абстрактные модели позволяют думать о технических объектах как о системах, которые можно разложить на отдельные подсистемы в зависимости от цели и задач изучения объекта.

Модели, основанные на феноменологии создают представления о характере влияния факторов внешней среды на технический объект. К таким факторам относятся температура и климат, ветер, землетрясения, воздействия деформации местности, транспортные нагрузки и т. д. Обычно модели основанные на феноменологии различают статические и динамические нагрузки и воздействия, представив их в виде конкретных силовых и деформационных нагрузок. Модели обоснованные феноменологии выражают современные представления о свойствах внутренней упругости и нелинейного поведения материалов, геометрической нелинейности свойств конструкций, передаче сил при контакте между различными элементами системы.

С помощью физического моделирования исследована пространственная конструкция, состоящая из неразрезных пологих оболочек.

Натурные квадратные пологие оболочки положительной гауссовой кривизны имеют размеры в плане 18х18, 24х24 и 30х30м каждая. Для дальнейших исследований принимаем оболочки 24х24м, которые предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размеры натуральных квадратных пологих оболочек положительной Гауссовой кривизны

№	Длина железобетонных оболочек, м.	Стрела подъема по контуру оболочки, м.	Толщина плиты поля оболочки, м.	Ширина приконтурной зоны, м.	Угловой толщина оболочки, м.
1.	L= 24	f1= 2,4 f= 4,8 м	δп= 0,08	впр = 2,4	δугл = 0,1

Поверхность железобетонной оболочки является гладкой.

Плиту поля армируют двумя слоями сварной сетки из гладкой стержневой горячекатаной арматуры класса. А-I – 200/200/5/5 с $A_s = 1,96 \text{ см}^2$ на 1 п. м.

Приконтурную зону оболочки шириной $b_{пр} = \xi L = 0,1L = 2,4$ м, где действуют изгибающие моменты, армируют двумя слоями сварных сеток 250/100/5/8 из арматуры класса В_p – I (d=5 мм) и А-III (d=8 мм) соответственно. При этом ширина сеток принята 2,7 м. Арматура класса А-III (d=8 мм) является рабочей и укладывается перпендикулярно контуру оболочки [6].

В угловых зонах оболочки фиксируется наклонная рабочая арматура, соединенная в сетку, для основных восприятий растягивающих напряжений. Эти сетки с размерами ячейки 200 x 100 мм также укладываются в два слоя. В качестве рабочей арматуры принимается стержневая арматура диаметром d=8 класса А-III, диаметр конструктивной арматурой - d=5 из обыкновенной арматурной проволоки периодического профиля класса В_p -1.

Для создания защитного слоя бетона по зонам сжатия и растяжения и определенному расстоянию между сетками необходимо перед монтажом две сетки соединить поперечной арматурой. Характеристика поперечной арматуры зависит от толщина оболочки (рис. 1).

Стальные фермы являются одним из главных элементов пространственных конструкции неразрезной оболочки– диафрагмы с верхним поясом в виде швеллера №30, а в местах примыкания двух оболочек из двух швеллеров №30, при общей ферме – диафрагме для обеих оболочек в пределах температурного блока [7].

“Вся поверхность оболочки должно быть армирована сеткой (армирование типа IV). Это необходима для уменьшения деформации из-за усадки бетона, ползучесть и колебания температуры, это также для обеспечения прочности оболочки во время изгиба, временная нагрузка может быстро меняться (например, при уборке с поверхности снега) или местное размещение установленной монтажных нагрузок. Эту арматуру устанавливают в виде сетки с шагом стержней 20-25 см в количестве не менее 0,2% от бетонной части” [4].

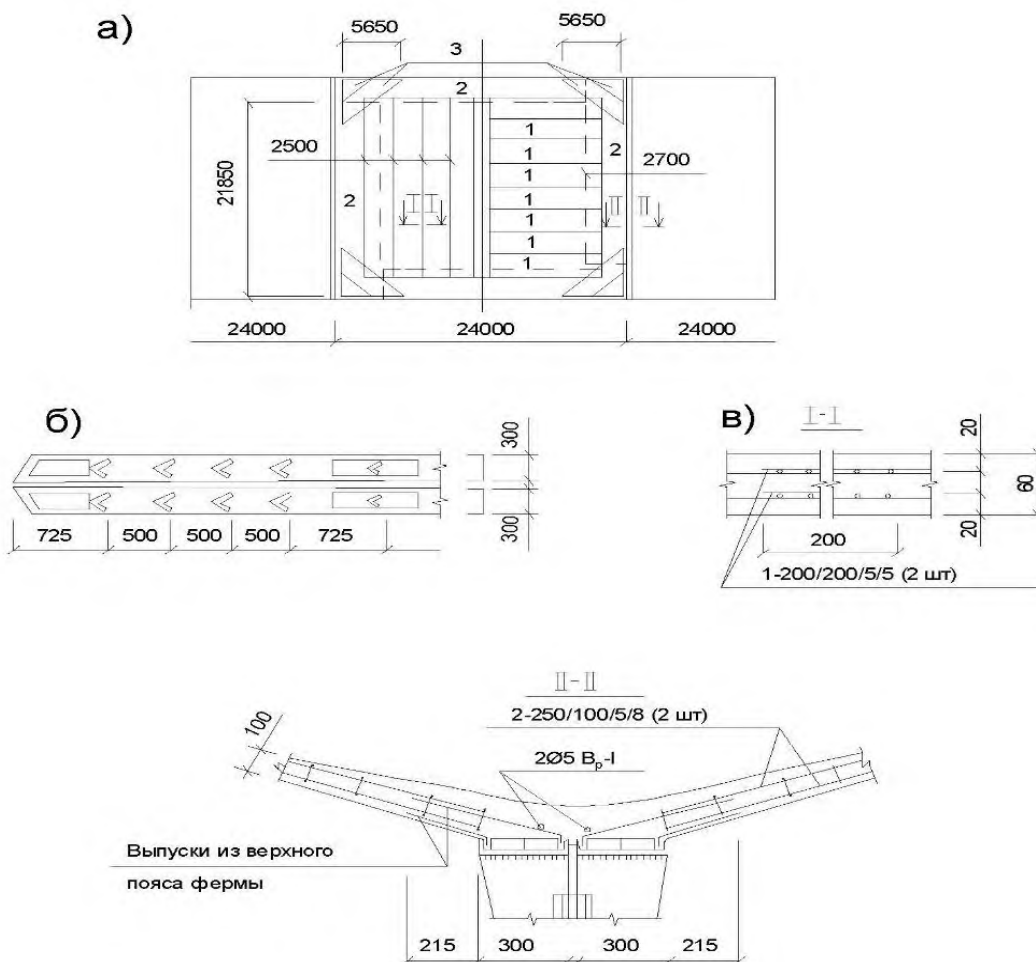


Рисунок 1 – Конструкции естественных неразрезных пологих оболочек размерами 24 x 24 м каждая: а) схема армирования; б) конструкция верхнего пояса ферм –диафрагм двух смежных оболочек; в) армирование плиты поля оболочки; г) узел стыка плит двух оболочек с верхними поясами ферм-диафрагм; 1 – сетка плиты поля 200/200/5/5; и2 – сетки приконтурной полосы 250/100/5/8; 3 – угловая сетка; 4 – накладка 250x500x12 мм; 5 – тоже 250x600x12 мм; 6 – шпонка; 7 – прокладка; 8 – решётка фермы-диафрагмы; 9 – ферма-диафрагма; 10 – косынка

“Конструкция квадратной в плане монолитной неразрезной железобетонной оболочки положительной гауссовой кривизны рассчитана в соответствии с руководством” “Каталогом рабочих чертежей пологих комбинированных оболочек положительной кривизны 18х18, 24х24, 30х30 м, выпущенным Госстрой Таджикской ССР в 1980 г” [2,8].

Для моделирования неразрезных пологих оболочек принимаем масштаб 1:10, т.е. 2,4х2,4 м каждая. Принимаем однопролетное трёхволновое монолитное покрытие размерами в плане 7,2х2,4 м. Радиус кривизны оболочек 3,12 м.

Для проведения статических и динамических испытаний и определения их параметров необходимо изготовить модели неразрезных пологих оболочек. Толщина моделей неразрезных оболочек играет важную роль при определении динамических параметров пространственной конструкции. Для изготовления трёх моделей неразрезных пологих оболочек были изготовлены три деревянных опалубок (рис. 2 и 3). Размеры каждой модели оболочки 2,4х2,4 м в плане (Рис. 3) [4].



Рисунок 2 – Изготовление деревянной опалубки для армирования



Рисунок 3 – Деревянная опалубка готова к армированию

”Оболочка должна содержать достаточно крепкую рабочую арматуру, функциональное усилие в угловых областях (типа I). Она рассчитана и размещена в соответствующих зонах $N_{гп1}$, с основными растягивающими главными усилиями. Основное сжимающее давление не должно превышать $R_{пр}$, и главное растяжение - $0,2 R_{пр}$. В местах, где основные растягивающие напряжения превышают R_p , они должны полностью восприниматься армирующей сеткой” [3].

Для бетонирования моделей изготавливаем деревянные опалубки и устанавливаем восемь металлических колонн. Перед бетонированием поверхность опалубки смазывалась, укладывались и натягивались арматурные сетки плиты поля, приконтурной и угловых зон модели неразрезной оболочки.

Запуски привязывались к каркасу бортовых элементов. Наружные щиты опалубки устанавливали и закрепляли к основной опалубке оболочки. Затем производилось бетонирование модели неразрезной оболочки.



Рисунок 4 – Подготовка и установка приборов для определения статических нагрузок

Образцы в виде – куба изготавливались размерами сторон 100 x 100 x 100 мм, 150 x 150 x 150 мм, призмы размерами 100 x 100 x 300 мм из этого же состава бетона, которые хранились в тех же условиях что и модели неразрезной оболочки.

После бетонирования модели и схватывания бетона поверхность модели оболочки покрыли слоем мокрых опилок и периодически их поливали водой. Тем самым достигнута равномерная усадка бетона. Через 7 суток после бетонирования производилась распалубка модели оболочек.

Произвели испытание кубов и призм.

Выводы

1. С помощью физического моделирования исследована пространственная конструкция, состоящая из неразрезных пологих оболочек, которые на сегодняшний день являются актуальными.

2. На этапе проектирования пологих оболочек для изучения их статических и динамических характеристик и свойств используются масштабные уменьшенные модели пространственных конструкций покрытия.

Рецензент: Каландарбеков М.К. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ЛПТУ им. акад. М.С.Осими

Литература

1. Чиненков Ю.В. Методика исследования оболочек и складок покрытия на железобетонных моделях. -М.: Стройиздат, 1974.
2. Каталог рабочих чертежей пологих комбинированных оболочек положительной кривизны 18x18, 24x24, 30x30 м, выпущенным Госстрой Таджикской ССР в 1980.
3. М.Ш. Набизода Конструирование пространственных железобетонных
4. покрытий в виде пологих оболочек. //Политехнический вестник Страницы: 167- 171

5. Руководство по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий\НИИЖБ.-М, 1979. -421 с.
6. Быкова Н.М., Баранов Т.М., Темиргалиев В.А. Моделирование и расчёт мостов на статические и динамические нагрузки и воздействия, 2016 – 240с.
7. О.Р Нуманов, МШ Набизода, АС Сангинов Расчёт пологих оболочек по безмоментной теории. // - Политехнический вестник. Страницы: 131-137
8. О.Р. Нуманов, АС Сангинов, МШ Набизода Материалы для пространственных конструкций покрытия. . //Политехнический вестник Страницы: 137-141
9. М.Ш. Набизода, О.Р. Нуманов Исследование статически загруженной неразрезной железобетонной полой оболочки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Набизода Мухаммадтаиби Шариф	Набизода Мухаммадтаиби Шариф	Nabizoda Muhammadtaibi Sharif
Муаллими калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С.Осими	TTU named after acadevician M.S.Osimi
E-mail: nabizoda-90@mail.ru		

ВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА КРЕПЛЕНИЯ И БЕТОННАЯ ОБЛИЦОВКА В ЗОНЕ РАЗЛОМА ИОНАХШ ТОННЕЛЯ СТ-3 РОГУНСКОЙ ГЭС

¹Н.М. Хасанзода, ²М.Х. Мехрубонов, ¹М.С. Ахмаджонов, ¹Х.Д. Музафаров

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими¹

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана²

В статье приведен график соотношения радиуса пластичной зоны к радиусу тоннеля в зависимости от соотношения прочности массива горных пород к ин-ситу напряжения. Этот график показывает, что размер пластичной зоны увеличивается очень быстро, как только прочность массива горных пород падает ниже 20% прочности массива. Практический опыт показывает, что после того как этот этап быстрого роста зоны пластичности наступает, становится очень трудно контролировать стабильность тоннеля. Согласно этому графику перед установкой поддержки в зоне Ионахшского разлома радиус пластичной зоны почти в 3,2 раза больше радиуса тоннеля. Исходя из этого графика, эта толщина пластичной зоны будет оказывать высокое давление на окончательную обделку. Поэтому необходимо установить временную поддерживающую систему для контроля смещений и развития пластичной зоны.

Ключевые слова: геологические и геотехнические условия, тоннель, горные породы, напряжения, тектоника, разлом Ионахи, пластичная зона.

СИСТЕМАИ ВАСЛУНИИ МУВАҚҚАТӢ ВА РӢЙПӢШИ БЕТОНӢ ДАР МИНТАҚА ШИКАСТӢ ИОНАХШ НАҚБИ СТ-3-и НБО РОҒУН

Н.М. Ҳасанзода, М.Х. Мехрубонов, М.С. Ахмадҷонов, Х.Д. Музафаров

Дар мақола графики таносуби радиуси минтақаи пластикӣ ба радиуси нақб вобаста ба таносуби қувваи массаи ҷинсҳои кӯҳӣ ба шиддати дохилӣ оварда шудааст. Ин график нишон медиҳад, ки андозаи минтақаи пластикӣ баробари паст шудани қувваи массаи ҷинсҳои кӯҳӣ аз 20 ғоизи қувваи массив ҳеле зуд меафзояд. Таҷрибаи амалӣ нишон медиҳад, ки баъди ба амал омадани ин марҳилаи афзоиши босуръати минтақаи пластикӣ назорат кардани устувории нақб ҳеле душвор мегардад. Мувофиқи ин график пеш аз гузоштани таъягоҳ дар минтақаи шикасти Ионахша радиуси минтақаи пластикӣ аз радиуси нақб қариб 3,2 баробар зиёд аст. Дар асоси ин график, ин ғафсии минтақаи пластикӣ ба қабати ниҳойи фишори баланд мерасонад. Аз ин рӯ, барои назорат кардани ҷойивазкунии ва рушди минтақаи пластикӣ системаи муваққатии дастгирӣ таъсис додан лозим аст.

Калидвожаҳо: шароити геологӣ ва геотехникӣ, нақб, ҷинсҳои кӯҳӣ, шиддатҳо, тектоника, шикасти Ионахш, минтақаи пластикӣ.

TEMPORARY BRACING SYSTEM AND CONCRETE LINING IN THE IONAKHSH FAULT ZONE OF THE DT-3 TUNNEL OF ROGUN HPP

N.M. Hasanzoda, M.H. Mehrubonov, M.S. Akhmadjonov, Kh.D. Muzafarov

This paper presents a graph illustrating the relationship between the radius of the plastic zone and the tunnel radius, depending on the ratio of rock mass strength to in-situ stress. The graph indicates that the size of the plastic zone increases sharply when the rock mass strength drops below 20% of its original value. Field experience confirms that once this rapid expansion of the plastic zone begins, maintaining tunnel stability becomes extremely challenging. According to the graph, prior to the installation of support in the Ionakhsh fault zone, the plastic zone radius is approximately 3.2 times larger than the tunnel radius. This considerable thickness of the plastic zone is expected to apply significant stress to the final concrete lining. Therefore, a temporary support system is necessary to control displacements and limit the further development of the plastic zone.

Keywords: geological and geotechnical conditions, tunnel, rock mass, in-situ stress, tectonics, Ionakhsh fault, plastic zone.

Введение

Тектонический разлом - это одно из геологических образований. Следует отметить, что такие разрушения возникают в результате перемещения земной коры. Земная кора состоит из больших и малых плит, которые называются литосферными плитами. Когда эти плиты движутся, они могут сталкиваться друг с другом, разделяться, перемещаться в разных направлениях. В результате таких движений формируются различные геологические структуры, включая тектонические нарушения.

Плотина Рогунской ГЭС находится в центральной горной части Таджикистана, где преобладают высокогорные хребты с интенсивной складчатостью осадочных пород под воздействием высоких тектонических напряжений. Этот район является тектонически активным, с крупными разломами в непосредственной близости от объекта - региональные разломы Гиссар-Кокшал и Илляк-Вахш, а также сравнительно менее значительные разломы Ионахш и Гулизиндан [9,10].

Согласно данным HYDROPROJECT, 1861-2-II-3, водосбросный тоннель СТ-3 пересекает Ионахшский разлом средней толщины 1-3 м. Это происходит сразу после пересечения тектонических линз на верхнем бьефе, где присутствуют обломки горных пород с аргиллитами. При разработке проходки тоннеля СТ-3 толщина разлома Ионахш была измерена в диапазоне от 5 до 7 м. Ориентация разлома Ионахш составляет 130-140°/70-90° с наклоном в сторону нижнего бьефа.

Сейсмическая активность разломов была подтверждена ранее: геодезические измерения выявили медленное ползучее смещение со средними скоростями 1–2 мм/год вдоль разломов Ионахш и Гулизиндан. Кроме того, в разломе Ионахш присутствуют соляные породы. Средняя вертикальная скорость смещения стенок разлома Ионахш составляет 1,8 мм/год, тогда как внутри тектонической линзы она достигает 2,8 мм/год.

По данным исследований, вдоль разлома Ионахш зафиксировано сейсмическое смещение 1 м, а за последние 100 лет совокупное вертикальное перемещение составило 0,28 м [1-6].

Как показано на рисунке 1, водосбросный тоннель проходит через зону разлома Ионахш. В этом районе угол падения слоёв составляет около 75°.

Таблица 1 – Литология и состояние перекрывающих пород вдоль исследуемого участка тоннеля СТ-3

Горная порода	Литологическое описание	Толщина в трассе тоннеля (м)	Пикетаж		Вскрышные породы		
			От	До	Мин.	Макс.	Средний
Тектоническая зона разлома Ионахш	плотная, слоистая порода с вкраплениями гипса в виде тонких прожилков	1 м	0+758	0+780.61	310	326	318
	чередование песчаника (77,9%) и алевролита (22,1%)	5–7 м (зона разрушения)	0+758	0+780.61	310	326	318

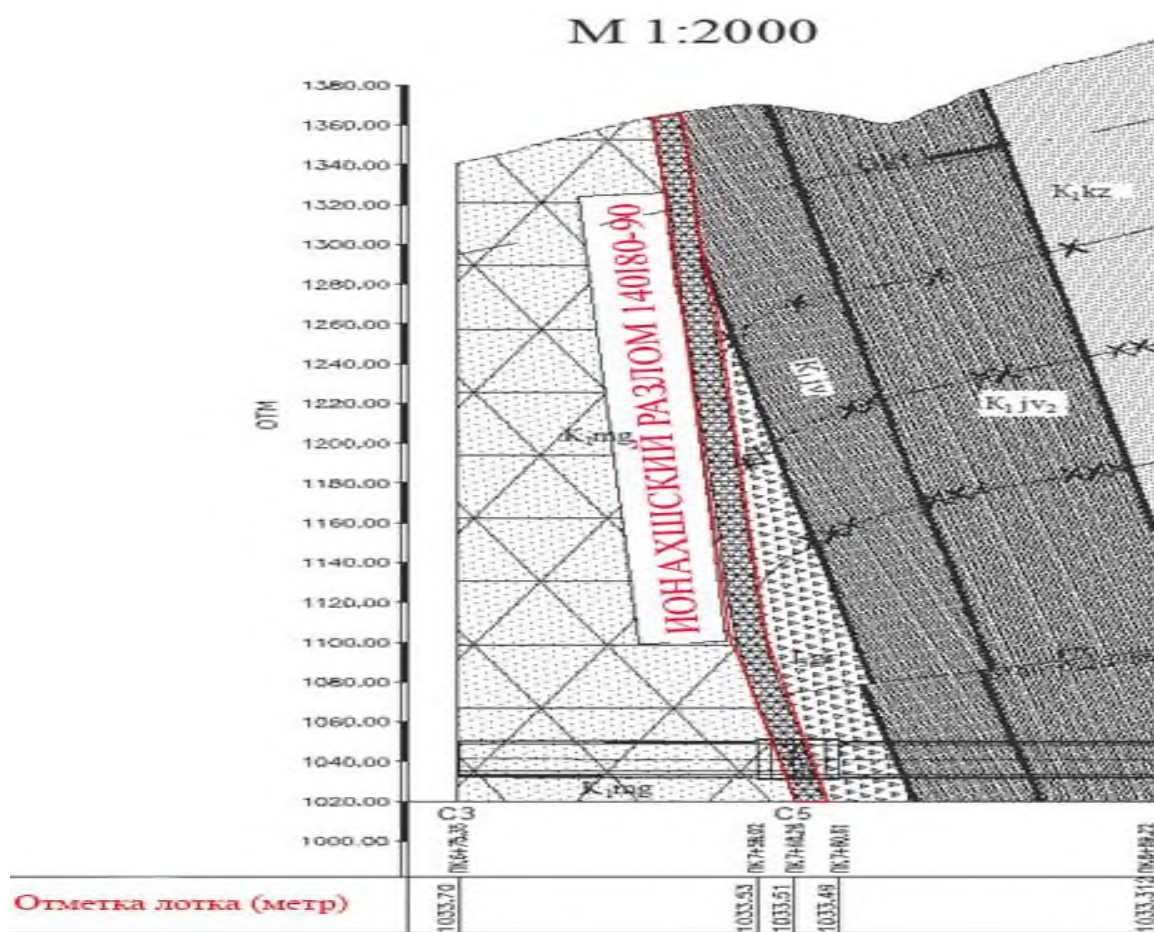


Рисунок 1 – Геологический продольный разрез вдоль тоннеля СТ-3 в районе Ионахшского разлома

Условные обозначения:

K_{1mg} - мингбатман — чередование песчаника (77,9%) и алевролита (22,1%).

J_{3gr} - Гаурдак — Красновато-коричневый аргиллит с гипсом, перекрывающий соляную породу (галит).

K_{1jv1} - Нижний Яван — В верхней части: красновато-коричневый, коричневый и фиолетовый мелкозернистый песчаник, алевролит и аргиллит. В нижней части: темно-коричневый и красновато-коричневый сланец и алевролит.

K_{1jv2} - Верхний Яван — Красновато-коричневые и коричневые, слоистые аргиллиты, алевролиты.

Источник (2) упоминает малахит (Cu) в двух прослоях зеленовато-серого и голубовато-серого аргиллита.

FAULT - Ионахш и другие зоны разломов.

Метод исследования

Согласно соглашению, достигнутому на встрече 01.06.2016г. экспертами НРП, геомеханические параметры для Ионахшского разлома были учтены в анализе, как указано в таблице 2. Следует отметить, что эти параметры были уточнены и окончательно утверждены для материала Ионахшского разлома для использования в численном анализе района энергоблока. Эти параметры были проверены с использованием критериев разрушения Хозка и Брауна 2006 г. с использованием программного обеспечения RocData от компании RocScience. Входные параметры в этом программном обеспечении включают GSI, однокомпонентную прочность на сжатие (UCS) неповрежденной породы, коэффициент Хозка (m), коэффициент нарушения массива горных пород (D) и глубину тоннеля [6-8].

Таблица 2 – Геомеханические параметры для массива горных пород тектонической зоны Ионахшского разлома для численного анализа согласно соглашению, достигнутому на встрече 01.06.2016 экспертами НРП.

Параметр	кратковременный		долгосрочный ¹	
	Пик	Остаточный	Пик	Остаточный
Пиковый модуль деформации (МПа)	2000		1000	
Коэффициент Пуассона (-)	0.32	0.32	0.35	0.35
Сцепление (МПа)	0.3	0.1	0.1	0.05
Угол трения (°)	37	30	30	28

Долгосрочные свойства активируются на глубине 9,0 м вокруг границы тоннеля только для проектирования обделки и учитываются для зоны, подверженной воздействию взрывов.

Примечание:

-следует отметить, что измеренная толщина зоны разрушения Ионахшского разлома составляет примерно по таблице 2 7,0 м;

- σ_{cm} – прочность массива горных пород была рассчитана по следующему уравнению (Хозк и Браун, 2002) и равна 2,5 МПа.

Результаты и обсуждения

Можно отметить, что способом изучения общих тенденций поведения является создание безразмерных графиков на основе результатов параметрических исследований. Два таких безразмерных графика представлены на рисунках 2 и 3. График сходимости тоннеля (рис. 2) может быть использован для предоставления ориентировочных рекомендаций по степени сложности, с которой можно столкнуться при различных уровнях деформации. Поскольку эти уровни деформации связаны с конкретными диапазонами соотношения прочности массива горных пород к напряжению, он может быть использован для первоначальной оценки проблем с зажатием тоннеля. В районе Ионахшского разлома тоннель пройдет через массив горных пород на средней глубине 318 м, где напряжение будет равно $P_0 = 8,37$ МПа, а прочность массива горных пород $\sigma_{cm} = 2,5$ МПа, так что соотношение $\sigma_{cm} / P_0 = 0,3$. График сходимости тоннеля на рисунке 2 показывает, что это соответствует деформации примерно 1,3%, и можно ожидать от незначительных до серьезных проблем сжатием массива горных пород. Если $P_0 = 12,55$ МПа максимальное горизонтальное напряжение, то деформация составит 3% (рис. 2 и табл. 3). Таким образом, требуется использование первичной поддерживающей системы для стабилизации тоннеля.

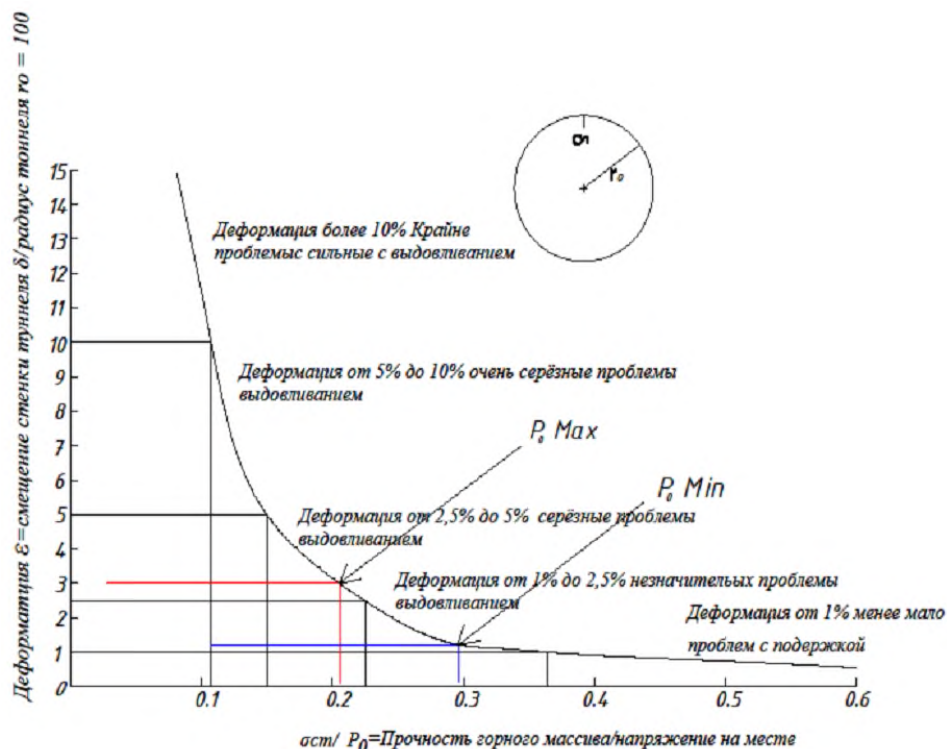


Рисунок 2 - График сходимости туннеля в зависимости от соотношения прочности массива горных пород к ин-ситу напряжения (Хозк и Маринос, 2000).

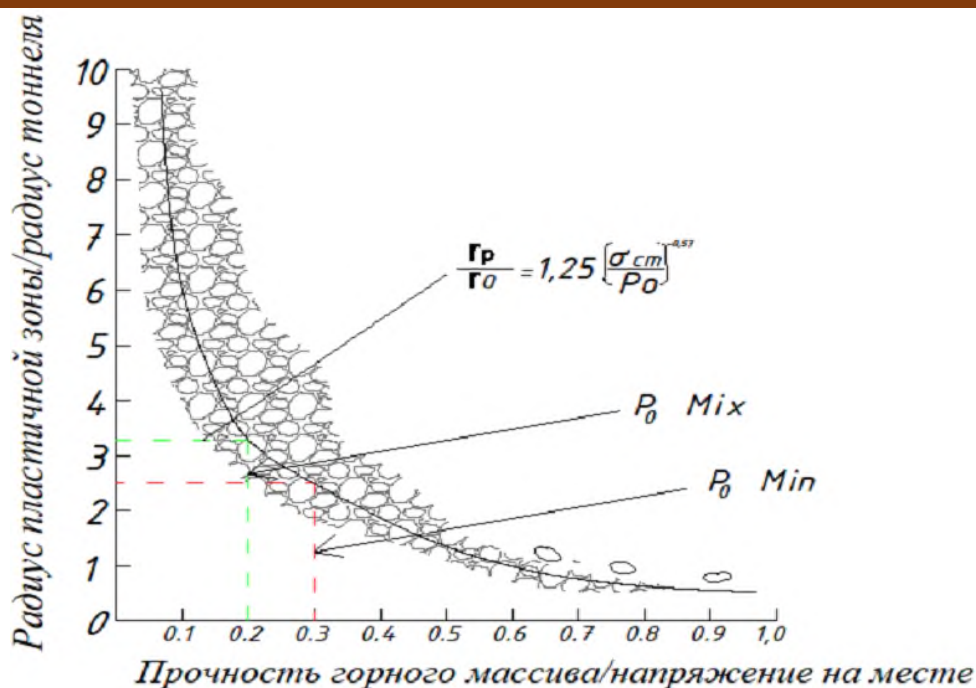


Рисунок 3 – Соотношение пластичной зоны и соотношения прочности массива горных пород к ин-ситу напряжения (Хоэк, 2000) (Хоэк и Маринос, 2000)

Таблица 3 – Соотношение деформации и соотношение радиуса пластичной зоны туннеля при различных (максимальных и минимальных) ин-ситу напряжениях

P_0 (МПа)	P_0 (МПа)	σ_{cm} (МПа)	σ_{cm} / P_0	Соотношение деформации	Соотношение радиуса пластичной зоны
8.37 (вертикальное напряжение)	8.37	2.5	0.3	1.3%	2.7
12.55 (максимальное горизонтальное напряжение)	12.55	2.5	0.2	3%	3.2

Выводы

На основе результатов, представленных на графике сходимости (рис. 2) и радиуса пластичной зоны (рис. 3), рекомендуется установить начальную поддерживающую систему и также контролировать смещения стенок туннеля. Из-за соотношения радиуса пластичной зоны, которое оценивается как менее 3,2 раза больше радиуса туннеля и из-за низкого уровня зажима, рекомендуется применять тяжелую поддерживающую систему или жесткий тип. Следует отметить, что мониторинг смещений может быть полезным ориентиром для точной настройки и корректировки поддерживающей системы.

Рецензент: Давлатшоев С.Қ. — к.т.н., зав. лаборатории энергетики, ресурсо – и энергосбережения Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН РК

Литература

1. Bandis, S.C. 1990. Mechanical properties of rock joints. In Proc. Int. Soc. Rock Mech. symp. On rock joints, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson), 125-140. Rotterdam: Balkema.
2. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.
3. EM-1100-2-2104 manual, 2003, Engineering and Design Strength Design for Reinforced Concrete Hydraulic Structures. US Army Corps of Engineers, Washington DC, 20314-1000.
4. Hoek, E., Carranza-Torres, C., Diederichs, M.S. and Corkum, B. (2008). Integration of geotechnical and structural design in tunneling – 2008 Kersten Lecture. Proceedings University of Minnesota 56th Annual Geotechnical Engineering Conference. Minneapolis, 29 February 2008, 1-53.
5. Hoek, E., and Marinos, P., 2000. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Tunnel and Tunneling International.

6. HYDROPROJECT, 1174-T15, Central Asian Branch: Rogun HPP on Vakhsh River, Technical Project, Part I, Volume 3, Engineering-geological conditions, Tashkent, 1978, No. 1174-T1.

7. ISRM Suggested Method. 1981. Rock characterization testing & monitoring. Editor: E. T. Brown. Pergamon Press. 211.

8. Radonicic, N. et al, „Ductile support design“, Geo-mechanics and Tunneling 2 (2009), No. 5, DOI: 10.1002/geot.200900054

9. Хасанов Н.М, Мехрубонов М.Х, Джуракулов М.Р. Выбор конструкции обделки СТ-3 Рогунской ГЭС в зоне пересечения Ионахшского разлома // Вестник, ТНУ- Душанбе: ТНУ, Серия геологических и технических наук 2024. №1. –С.49-57

10. Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Мехрубонов М.Х. Способы проходки гидротехнических сооружений в зонах тектонических разрывов Рогунской ГЭС // Политехнический Вестник №4. ТТУ, 2023. -С.103-110

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- AUTHORS BACKGROUND

RU	TJ	EN
Хасанзода Нурали Мамед	Ҳасанзода Нуралӣ Мамед	Hasanzoda Nurali Mamed
Доктор технических наук, и.о. профессора кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения»	Доктори илмҳои техникии и.в. профессори кафедраи «Асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ»	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Foundations, Foundations and Underground Structures
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: Khasanov.nurali@mail.ru тел: (+992) 988899575		
RU	TJ	EN
Мехрубонов Мирзохаёт Хасанович	Мехрубонов Мирзохаёт Хасанович	Mehrubonov Mirzokhayot Khasanovich
Соискатель	Унвонҷуи	Applicant
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология АМИТ	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: mehrubonovm@mail.ru тел: (+992) 938180103		
RU	TJ	EN
Ахмаджонов Мирзоанвар Солижонович	Ахмаджонов Мирзоанвар Солижонович	Akhmadjonov Mirzoanvar Solijonovich
Магистр кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения»	Магистрі кафедраи «Асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ»	Master's degree of the Department of Foundations, Foundations and Underground Structures
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
RU	TJ	EN
Музафаров Хусрав Давляталиевич	Музафаров Хусрав Давляталиевич	Muzafarov Khusrav Davlatalievich
Старший преподаватель кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов»	Муаллими калони кафедраи «Механикаи назариявӣ ва муқовимати мавод»	Senior Lecturer of the Department of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials
Таджикский технический университет имени академика М.С .Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: khusrav_8787@mail.ru		

ТАЪМИНИ ГАРМИИ СОКИНОНИ ДЕҲОТ АЗ СИСТЕМАҲОИ МУСТАҚИЛИ ТАЪМИНОТИ ГАРМӢ ВА САМАРАНОКИИ ОНҲО

Т.Р. Холмуратов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Бо рушди технология ва тағйирёбии шароити иқлимӣ, мушкилоти таъминоти гармӣ дар деҳот махсусан муҳим аст. Системаҳои мустақили таъминоти гармӣ торафт маъмултар мешаванд, зеро онҳо мустақилиятро аз манбаъҳои мутамарказ таъмин мекунад ва ба истифодаи захираҳои маҳаллӣ имкон медиҳанд. Дар ин мақола технологияҳои асосии таъминоти гармӣ мустақил, афзалиятҳо ва нуқсонҳои онҳо, инчунин дурнамои рушди онҳо баррасӣ карда мешаванд.

Калимаҳои асосӣ: таъминоти гармӣ, истеъмолкунандагони деҳот, самаранокӣ, системаҳои мустақил.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ ОТ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Т.Р. Холмуратов

С развитием технологий и изменением климатических условий проблема теплоснабжения в сельской местности становится особенно актуальной. Автономные системы теплоснабжения становятся все более популярными, поскольку они обеспечивают независимость от централизованных источников и позволяют использовать местные ресурсы. В данной статье рассмотрены основные технологии автономного теплоснабжения, их преимущества и недостатки, а также перспективы их развития.

Ключевые слова: теплоснабжение, сельские потребители, эффективность, автономные системы.

HEAT SUPPLY OF RURAL RESIDENTS FROM AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEMS AND THEIR EFFICIENCY

T.R. Kholmuratov

With the development of technology and changing climatic conditions, the problem of heat supply in rural areas is becoming especially urgent. Autonomous heating systems are becoming increasingly popular because they provide independence from centralized sources and allow the use of local resources. This article will consider the main technologies of autonomous heat supply, their advantages and disadvantages, as well as the prospects for their development.

Keywords: heat supply, rural consumers, efficiency, autonomous systems.

Муқаддима

Таъмини гармӣ яке аз вазифаҳои калидӣ барои таъмини зиндагии бароҳат ва рушди устувори аҳоли, хусусан дар деҳот мебошад. Дар шароити дур будан аз системаҳои гармидиҳӣ мутамарказ ва афзоиши хароҷоти энергетикӣ, системаҳои мустақили таъминоти гармӣ ҳалли муҳим ва муассир дорад. Ин системаҳо ба сокинони деҳот имкон медиҳанд, ки манбаи энергияро мустақилона интихоб кунанд ва ба онҳо имкон диҳанд, ки ба тағирот дар шароити бозор ва талаботи экологӣ мутобиқ шаванд.

Бо болоравии нархи манбаъҳои анъанавии энергия ва бад шудани экология, аҳамияти истифодаи захираҳои барқароршаванда ва маҳаллӣ барои гармидиҳӣ торафт равшантар мегардад. Системаҳои мустақили таъминоти гармӣ, ки технологияҳои ба монанди коллекторҳои офтобӣ, насосҳои гармӣ, манбаҳои биомасса ва ғайра истифода мебаранд, имкон медиҳанд, ки хароҷоти гармидиҳӣ ба таври назаррас коҳиш дода шавад ва истеъмоли устувори захираҳои энергия таъмин карда шавад.

Бо вуҷуди ин, монеаҳои гуногун дар роҳи татбиқи васеи системаҳои мустақили таъминоти гармӣ, аз ҷумла сармоягузориҳои баланди ибтидоӣ, зарурати нигоҳдорӣ ва набудани дастгирии иттилоотӣ барои аҳоли мавҷуданд. Ин мақола таҷрибаи чунин системаҳоро дар минтақаҳои гуногун, имкониятҳо ва мушкилоте, ки сокинони деҳот ҳангоми гузариш ба таъминоти мустақили гармӣ дучор меоянд, баррасӣ хоҳад кард.

Масъалаҳои асосии муҳокимаи интихоби технологияи оптималӣ, оқибатҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ҷорӣ намудани системаҳои автономӣ ва дурнамои паҳншавии онҳо дар доираи стратегияи умумии рушди устувори деҳот хоҳанд буд.

Намудҳои асосии системаҳои мустақили таъминоти гармӣ

Системаҳои мустақили таъминоти гармӣ барои таъмини гармӣ ва оби гарм барои биноҳои алоҳида ё гурӯҳҳои биноҳо, новобаста аз манбаъҳои мутамарказ пешбинӣ шудаанд.

Инҳоянд намудҳои асосии чунин системаҳо:

1. Дегҳонаҳои сӯзишвории саҳт:

- Ин дегҳо ҷӯб, ангиштро ҳамчун сӯзишворӣ истифода мебаранд. Онҳо ба туфайли мавҷудияти сӯзишвории саҳт яке аз намудҳои маъмултарини гармидиҳӣ мустақил дар деҳот мебошанд.
- Афзалиятҳо: хароҷоти ками амалиётӣ ва қобилияти истифодаи захираҳои маҳаллӣ.
- Камбудииҳо: нигоҳдории мунтазам, тайёрӣ ва нигоҳдории сӯзишвориро талаб мекунад.

2. Дегхонаҳои газӣ:

- Дегҳои газӣ бо газӣ табиӣ ё моеъ кор карда, самаранокии баланд ва суръати гармиро таъмин мекунанд.

- Афзалиятҳо: осонии кор ва қобилияти автоматикунонии кор.

- Камбудӣҳо: вобастагӣ аз мавҷудияти таъминоти газ ва хароҷоти эҳтимолии баланд барои пайваستшавӣ ба шабакаи газ.

3. Системаҳои гармидиҳии барқӣ:

- Ин системаҳо барои гарм кардани ҳуҷраҳо барқро истифода мебаранд. Вариантҳои зиёде мавҷуданд, аз ҷумла конвекторҳо, гармунақҳои инфрасурх ва фаршҳои гарм.

- Афзалиятҳо: насб ва истифодаи осон, нигоҳдории сӯзишворӣ талаб карда намешавад.

- Камбудӣҳо: арзиши баланди нерӯи барқ дар давраи хунук ва вобастагӣ аз устувории таъминоти барқ.

4. Системаҳои гармидиҳии офтобӣ:

- Коллекторҳои офтобӣ энергияи офтобро барои гарм кардани об ё ҳаво истифода мебаранд. Чунин системаҳо метавонанд дар минтақаҳои офтобӣ самаранок бошанд.

- Афзалиятҳо: хароҷоти пасти амалиётӣ ва устуворӣ.

- Камбудӣҳо: арзиши баланди ибтидоӣ ва вобастагӣ аз шароити иқлим.

5. Насосҳои гармӣ:

- Ин дастгоҳҳо гармиро аз муҳити беруна (ҳаво, замин ё об) ба бино интиқол медиҳанд. Онҳо метавонанд ҳам барои гармкунӣ ва ҳам барои хунуккунӣ кор кунанд.

- Афзалиятҳо: самаранокии баланд ва қобилияти истифода барои оби гарм.

- Камбудӣҳо: арзиши баланди ибтидоӣ ва талабот ба нерӯи барқ.

6. Дегхонаҳои биомассагӣ:

- Ин дегҳо маводи органикӣ, аз қабили партовҳои чӯб, пасмондаҳои кишоварзӣ ва дигар биомассаҳо ҳамчун сӯзишворӣ истифода мебаранд.

- Афзалиятҳо: сӯзишвории босифат ва устувор.

- Камбудӣҳо: зарурати мавҷудияти ашёи хом ва фазои иловагии нигоҳдорӣ. Ҳар яке аз ин намудҳои системаҳои мустақили таъминоти гармӣ хусусиятҳо, афзалиятҳо ва нуқсонҳои худро доранд ва интихоби ҳалли оптималӣ аз шароити мушаххас, захираҳои зарурӣ ва афзалиятҳои корбарон вобаста аст.

Системаҳои омехтаи таъминоти гармӣ ҳамгироии манбаъҳои гуногуни энергияи гармӣ барои таъмини гармидиҳии муассир ва устувори биноҳои истиқоматӣ ва тиҷоратӣ мебошанд. Онҳо ба технологияҳои асос ёфтаанд, ки имкон медиҳанд, ки ҳам захираҳои барқароршаванда ва ҳам анъанавӣ самаранок истифода шаванд.

Дар айни замон дар Тоҷикистон як қатор ислоҳот ба истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ сӯзишворӣ ва энергетика, истифодаи технологияҳои каммасраф дар соҳаҳои иқтисодиёт ва татбиқи васъеи технологияҳои муосир тавассути навсозии куллии истеҳсолот равона карда шудаанд. Тибқи мундариҷаи қонунҳо ва қарорҳои амалкунанда, кам кардани истеъмоли энергия ва захираҳо дар системаҳои таъминоти гармӣ, қабули васъеи технологияҳои каммасраф дар бахшҳои истеҳсолӣ, тавсеаи истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия ва баланд бардоштани самаранокии энергия дар соҳаҳои иқтисодиёт ҳамчун вазифаҳои афзалиятнок нишон дода шудаанд [1]. Дар ҷумҳурии мо таҳияи технологияҳои инноватсионӣ, ки ба истифодаи манбаъҳои барқароршавандаи энергия асос ёфтаанд, қорӣ намудани таҳияҳои илмӣ-техникӣ, баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ манбаъҳои барқароршавандаи энергия, мусоидат ба тавсеа ва маҳаллисозии истеҳсоли онҳо дар сатҳи давлатӣ амалӣ карда мешаванд.

Гузaronидани тадқиқот дар асоси моделсозии тавозуни гармии биноҳо бо мақсади арзёбии имкониятҳои истифодаи энергияи офтоб дар таъминоти гармии биноҳои истиқоматӣ деҳот, таҳия ва татбиқи системаҳои таъминоти гармӣ дар асоси энергияи офтоб муҳим аст. Корҳои илмӣ-тадқиқотӣ оид ба баланд бардоштани самаранокии истифодаи энергияи офтобӣ дар таъминоти гармии биноҳо аз ҷониби олимони мутахассис дар саросари ҷаҳон гузаронида мешаванд [2-6]. Моделсозии системаҳои таъминоти гармӣ бо истифода аз коллекторҳои офтобӣ ва арзёбии самаранокии истифодаи онҳо дар таъминоти гармии манзил, оптимизатсия ва идоракунии параметрҳои системаҳои таъминоти гармии офтобӣ бодикҷат омӯхта шуданд [6-7]. Ҳатто дар шароити иқлими деҳоти кишвар таҳқиқоти илмӣ оид ба истифодаи энергияи офтоб дар равандҳои гуногуни технологӣ гузаронида шуданд. Аммо таҳлили таҳқиқоти илмӣ нишон медиҳад, ки таъсис ва татбиқи системаҳои омехтаи таъминоти гармии офтобӣ ва анъанавӣ хонаҳои деҳот

ба таври кофӣ омӯхта нашудааст. Дар мақола масъалаи модели тавозуни гармии хонаи таҷрибавии офтобӣ, ки ба системаи омехтаи таъминоти гармӣ асос ёфтааст, баррасӣ карда шуд. Шарҳи хонаи офтобии таҷрибавӣ дар расми 1 нишон дода шудааст.



Расми 1 – Намуди умумии хонаи офтобии таҷрибавӣ дар деҳот

Бо вуҷуди иқтисодии камӣ ҳар як система, шумораи зиёди чунин истеъмолкунандагон аҳамияти муҳими масъалаҳои истеъмоли оқилонаи захираҳои энергетикӣ, сохтани дастгоҳҳои мустақили тавлиди гармӣ, таҳияи системаҳои танзими автоматиро муайян мекунанд ва равандҳои гармидиҳӣ, ки сӯхтани сӯзишвориро истисно мекунанд ва истифодаи сарфакоронаи захираҳои энергетикиро таъмин мекунанд [1,2].

Дар деҳот системаҳои ғайримутамаркази таъминоти гармӣ ва микроклимат, ки ба манбаъҳои тақсимшудаи гармӣ ва ҳавои атмосфера бо истифода аз агрегатҳои алоҳидаи вентилятсияи гармӣ, ки ҳар кадоми онҳо параметрҳои меъёрии муҳитро дар минтақаҳои муайяни маҳаллии бино таъмин мекунанд истифода мешавад.

Дар бозори ҷаҳонӣ таҷҳизоти гармидиҳӣ ва воситаҳои, ки гармидиҳӣ ва микроклиматро таъмин мекунанд, дар доираи кофӣ ва ба миқдори зиёд таъмин мебошад. Дар айни замон, таҳвили ин таҷҳизот дар бозори Тоҷикистон, аз ҷумла, намудҳои гуногуни зиёди деғҳо ки бо сӯзишвории газ, моеъ ё саҳт кор мекунанд пешниҳод карда мешавад. Шумораи зиёди таҷҳизоте мавҷуданд, ки барои системаҳои кондитсионерӣ пешбинӣ шудаанд, ки хунукунӣ, намӣ ва тақсими ҳавои вентилятсияшаванда, ки одатан барои истеҳсоли кам (барои шаклҳои хурди хоҷагидорӣ) пешбинӣ шудааст пешниҳот шудааст, ки ҳамаи онҳо воридотӣ мебошанд ва нархи онҳо 1,5...2,0 маротиба аз арзиши аслиашон зиёдтар мебошад.

Истифодаи васеи таҷҳизоти истеҳсоли хориҷӣ ин, аз сабаби набудани маблағ дар истеҳсолкунандаи маҳсулоти ватанӣ имконпазир аст. Тавре ки дар боло қайд кардем барои шаклҳои хурди хоҷагидорӣ қувваи системаҳои таъминоти гармӣ аз 0,5 МВт камтар мебошад. Барои гармӣ истеъмолкунандагони хурд, ки талафоти зиёди гармӣ аз ҳисоби қубурҳои гармии дароздорад системаҳои марказонидашудаи таъминоти гармӣ аз ҷиҳати иқтисодӣ ғоидаовар нестанд аз ин рӯ системаҳои таъминоти гармӣ ғайримутамаркази истифода карда мешаванд.

Ҳангоми таҳлили самаранокии системаҳои мустақили таъминоти гармӣ аз ҷониби мо таҷҳизоти гармидиҳии истеҳсоли ватанӣ (расми 2) бо сӯзишвории саҳт ва моеъ, дида баромада шуд. Схемаи гармидиҳии механикӣ аз ҷумла: дастгоҳи гармидиҳӣ, экомайзер, бакакумулятор бо электрокомпенсатори талафот, баки васеъкунанда, микроконтроллер, доро мебошад. Натиҷаҳои ҳисоб кардани самаранокии системаҳои мустақили таъминоти гармӣ дар ҷадвалҳои 1 ва 2 оварда шудааст.

Ҷадвали 1 – Маълумоти ибтидоӣ барои ҳисоб кардани самаранокии системаҳои таъминоти гармӣ бо манбаи мустақили гармӣ

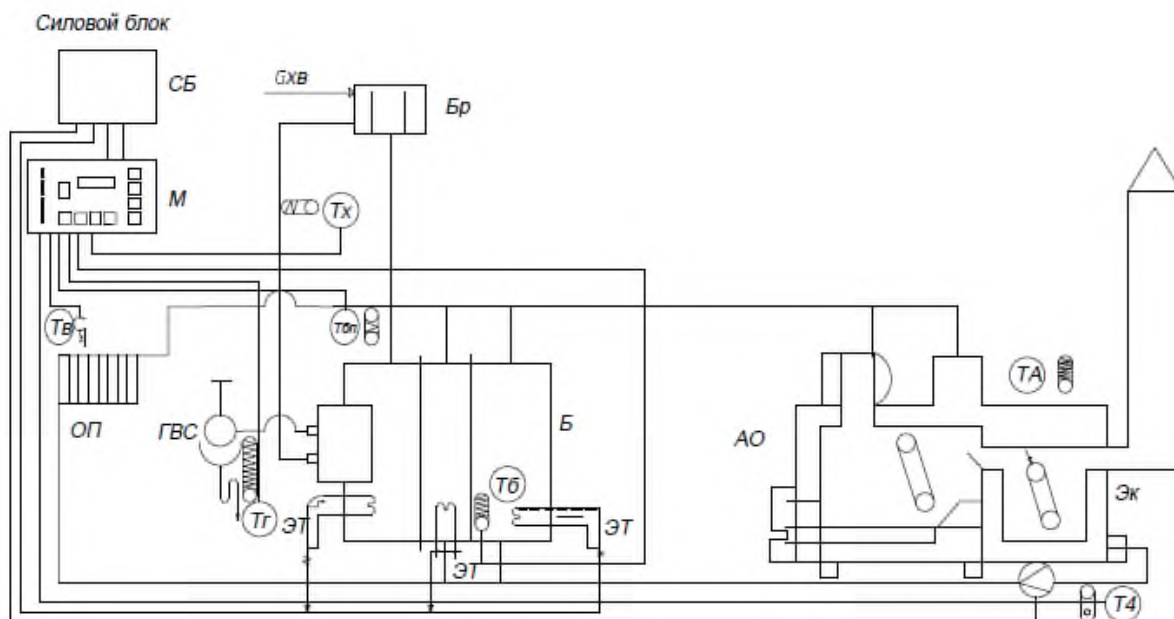
Нишондиҳандаҳо	Ишораҳо	Арзишҳои адабии нишондиҳандаҳо			
		Дег бо сӯзишворӣ саҳт, гармӣ ивазкунада	Дег бо сӯзишвории моеъ, гармӣ ивазкунада, баки нигоҳдорӣ сӯзишворӣ моеъ	Деги барқи ва гармӣ ивазкунада	Дег бо сӯзишворӣ саҳт, компенсатори барқӣ талафоти
1	2	3	4	5	6
Иқтидори гармии истеъмоликунада, т. ккал / соат	р	38	38	20+18	20+18
Таркиб ва нархи таҷҳизоти тавлидкунадаи гармӣ, ҳазор сомонӣ	С	30+40=70	35+40+20=95	25+40=65	30+50=80
Энергиядиҳанда: нарх (тариф) сомонӣ / кг; сомонӣ/л; сомонӣ / кВт-соат	Сестерн	8.5	20	3.2 0.67	8.5 0.67
Ҳаҷми солонаи кори таҷҳизоти тавлидкунадаи гармӣ, рӯзҳо	Руз	112	112	30 182	30 182
Қобилияти гармидиҳӣ: сӯзишвории саҳт, ҳазор ккал / кг; сӯзишвории моеъ, ҳазор ккал / л; - барқ, ҳазор ккал / кВт-соат	q	6500	700	860	860
Коэффитсенти кори ғойданоки таҷҳизоти гармӣ тавлидкунада	η	0.65	0.75	0.99	0.65 0.99
Арзиши корҳои васлкунӣ, ҳазор сомонӣ	Н _{к.в.}	14	19	13	16
Коэффитсенти гузариши нарх яклухт бо нархи чакана, н. ч.	К ₁	1.2	1.2	1.2	1.2
Арзиши балансии таҷҳизот, ҳазор сомонӣ.	Б _А	84	114	78	96
Шумораи кормандони хизматрасон, одам.	Ш	2+1	1+1	0,1	1 + 0,1
Музди моҳона, сомонӣ.	М _м	7000	7000	7000	7000

Ҷадвали 2 – Ҳисоб кардани самаранокии системаҳои мустақили таъминоти гармӣ

Нишондиҳандаҳо	Формулаи ҳисобӣ	Дег бо сӯзишворӣ саҳт, гармӣ ивазкунада	Дег бо сӯзишвории моеъ ва гармӣ ивазкунада	Деги барқи ва гармӣ ивазкунада	Дег бо сӯзишворӣ саҳт, компенсатори барқӣ талафоти
Истеъмоли гармӣ дар як сол, ҳазор ккал	$Q=Q_t+Q_{гв}+Q_{в}+Q_{т.п}$	192500	192500	104275/88225*	63000/129500**
Истеъмоли сӯзишворӣ, кг (л, кВт-соат)	$T=Q/q_1 \cdot \eta$	45562	26460	122286/10782*	14911/151868**
Арзиш сӯзишворӣ, сомонӣ	$C_{арф}=C_{ўз} \cdot H_r$	387277	567200	427000+72239=499239	126743+111800=238400
Музди меҳнат, ҳазор сомонӣ.	$Z_t=L \cdot Z_{пл} \cdot K_3 \cdot Z$	194,04	129,360	6,500	34,188
Амортизатсияи таҷҳизот ва монтаж, ҳазор сомонӣ	$A_p=(B_c1+B_c2)A_n$	14,7	20,2	13,2	16,5
Пардохтҳо барои техникаи нигоҳдорӣ ва таъмир, ҳазор сомонӣ	$Z=(B_c1+B_c2)р.т.о$	10,0	13,6	9,4	11,5
Арзиши худӣ 1 ккал, сом.	$C_r=H/Q'$	3029	2700	2634	1620

* - дар суат истеъмоли нерӯи барқ

** - дар маҳраҷ маълумот оид ба сӯзишвории саҳт



Расми 2 – Схемани гармидиҳии механикӣ: АО дастгоҳи гармидиҳӣ, ЭК-экомайзер; Б-бак аккумулятор бо электрокомпенсатори талафот; ГВС -таъминоти оби гарм; БР бак васеъкунанда; Гхв- таъмини оби хунук; М -микроконтроллер; СБ- блоки қувва; Т- табдилдиҳандаҳои аввалия

Дурнамои рушди таъминоти гармӣ барои сокинони деҳот аз системаҳои мустақили таъминоти гармӣ як минтақаи муҳим барои беҳтар кардани сифати зиндагӣ ва баланд бардоштани самаранокии энергия дар минтақаҳои дурдаст ва камаҳолӣ мебошад. Якчанд ҷанбаҳои калидиро дида мебароем, ки метавонанд дар ин раванд нақши назаррас дошта бошанд. Ҷорӣ намудани коллекторҳои офтобӣ, насосҳои гармӣ, биомасса ва дигар манбаъҳои барқароршавандаи энергия метавонад хароҷоти гармидиҳиро ба таври назаррас коҳиш диҳад ва устувории онро баланд бардорад. Масалан, панелҳои офтобӣ метавонанд барои гарм кардани об ва сӯзишвории биологӣ барои сӯзишворӣ истифода шаванд.

Афзалиятҳо ва нуқсонҳои системаҳои муқоисашавандаи таъминоти гармиро дида мебароем:

бо сӯзишвории сахт:

а) арзишҳо:

- таъмини сӯзишвории саҳт маҳдудият надорад ва ба истеъмолкунанда бо нархи 1 сомон барои 1 кг антрацит расонида мешавад;
- нархи сӯзишвории саҳт мӯътадил мебошад;
- технологияи тайёр кардани формати сӯзишворӣ босуръат такмил меебад: пиллетҳо, брикетҳо, бастабандии мулоим ва ғайра.;
- эътимоднокии баланди таъминоти гармӣ;

б) камбудиҳо:

- самаранокҳои пасти система;
- ҳароҷоти баланди меҳнат ҳангоми истифода;
- имконнопазирии автоматизатсия;
- партовҳои номатлуб;

бо сѹзишвории моеъ:

а) арзишҳо:

- иқтидори баланди гармидиҳии сӯзишворӣ;
- раванди сӯзондани сӯзишворӣ автоматӣ аст;
- самаранокии баланд;

б) камбудиҳо:

- болоравии доимии нархи сӯзишвории моеъ;
- бад шудани часпакии сӯзишворӣ дар хуноқ;
- зарурати доштани зарфи махсус барои нигоҳ доштани сӯзишвории моеъ ва системаи пешниҳоди
- экологияи бад;

бо нерӯи барқ:

а) арзишҳо:

- автоматикунонии баланди раванди тавлиди гармӣ;

- хароҷоти хеле ками меҳнат, бехатарии сӯхтор, бо сабаби набудани ҳарорати баланди элементҳои гармидиҳӣ;

- самаранокии баланд;

- экологияи аъло;

б) камбудӣҳо:

- нархи баланд барои электро энергия.

Нархи баланди нерӯи барқ манфиатҳои ин энергияро рад мекунад ва ба мо имкон намедиҳад, ки онро барои истифодаи ҳамаҷониба тавсия диҳем. Аммо қарорҳои охири Вазорати энергетикаи Тоҷикистон ба истифодаи васъеи нерӯи барқ барои мақсадҳои гармидиҳӣ мусоидат мекунад.

Аз ин рӯ, интизор шудан мумкин аст, ки истифодаи нерӯи барқ дар соатҳои шабона ва дар соатҳои ноқомии ҷадвалҳои сарборӣ метавонад эҳтиёҷоти асосии гармидиҳии хоҷагиҳои оилавӣ ва хоҷагиҳои ёрирасони шахси таъмин кунанд. Бо назардошти ин тамоюлҳои нав мо системаи мустақилро пешниҳод менамоем барои таъмини гармӣ аз энергияи омехта: нерӯи барқи ва сӯзишвории сахт истифода намоем. Ин система имкон медиҳад ки аз камбудии асосии истифодаи барқ халос шавем. Дар ин ҳолат дар давраи гармидиҳии зимистон системаи бо сӯзишвории сахт, дар давраи гузариш баҳор ва давраи тирамоҳӣ танҳо аз энергияи барқ истифода намоем.

Хулосаҳо

1. Аҳамияти мушкилот: бо зиёд шудани талабот ба манбаъҳои бозьтимод ва камхарчи гармӣ дар деҳот, системаҳои мустақили таъминоти гармӣ торафт муҳимтар мешаванд. Онҳо қодиранд, ки сатҳи зарурии бароҳати барои истеъмолкунандагон таъмин кунанд, вобастагӣ аз системаҳои мутамарказро коҳиш диҳанд ва хароҷоти гармидиҳиро кам кунанд.

2. Афзалиятҳои системаҳои мустақил: системаҳои мустақил манбаъҳои гуногуни энергияро истифода мебаранд, аз ҷумла манбаъҳои барқароршаванда (оғтоб, шамол, биомасса), имкон медиҳад, ки газӣ карбонро коҳиш диҳад ва амнияти энергетикиро дар минтақаҳои деҳот баланд бардорад. Ин системаҳо инчунин мустақилиятро аз тағирёбии нархи энергияи анъанавӣ таъмин мекунад.

3. Ҳалли технологӣ: барои татбиқи бомуваффақияти таъминоти мустақили гармӣ дар деҳот истифодаи технологияҳои муосир, аз қабилӣ насосҳои гармӣ, коллекторҳои оғтобӣ ва дастгоҳҳои генератсионӣ зарур аст. Муҳим аст, ки шароити иқлими маҳаллӣ, захираҳои мавҷуда ва ниёзҳои қорбаронро ҳангоми ҳалли мувофиқ ба назар гиред.

4. Самаранокии иқтисодӣ: Тадқиқот нишон дод, ки қорӣ намудани системаҳои мустақили таъминоти гармӣ дар деҳот метавонад ба ғайри назаррасии иқтисодӣ тавассути кам кардани хароҷоти амалиётӣ ва оптимизатсияи истеъмоли энергия оварда расонад. Сарфи назар аз хароҷоти баланди сармоягузорӣ барои насб, манфиатҳои дарозмуддат сармоягузорию асоснок мекунад.

5. Ҷанбаҳои иҷтимоӣ: Системаҳои мустақили таъминоти гармӣ ба беҳтар шудани сифати зиндагӣ дар деҳот мусоидат намуда, таъминоти устувори гармиро таъмин мекунад ва дар соҳаи энергетика ва хидматрасонӣ қўйҳои нави қорӣ эҷод мекунад.

6. Тавсияҳо: Барои баланд бардоштани самаранокии системаҳои мустақили таъминоти гармӣ дар деҳот, таҳияи барномаҳо ва механизмҳои махсуси маблағгузорӣ, инчунин таълим ва огоҳ кардани аҳоли дар бораи афзалиятҳо ва имкониятҳои истифодаи чунин технологияҳо зарур аст.

7. Дурнамои тадқиқот: Минбаъд бояд тадқиқот дар соҳаи оптимизатсияи технологияҳои мустақили таъминоти гармӣ идома дода шавад ва мониторинг ва арзёбии самаранокии системаҳои татбиқшуда гузаронида шавад, ки ба беҳтар кардани истифода ва мутобиқшавии онҳо ба шароити гуногуни табиӣ ва иқлимӣ имкон медиҳад.

Муқарриз: Зарифзода С. – доктори илмҳои физика ва математика, дотсенти кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи ДМТТ

Адабиёт

1. Холмуродов Т.Р., Почоев М.М., Джабборов Н.М. Эффективное использование солнечных систем отопления в условиях Республики Таджикистан “Региональная онлайн-научно-практическая конференция”. «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации», Душанбе, 18 июня 2021 г. с.70-76.

2. Абдулкеримов С. С. Диагностика экологической чистоты нетрадиционных источников энергии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. № 4. С. 27.

3. Азизов А. М., Гордов А. Н. Точность измерительных преобразователей. Л. : Энергия, 1975. 256 с.

4. Азимов Р. К. Измерительные преобразователи с тепловыми распределенными параметрами. М. : Энергия, 1977. 80 с.

5. Аметистов Е. В. Основы теории теплообмена. М. : Изд. МЭИ, 2000.242 с.
6. Балабанов М. Ф. Переход на поквартирное отопление как альтернатива решения одной из проблем коммунальной реформы //Новости теплоснабжения. 2006. № 3 (67). С. 25-27
7. Балакло В. Б. Пути решения проблемы теплоснабжения в коммунальном хозяйстве с использованием тепловых насосов //Новости теплоснабжения. 2002. № 4 (20). С. 53-54.

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

TJ	RU	EN
Холмуратов Туробкул Рахимович	Холмуратов Туробкул Рахимович	Kholmuratov Turobkul Rakhimovich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, 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 academic M.S.Osimi
E-mail: turob-2016@mail.ru		

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ РАЗЛОМА ИОНАХШ ТОННЕЛЯ СТ-3 РОГУНСКОЙ ГЭС

¹М.Х. Мехрубонов, ²А.М. Алимардонов, ²Н.М. Хасанзода

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими²

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана¹

В статье приведен расчет моделирования временной поддерживающей системы в зоне разлома Ионахш гидротехнического тоннеля СТ-3 Рогунской ГЭС для обеспечения устойчивости подземных сооружений, а также результаты критической деформации метода Сакураи, полученные в ходе испытания на неограниченное сжатие горной породы, для расчета структурной устойчивости. Процедура моделирования временной системы в зоне Ионахшского разлома тоннеля предполагалась в 4 этапа, а анализы проводились для 10 этапов. На временном этапе начальная поддерживающая система предназначена для обеспечения стабильности тоннеля в процессе выемки и до установки окончательной обделки.

Ключевые слова: геологические условия, тоннель, горные породы, напряжения, тектоника, разлом Ионахш, метод, устойчивость.

МОДЕЛСОЗИИ МУВАҚҚАТИИ СИСТЕМАИ НИГОҲДОРӢ ДАР МИНТАҚАИ ШИКАСТӢ ИОНАХШИ НАҚБИ СТ-3-И НБО РОҒУН

М.Х. Мехрубонов, А.М. Алимардонов, Н.М. Хасанзода

Дар мақола ҳисоби моделсозии муваққатии системаи нигоҳдорӣ дар минтақаи шикастӣ Ионахши нақби СТ-3-и НБО Роғун барои таъмин намудани устувории иншооти зеризаминӣ оварда шудааст. Инчунин натиҷаҳои шаклтағйирии ниҳои усули Сакура, ки дар ҷараёни таҳқиқоти бемаҳдуди фишурдашавии ҷинсҳои куҳи барои ҳисоб кардани устувории сохторӣ ба даст оварда шудаанд. Раванди моделсозии муваққатӣ системаи нигоҳдори дар минтақаи шикастӣ Ионахши нақбӣ бояд дар 4 марҳила коркард карда шавад, таҳлилҳо муваққатан дар 10 марҳила иҷро карда шуда буд. Дар марҳилаи муваққати нигоҳдории ибтидоӣ система бо мақсади таъмин намудани устувори нақб дар раванди коркард ва то бунёди руйпушкунӣ доимӣ.

Калидвожаҳо: шароити геологӣ, нақб, ҷинсҳои кӯҳӣ, шиддатҳо, тектоника, шикасти Ионахш, усул, устуворӣ.

MODELING OF TEMPORARY SUPPORT SYSTEM IN THE IONAKHSH FAULT ZONE OF THE ST-3 TUNNEL OF THE ROGUN HPP

M.Kh. Mekhrubonov, A.M. Alimardonov, N.M. Khasanzoda

The article presents the modeling and calculation of a temporary support system in the Ionakhsh fault zone of the DT-3 hydraulic tunnel of the Rogun HPP, aimed at ensuring the stability of underground structures. The results of critical deformation analysis based on the Sakurai method, obtained from unconfined compression tests of rock specimens, are also provided for structural stability evaluation. The procedures for modeling the temporary support system in the Ionakhsh fault area consider tunnel excavation to be carried out in four stages, with analyses conducted across ten time intervals. During the initial stage, the temporary support system is intended to ensure tunnel stability throughout the excavation process and until the installation of the final lining.

Keywords: geological conditions, tunnel, rock mass, stress, tectonics, Ionakhsh fault, method, stability.

Введение

Определение Phase² Code - это методология конечных элементов и одно из самых популярных программных обеспечений, разработанных в университете Торонто, для анализа устойчивости тоннелей и подземных сооружений.

Это программное обеспечение способно моделировать как эластичные, так и пластиковые представления с тремя критериями, включая Хозк-Браун, Мора-Колумба и Друкер-Прагар. Кроме того, эта программа может моделировать все элементы поддержки, включая шоткрит, бетон, каркас и анкера в двух формах: инъекционные заделки и трение с любым уровнем преднапряжения [1-4].

Некоторые общие предположения, принятые в расчетах, представлены ниже:

- полу трёхмерное моделирование выполняется с использованием двухмерного программного обеспечения и предполагаемой плоской деформации. Метод снятия напряжений используется для учета трехмерного поведения процесса выемки, воздействия выемки и релаксации напряжений путем уменьшения внутренних сил до установки поддерживающей системы;

- размер модели был выбран таким образом, чтобы расстояние от границы модели до стенки тоннеля было более 5 раз больше диаметра тоннеля. Это расстояние может быть больше в случае плохих и глубоких массивов горных пород, что необходимо контролировать при выполнении моделирования;

- начальные условия напряжений являются гравитационно-тектоническими и зависят от глубины тоннеля и учитывают топографические условия. Горизонтальные напряжения рассчитываются на основе соотношения $K_0 = 1,5$ (критическое состояние);

- поведенческая модель породы - Мора-Колумба;

- поведенческая модель временной поддерживающей системы и обделки - эластичная;

- границные условия также учитываются таким образом, что граничные условия вертикального смещения фиксируются вдоль оси X, а смещения на нижних границах фиксируются вдоль осей X и Y. Это

объясняется тем, что расстояние до границ модели достаточно велико, чтобы фиксация смещений на границах не вносила изменений в модель;

-зона нарушения, вызванная взрывами, принимается равной 3 м. Для долгосрочного анализа зона нарушения вокруг тоннеля принимается равной 9 метрам (что соответствует толщине пластичной зоны) в модели;

-основные компоненты временной поддерживающей системы включают армированный бетон с металлическими ребрами;

-анализ выполняется как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. В краткосрочном анализе оценивается временная поддерживающая система, а в долгосрочном анализе контролируются нагрузки, действующие на прогнозируемую обделку (армированный бетон).

Метод исследования

Оценка критической деформации метода Сакураи (Sakurai, S., 1993) [5], рекомендует использовать результаты критической деформации, полученные в ходе испытания на неограниченное сжатие горной породы, для расчета структурной устойчивости. Критическая деформация - это соотношение прочности на сжатие при одновременном сжатии к модулю упругости.

$$\varepsilon_c = \sigma_c / E \quad (1)$$

здесь: ε_c - разрешенная деформация при сжатии; σ_c - прочность на сжатие при одновременном сжатии (МПа); E - модуль Юнга (Мпа).

Зависимость между модулем Юнга и критическим смещением, предложенную методом Сакураи имеется три уровня предупреждения об опасности.

Уровень предупреждения I - $\log \varepsilon_c = -0,25 \log E - 0,85$

Уровень предупреждения II - $\log \varepsilon_c = -0,25 \log E - 1,22$

Уровень предупреждения III - $\log \varepsilon_c = -0,25 \log E - 1,59$

E - модуль Юнга массива горных пород (кг/см^2); ε_c - критическая деформация при сжатии.

$$\varepsilon_c = a/r \quad (2)$$

Здесь:

a - смещение стены тоннеля; r - критическая деформация при сжатии.

Сакураи рекомендовал уровень предупреждения об опасности II для проектирования тоннеля. Уровень предупреждения об опасности III показывает краткосрочную стабильность. В (таблице 1) показывает величину критического смещения пород вокруг тоннеля СТ-3 для исследуемой области.

Таблица 1 – Критическая деформация вокруг тоннеля водоспуска в тектонической зоне Ианахшского разлома

Геологическая единица	Геологическая единица	Геологическая единица	Геологическая единица		Геологическая единица		Геологическая единица	
Ионахшский разлом	758 - 780.61	10.35	Безмятежный	Нарушенный	Безмятежный	Нарушенный	Безмятежный	Нарушенный
			$E=2000^*$	$E=1000$	0.00506	0.006	5.24**	6.19

* $\log \varepsilon_c = -0,25 \log E - 1,22 = -0,25 \cdot \log(2000) - 1,22 = 0,00506$

** критическое смещение = $r \cdot \varepsilon = 10,35 \cdot 0,00506 = 0,0524\text{м} = 5,24\text{ см}$

Когда тоннель выемкается до установки поддерживающей системы, горная масса окружающей выемочной зоны подвергается смещениям и деформациям, и, следовательно, величина индуцированных напряжений, вызванных выемкой тоннеля, будет уменьшена. Смещения и снятие напряжений зависят от расстояния между порталной частью тоннеля и установленной поддерживающей системой, а также от ин-ситу условий.

В двухмерной модели для учета смещения горной массы до установки поддерживающей системы используется существующий практический метод.

Следует отметить, что в районе Ианахшского разлома тоннель должен быть выемкован в 4 этапа. Как показано в таблице 2, анализ был выполнен для временных периодов в 10 этапов. На временном этапе начальная поддерживающая система предназначена для обеспечения стабильности тоннеля в процессе выемки и до установки окончательной обделки [9,10].

Таблица 2 – Описание моделирования СТ-3 на участке 0+758 до 0+780,61 (район Иапахского разлома)

Этапы	Описание	Снятие напряжений на последовательных этапах выемки и поддержки (%)			
		выемка	верхняя часть	средняя часть	нижняя часть
Этап 1	Условия поля напряжений с учетом вышеупомянутых ин-ситу напряжений (с учетом покрытия 318 м), удельный вес 26 кН/м ³ , условия плоской деформации				
Этап 2	Выемка купола	85	-	-	-
Этап 3	Установка первичной поддерживающей системы (армированный бетон (50 см) с IPE450@0,5 м) в куполе тоннеля	90	-	-	-
Этап 4	Выемка верхней части	95	85	-	-
Этап 5	Установка поддержки в стенах верхней части	100	90	-	-
Этап 6	Выемка средней части	100	95	85	-
Этап 7	Установка поддержки в стенах средней части	100	100	90	-
Этап 8	Выемка нижней части	100	100	95	85
Этап 9	Установка поддержки в стенах нижней части и основании	100	100	100	90
Этап 10	Снятие напряжений	100	100	100	100

Результаты и обсуждения

Процедура моделирования и результаты анализа стабильности, анализа напряжений и деформаций представлены на рисунках 1–5.

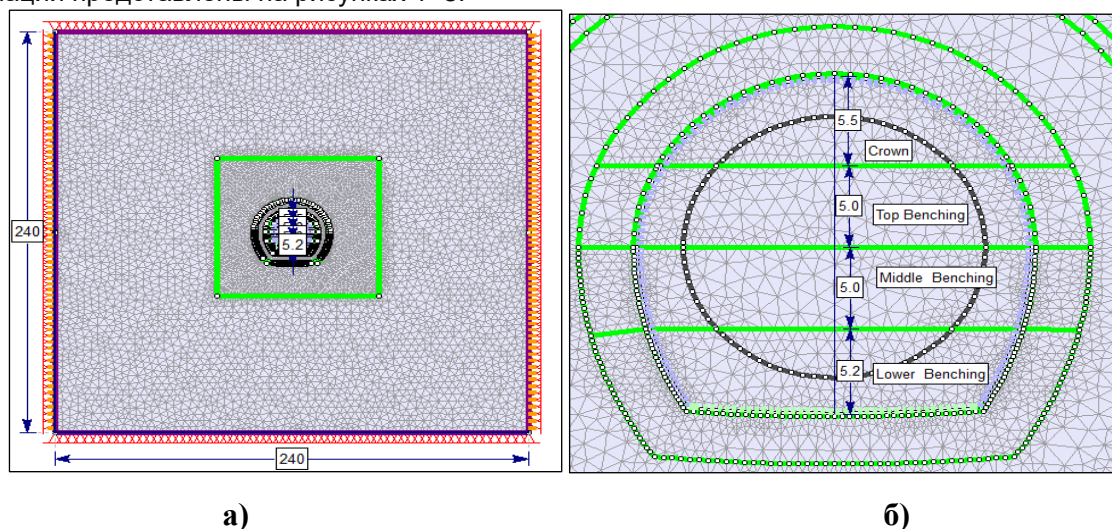
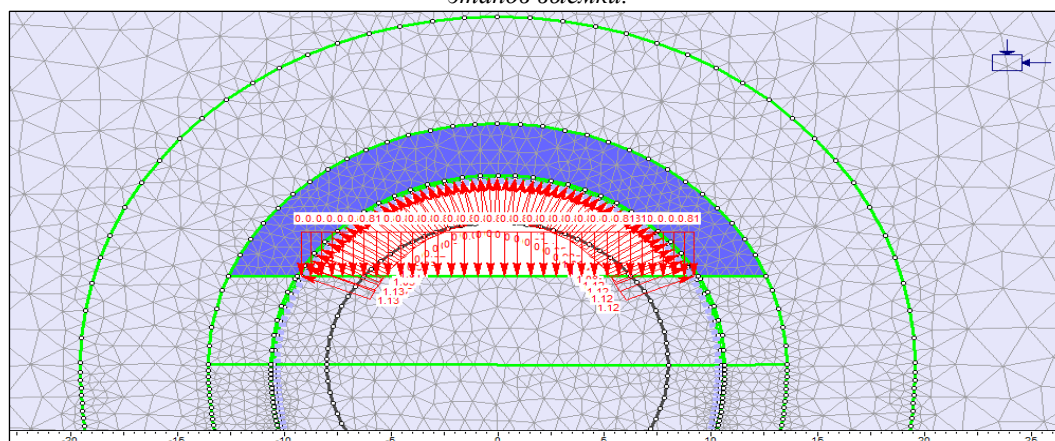
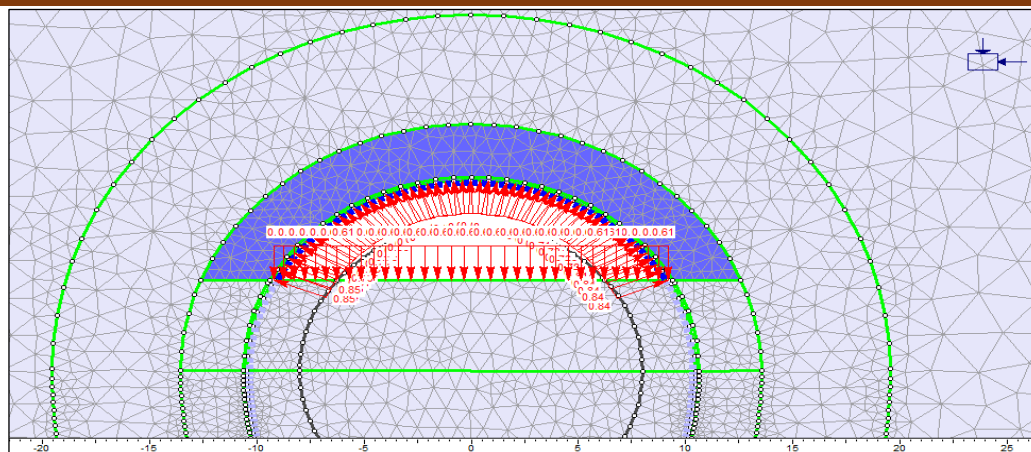


Рисунок 1 Автоматически сгенерированная сетевая модель конечных элементов и размеры различных этапов выемки: **а** – уменьшение размеров сетки вокруг границы выемки; **б** – сетевая модель и размеры различных этапов выемки.



а) Выемка купола на этапе 2 (85% снятие напряжений)



б) Армированный бетон с IPE 450 мм с шагом 0,5 активируется на этапе 3, с дополнительным снятием напряжений на 5%

Рисунок 2 – Открытие верхней части тоннеля с установкой армированного бетона с IPE 450 мм с шагом 0,5.

Результаты проведенного анализа устойчивости с использованием программы Phase². На рисунке 3 показаны общие смещения и толщина пластичной зоны до установки горной поддержки. Смещения в зоне тоннеля до установки системы поддержки на расстоянии 1 метра от торца тоннеля (шаги продвижения = 1 м) рассчитаны (см. рисунок 4) и сжижение горной породы тоннеля до установки горной поддержки (на основе метода реакции грунта) приведено на рисунке 5 [6-8].

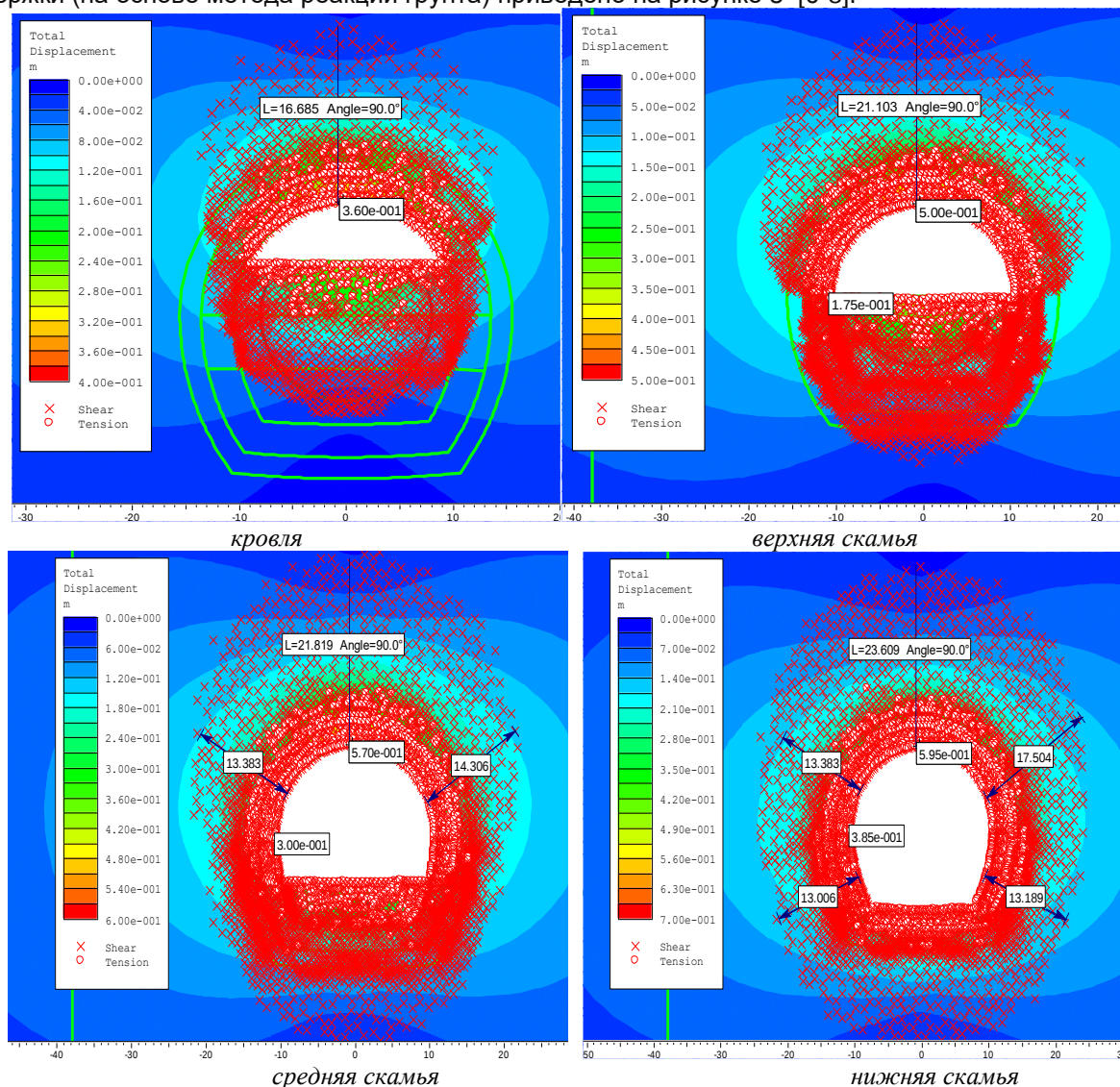


Рисунок 3 – Общие смещения и толщина пластичной зоны вокруг стен тоннеля до установки поддержки.

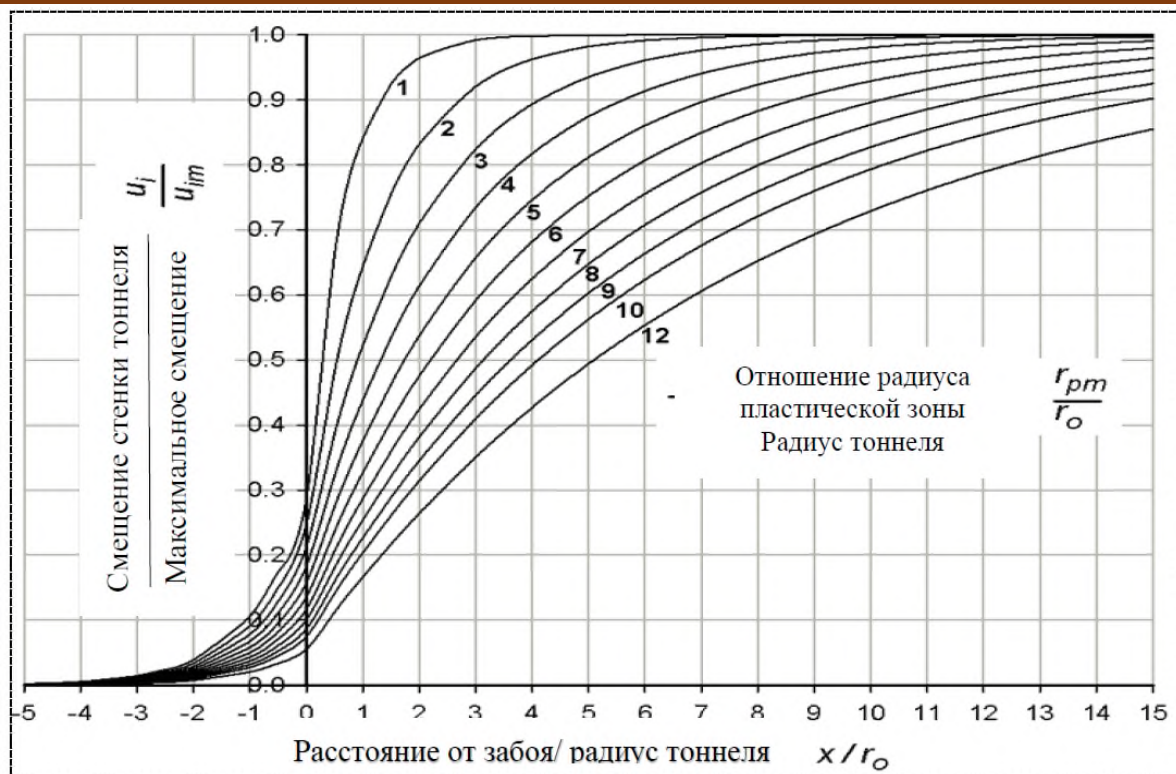


Рисунок 4 – Определение сжижения стен тоннеля в зависимости от продвижения с использованием уравнений Влахопулоса и Дидериха (для выемки купола).

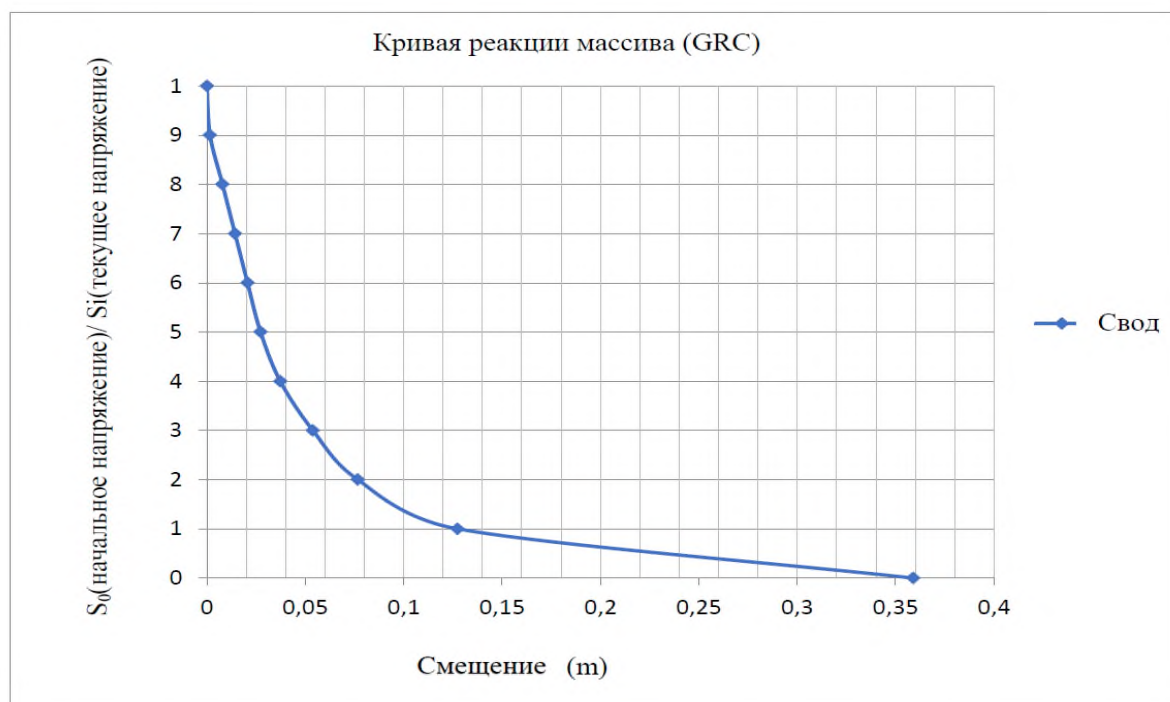


Рисунок 5 – Кривая реакции грунта и определение снятия напряжений в куполе до установки поддерживающей системы.

Кривая иллюстрирует зависимость между продвижением тоннеля 1 метр и смещением 9 см во время выемки. Этот график показывает поведение снятия напряжений в окружающей горной массе до установки системы поддерживающих конструкций.

Выводы

На основе результатов, представленных на рисунках 13 и 15, для уменьшения смещения горных пород и толщины пластичной зоны вокруг тоннеля необходима установка крепи. После всестороннего изучения контроля изгибающего момента, осевой силы и силы сдвига различных систем крепления

подходящая система крепления для всей протяженности тоннеля СТ-3 в районе разлома Ионахш оценивается следующим образом:

- коронка и стены: стальные ребра: IPE 450 мм, расстояние: 0,5 до 65 см заполняющего бетона;
- перевернуть: 50-сантиметровый бетон с арматурой (Ø25 с шагом 200).

Рецензент: Давлатшоев С.Қ. — к.т.н., зав. лаборатории энергетик, ресурс – и энергосбережения Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНПТ

Литература

1. Бандис, С.К. 1990. Механические свойства горных трещин. В сборнике материалов Международного симпозиума ISRM по горным трещинам, Лён, Норвегия (ред. Н. Бартон и О. Стефанссон), 125-140. Роттердам: Балкема.
2. Бартон, Н.Р., Лиен, Р. и Лунде, Я. 1974. Инженерная классификация горных пород для проектирования опор туннелей. Rock Mech. 6(4), 189-239.
3. Хоек, Э., Карранса-Торрес, К., Дидерихс, М.С. и Коркум, Б. (2008). Интеграция геотехнического и структурного проектирования в туннелестроении — лекция Керстена 2008. Сборник материалов 56-й ежегодной геотехнической конференции Университета Миннесоты. Миннеаполис, 29 февраля 2008, 1-53.
4. Гидропроект, 1174-Т15, Центральноазиатский филиал: Рогунская ГЭС на реке Вахш, Технический проект, Часть I, Том 3, Инженерно-геологические условия, Ташкент, 1978, № 1174-Т1.
5. Сакурай, С., 1993; «Метод прямой оценки деформации при строительстве подземных сооружений»; в сб. материалов 22-го Симпозиума США по горной механике. Бостон, Массачусетс (ред. Х.Х. Эйнштейн), стр. 278-282.
6. Влахопулос, Н. и Дидерихс, М.С. (2009). Улучшенные профили продольных смещений для анализа сжимающих усилий в глубоких туннелях. Журнал горной механики и горного строительства (принято к печати), 16 стр.
7. Гидропроект, 1861-2-II-3, Рогунская ГЭС на реке Вахш в Республике Таджикистан, Проект завершения строительства станции, Том 2, Природные условия, Книга 3, Инженерно-геологические условия, Москва, 2009, № 1861-2-II-3.
8. Анализ напряжений в туннелях, включая существующую облицовку, и предложения по укреплению и реконструкции, приложение В, результаты вывода модели НРІ в ч. 0+520 туннеля СТ1, 2015, стр. В-5, компания SAMANIAN.
9. Хасанов Н.М., Мехрубонов М.Х., Саидов С.А. Анализ геолого-структурных и гидрогеологических условий участка разлома строительного тоннеля СТ-3 Рогунской ГЭС // Теоретический и научно-практический журнал. Кишоварз. ТАУ.2024. №2. -С.178-183
10. Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Мехрубонов М.Х. Способы проходки гидротехнических сооружений в зонах тектонических разрывов Рогунской ГЭС // Политехнический Вестник №4. ТТУ, 2023. -С.103-111

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

RU	TJ	EN
Мехрубонов Мирзохаёт Хасанович	Мехрубонов Мирзохаёт Хасанович	Mehrubonov Mirzokhayot Khasanovich
Соискатель	Унвончуи	Applicant
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология АМИТ	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: mehrubonovm@mail.ru тел: (+992) 938180103		
RU	TJ	EN
Алимардонов Алишер Менгалиевич	Алимардонов Алишер Менгалиевич	Alimardonov Alisher Mengaliyevich
Ассистент	Ассистент	Assistant
Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
RU	TJ	EN
Хасанзода Нурали Мамед	Ҳасанзода Нуралӣ Мамед	Hasanzoda Nurali Mamed
Доктор технических наук, и.о. профессора	Доктори илмҳои техникии и.в. профессор	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: Khasanov.nurali@mail.ru тел: (+992) 988899575		

УДК 624

ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ ДЕРИВАЦИОННОГО ТОННЕЛЯ ДТ-4 РОГУНСКОЙ ГЭС

М.Х. Саидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приводятся сведения о выполненных работах по изучению механики грунтов и проекту нижней камеры затворов ДТ-4, расположенной между пикетами 13+57 м и 13+82 м ДТ-4. Следует отметить, что также проведены исследования по трем различным методам, использованным для проекта систем, крепи породы, которые будут установлены в процессе проходки нижней камеры затворов ДТ-4. После изучения ненарушенных пород и оценки состояния горных массивов были использованы эмпирические методы инженерных систем классификации горных пород с целью определения систем первичной крепи, которые понадобятся в процессе проходки нижней камеры затворов ДТ-4. Были разработаны инженерно-геологический план и профиль нижней камеры затворов ДТ-4, а также свойства ненарушенных пород и горных массивов, залегающих вокруг тоннеля, на основании всей имеющейся геологической и геотехнической информации.

Ключевые слова: камера затворов, земляные работы, крепи породы, скважины, массив горных пород, проходка, участок разветвления.

КОРҶОИ ЗАМИНКАНИИ НАҚБИ ДЕРИВАЦИОНИИ ДТ-4 НБО-и РОҒУН

М.Ҳ. Саидов

Дар мақола дар бораи корҳои анҷомдодашуда оид ба омӯзиши механикаи хок ва лоиҳаи камераи поёнии дарвозаҳои ДТ-4, ки дар байни пикетҳои 13+57 м ва 13+82 м ДТ-4 ҷойгир шудаанд, маълумот дода мешавад. Бояд гуфт, ки инчунин аз рӯи се усули ғуногуне, ки барои лоиҳаи системаҳои тақияҳои ҷинсҳои кӯҳи истифода мешаванд, тадқиқот гузаронда шуд, ки онҳо ҳангоми кофтани камераи поёнии нақби обпартои ДТ-4 гузошта мешаванд. Пас аз омӯختани ҷинсҳои вайроннашуда ва баҳодиҳии ҳолати ҷинсҳои кӯҳи усулҳои таҷрибавии системаҳои муҳандисӣ таснифоти ҷинсҳо барои муайян кардани системаҳои тақияҳои аввалия истифода шуданд, ки ҳангоми кофтани камераи поёнии дарвозаҳои ДТ-4 заруранд. Нақшаи муҳандисии геологӣ ва профили камераи поёнии дарвозаҳои ДТ-4, инчунин ҳосиятҳои ҷинсҳо ва массивҳои кӯҳи вайроннашудаи дар атрофи нақб ҷойгирбуда дар асоси тамоми маълумоти мавҷудаи геологӣ геотехникӣ тартиб дода шуданд.

Калидвожаҳо: камераи дарвоза, корҳои ҳафриётӣ, тақияҳои сангӣ, ҷоҳҳо, массиви ҷинсҳои кӯҳӣ, кофтуков, майдони шоха.

EXCAVATION WORKS OF THE DERIVATION TUNNEL DT-4 OF ROGUNSKAYA HYDROPOWER PLANT

M.H. Saidov

This article provides information on the work performed on the soil mechanics study and design of the DT-4 lower gate chamber located between pickets 13+57 m and 13+82 m of DT-4. It should be noted that studies have also been carried out on the three different methods used for the design of the rock support systems to be installed during the sinking of the lower chamber of the DT-4 gates. After examining the undisturbed rock and evaluating the condition of the rock masses, empirical methods of engineering rock classification systems were used to determine the primary support systems that would be required during the tunneling of the lower DT-4 gate chamber. A geotechnical engineering plan and profile for the lower chamber of the DT-4 penstock and the properties of the undisturbed rock and rock masses surrounding the tunnel were developed based on all available geologic and geotechnical information.

Keywords: gate chamber, earthworks, rock supports, boreholes, rock massif, sinking, branching section.

Введение

Земляные работы и крепи породы для нижней камеры затворов гидротехнического тоннеля ДТ4 расположены на правом берегу створа Рогунской ГЭС. Следует отметить, что расчеты стабильности и проект крепи породы для нижней камеры затворов ДТ4 были выполнены на основании геологических условий, известных на данном этапе проекта, исходя из имеющейся информации [1, 3-7], включая данные, полученные из геологических карт выкопанных участков ДТ-4 и подходного тоннеля АСТ-2 [10]. Также были использованы данные из новой разведочной скважины RE-37, пробуренной у пикета 13+57 ветви ДТ4-А непосредственно над нижней камерой затворов вдоль левой ветви общей протяженностью 96 м, для описания горного массива камеры. Хотя основной целью бурения скважины RE-37 было изучение разлома F35, который пересекает ДТ4-А и ДТ4-В у пикетов 14+17 и 14+43, соответственно, но с помощью этой скважины была получена очень полезная информация также и о состоянии горного массива в камере затворов.

Нижняя камера затворов ДТ-4 расположена ниже Ионахшского разлома и начинается у пикета 13+57 м, а заканчивается у пикета 13+82 м. Эта камера затворов выкопана перпендикулярно оси ДТ-4 и соединяет две ветви: ДТ-4А и ДТ-4В. На рисунках 1 и 2 показаны общий план и продольный профиль нижней камеры затворов ДТ-4.

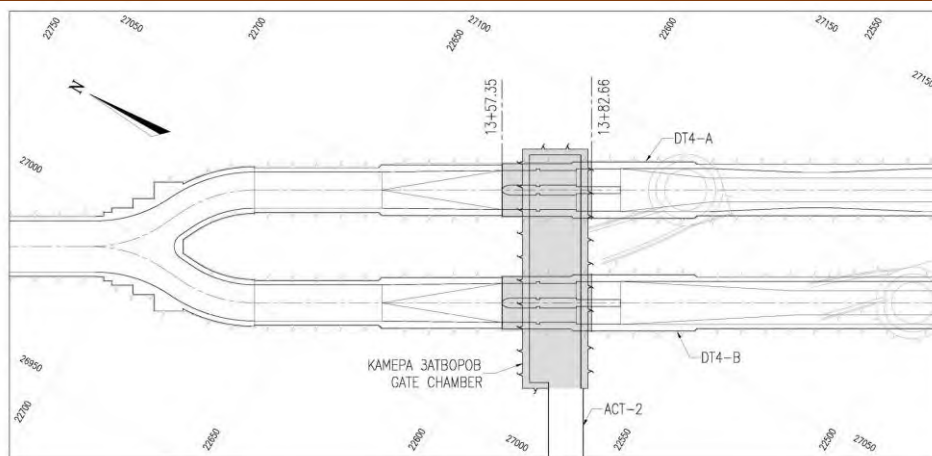


Рисунок 1 – Нижняя камера затворов гидротехнического тоннеля ДТ-4– общий вид

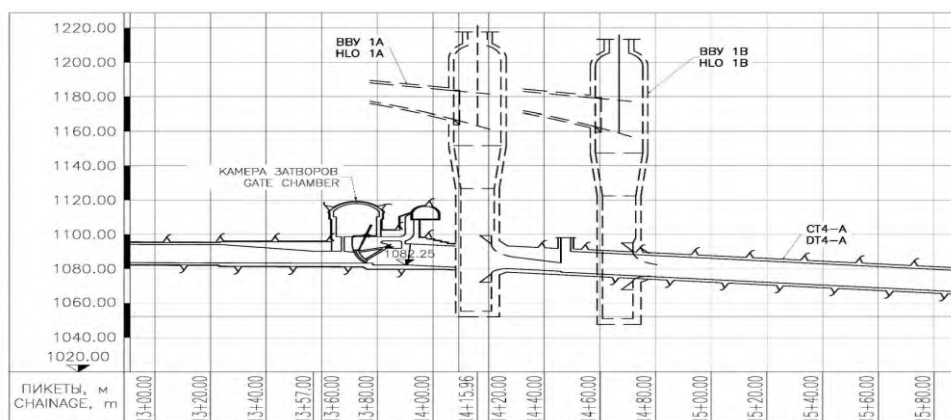


Рисунок 2 – Нижняя камера затворов тоннеля ДТ-4 – продольный профиль

Материалы и методы исследования

Следует отметить, что проходка ветвей ДТ-4 ниже разветвления выполняется в настоящее время в ходе геологического картирования этих ветвей, также были учтены данные дополнительных изысканий для определения местоположения разлома №35 на правом берегу, включая недавно пробуренную скважину RE-37.

Геологический план горизонта и продольный профиль ДТ-4 на участке нижней камеры затворов и разлома № 35 приведены на рисунках 3 и 4. Нижняя камера затворов ДТ-4 расположена в породах верхнеобигармской свиты (K_{1ob2}), сложенной преимущественно пластами песчаника.

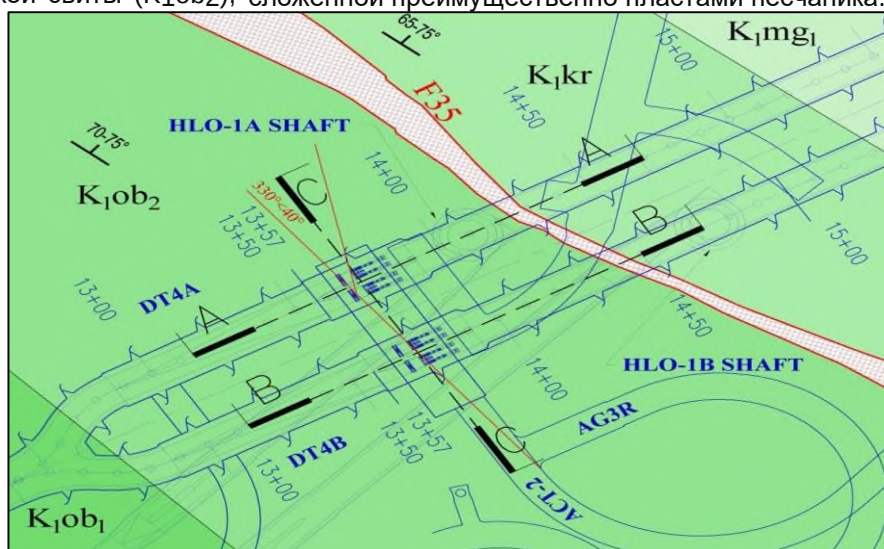


Рисунок 3 – Геологический план горизонта ДТ-4 на участке нижней камеры затворов

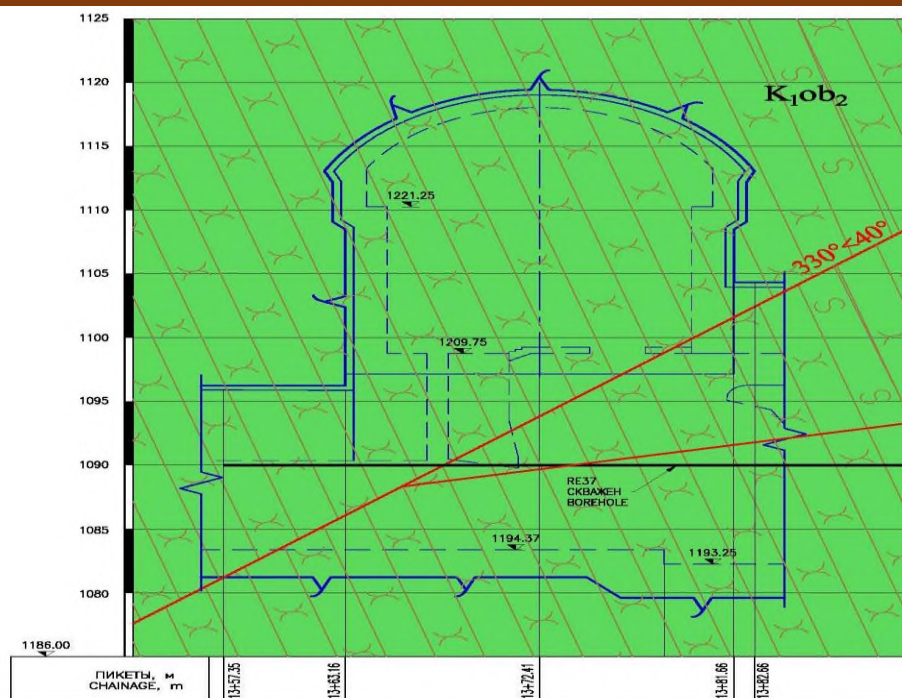


Рисунок 4 – Геологическое поперечное сечение нижней камеры затворов по трассе ветви ДТ4-А

Результаты и обсуждения

В целом, уровень грунтовых вод на правом берегу створа Рогунской ГЭС дренируется рекой. В летнее время, когда уровень в реке поднимается, река питает устой, и уровень воды в рядом расположенных скважинах с пьезометрами поднимается примерно на 6-8 м.

На участке нижней камеры затворов ДТ-4 уровень грунтовых вод является довольно ровным и намного ниже, чем на другом участке на правом берегу, особенно выше Ионахшского разлома. Это объясняется либо высокой проницаемостью горных массивов, либо дренированием воды уже имеющимися подходными туннелями и штольнями в этой части правого берега [2, 8, 9].

Учитывая вышеприведенные утверждения, вероятность появления высокого притока воды во время проходки нижней камеры затворов считается очень низкой.

После изучения ненарушенных пород и оценки состояния горных массивов были использованы эмпирические методы (инженерные системы классификации горных пород) с целью определения систем первичной крепи, которые понадобятся в процессе проходки нижней камеры затворов ДТ4 [1, 3, 4, 6]. Далее, применяя аналитический метод (анализ клиньев) и численный метод (конечно-элементный анализ), была выполнена проверка систем первичной крепи, разработанных по данным эмпирического метода, и было принято решение о необходимых системах крепи породы [7, 8, 10].

Был разработан инженерно-геологический план и профиль нижней камеры затворов ДТ-4, а также свойства ненарушенных пород и горных массивов, залегающих вокруг туннеля, на основании всей имеющейся геологической и геотехнической информации.

Выводы

Последовательность земляных работ и установка первичной крепи были выбраны в соответствии с геологическими условиями, известными на данном этапе проекта, на основании данных, собранных в ходе геологического картирования недавно построенных или строящихся прилегающих туннелей, расположенных на более низких отметках на правом берегу, включая ДТ-4 и туннели доступа к нему, ДТ-3 и его аэрационного туннеля (АТ2), а также по результатам дополнительных изысканий, проводимых с целью определения местонахождения разлома № 35 на правом берегу, включая недавно пробуренную скважину RE-37. В любом случае фактические геологические условия не будут полностью известны вплоть до завершения проходки этой камеры. В процессе земляных работ фактические геологические условия будут сравнены с проектными допущениями. Метод проходки и меры крепи будут адаптированы к локальным условиям. Кроме того, точное расположение горных массивов в границах нижней камеры затворов ДТ-4 будет определено на основании фактических условий по месту работ.

Рецензент: Икромов И.И. — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой строительной механики и гидротехнические сооружения ИГАУ имени Ш. Шотемур

Литература

1. Marinos V., 2010, "New Proposed GSI Classification Charts for Weak or Complex Rock Masses", Bulletin of the Geological Society of Greece Vol. 43. // Новые предложенные диаграммы классификации GSI для слабых или сложных горных массивов, Бюллетень геологического общества Греции, том 43

2. Hoek E., 2007 Edition, "Practical Rock Engineering", [http://www.rocsience.com/hoek/corner/Practical Rock Engineering.pdf](http://www.rocsience.com/hoek/corner/Practical%20Rock%20Engineering.pdf). // изд. 2007 г. «Практическое руководство по горному делу»
3. Hoek E. et al., 2002, "Hoek-Brown Failure Criterion - 2002 Edition".// Критерий разрушения Хок-Браун
4. Barton N., Lien R. and Lund J, 1974, "Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support", Rock Mechanics, 6, pp. 189-236 // Инженерная классификация горных массивов для проектирования крепи туннелей
5. Barton N., 2002, "Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design", Int. Jour. Roc. Mech. & Min. Sci., 39, pp. 185-216. // Некоторые новые корреляции значения Q с целью поддержки при описании характеристик площадок и проектировании туннелей
6. NGI Handbook, 2015, "Using the Q-System, Rock Mass Classification and Support Design", pp. 32-35. // Использование системы Q, классификация горных массивов и проект крепи
7. Brown E.T., 1981, "Rock Characterization, Testing and Monitoring", ISRM Suggested Method, Pergamon Press, Oxford. // Характеристики породы, испытания и мониторинг
8. Aydin A., 2009, "Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 46(3): 627–634.// Предложенный метод для определения твердости при отскоке молотка Шмидта
9. Hoek E. & Brown E.T., 1980, "Underground Excavation in Rock", E & FN Spon. //Подземные выработки в породе
10. Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Давронов Д.К. Анализ типов крепи породы на участке разветвления СТ-4 с методом конечно-элементного моделирования // Политехнический Вестник №2. ТТУ, 2024. -С.149-155

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – INFORMATION ABOUT AUTHOR

RU	TJ	EN
Саидов Мансур Хамрокулович	Саидов Мансур Ҳамрокулович	Saidov Mansur Khamrokulovich
кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов»	номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи «Механикаи назариявӣ ва муқовимати мавод»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials
Таджикский технический университет имени академика М.С.Осимӣ	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

УДК 628.8., 621.314.

САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ БИНОҲО ҲАМЧУН ОМИЛИ УСТУВОРИИ ЭКОЛОҒИ

П.С. Хуцаев, Ҷ.И. Исматуллозода, Н.А. Сулаймонова

Доншгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур нисбат ба масъалаҳои асосии сарфақории экологӣ ва баландбардории самаранокии энергия дар бино ва иншоот баррасӣ карда мешавад. Сарфаи энергияро аз рӯи ҳуҷҷатҳои меъёрӣ-ҳуқуқӣ барасии карда мешавад. Дар замони муосир масъалаҳои сарфақории экологӣ ва каммасрафии энергия то рафт муҳимтар шуда истодааст. Баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ бино ва иншоот аҳамияти махсус пайдо мекунад. Ҳангоми истифодаи захираҳои энергетикӣ барои баландбардории самаранокии энергетикӣ ва экологии биноҳо, ҳадди аққал кам кардани хароҷоти амалиётӣ барои ба муҳити зист таъсири манфӣ расонидан, мусоидат мекунад. Баландбардории самаранокии энергия дар бино ва иншоот ҳангоми гузарнидани тадқиқот нишон медиҳад, ки на танҳо хароҷоти энергия кам карда мешавад, балки сифати зиндагии сокинони бино ва иншоот ҳам беҳтар карда мешавад.

Калидвожаҳо: самаранокии энергия, қабати гармимуҳофизӣ, манбаъҳои алтернативии энергия, технологияҳои ҳушманд, аудити энергетикӣ.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

П.С. Хужаев, Дж.И. Исматуллозода, Н.А. Сулейманова

Описание статьи: в статье рассматривается энергосбережение в зданиях и сооружениях. Энергосбережение изучалось на основе нормативно-правовых документов в строительстве. В современных условиях экологические и энергосберегающие проблемы становятся все более актуальными. Особое значение приобретает повышение энергоэффективности зданий и сооружений. Повышение энергоэффективности зданий предполагает использование ресурсов с минимальными потерями, что способствует снижению эксплуатационных расходов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений при проведении исследований показывает необходимость не только снижения затрат на электроэнергию, но и улучшения качества жизни жителей зданий и сооружений. Сегодняшняя политика государства основана на том факте, что рекомендуется дальнейшее изучение и внедрение новых технологий, направленных на повышение эффективности и использование энергосберегающих решений в архитектуре.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляция, альтернативные источники энергии, интеллектуальные технологии, энергетический аудит.

ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AS A FACTOR OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

P.S. Khujaev, D.I. Ismatullozoda, N.A. Suleymanova

Article description: The article discusses energy conservation in buildings and structures. Energy saving was studied on the basis of regulatory documents in construction. In modern conditions, environmental and energy-saving problems are becoming more and more urgent. Increasing the energy efficiency of buildings and structures is of particular importance. Improving the energy efficiency of buildings involves using resources with minimal losses, which helps reduce operating costs and minimize negative environmental impacts. Improving the energy efficiency of buildings and structures during research shows the need not only to reduce energy costs, but also to improve the quality of life of residents of buildings and structures. Today's government policy is based on the fact that further study and implementation of new technologies aimed at increasing efficiency and using energy-saving solutions in architecture is recommended.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation, alternative energy sources, intelligent technologies, energy audit.

Муқаддима

Сарфақӯии энергия истифодаи маҷмуи захираҳои энергетикӣ дар замони муосир буда, талафоти энергия дар бино ва иншоот ҳангоми истифодаи оқилона, бартараф карда мешавад. Омилҳои асосии сарфақӯии энергия аз се зина иборат буда, риояи он аз тарафи ҳамаи истифодабарандагон энергия, яъне тамоми қишрҳои ҷомеа ва ташкилоту муассисаҳо ҳатмӣ мебошад, ки ин ҳам бошад: стандартикунонӣ, сертификатонӣ ва метрология. Омилҳои дар боло овардашуда дар раванди лоиҳакашӣ то сохтмони бино ва иншоот бо истифодаи масолеҳи нигоҳдорандаи гармӣ риояи ҳатмиро талаб менамоянд. Дар раванди сохтмони бино ва иншоот нигоҳдории гармии бино дар фасли зимистон ва муътадилсозии ҳаво дар фасли гармо масъалаи муҳим буда, истифодаи масолеҳҳои гуногуни сохтмонӣ (шишаҳо, хиштҳо ва дигар) самаранок хуби иқтисодӣ медиҳад.

Дар озмоишгоҳҳои кафедраи системаҳои таъмини об, газугармӣ ва ҳавотозакунӣ факултети сохтмон ва меъморӣ Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ мутахассисони ин соҳа барои баландбардории самаранокии ва сарфақӯии энергия нисбати қабатҳои гармимуҳофизии бино ва иншоот тадқиқоти илмӣ - амалӣ бурда истодаанд.

Дар мақолаи мазкур чунин роҳҳои асосии баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ бино ва иншоот баррасӣ гардидаанд:

1. Қабати гармимуҳофизӣ: беҳтар кардани хусусиятҳои қабати гармимуҳофизӣ дар деворҳо, сақф ва фаршҳо барои кам кардани истеъмоли энергия барои гармидиҳӣ ва хунуккунӣ кӯмак мекунад.

2. Дарҳои даромад ва тирезаҳои ҳозиразамони каммасраф: Насб кардани дарҳои муҳрбанди масолеҳи гармиҳифзкунанда ва тирезаҳои шишабандии дуқабата ё сеқабата, ки талафоти гарми ва хунукиро ба таври назаррас коҳиш медиҳанд.

3. Системаҳои вентилятсия ва муътадилсозии ҳаво: Насб ва татбиқи системаҳои венилятсияи механикӣ бо барқарорсозии гармӣ ва назорати сифати ҳаво шароити бароҳати дар бино ва иншоот бо хароҷоти ҳадди аққали энергия таъмин мекунад.

4. Энергияи алтернативӣ ва истифодаи онҳо: истифодаи панелҳои офтобӣ, турбинаҳои бодӣ ва системаҳои геотермалӣ имкон медиҳад, ки вобастагӣ аз захираҳои анъанавии энергетикӣ коҳиш ёбад.

5. Технологияҳои автоматикунонии системаҳои муҳандисӣ: истифода ва татбиқи системаҳои автоматикунонии идоракуни (биноҳои интеллектуалӣ) истифода ва сарфаи оқилонаи нерӯи барқро таъмин мекунад.

6. Санҷиши энергетикӣ: Ҳангоми мунтазам таҳти назорат грифтани истифода ё истеъмоли энергия, боиси ҳифзи захираҳои энергетикӣ мегардад.

Ҳангоми самаранок ва сарфаҷӯии энергия роҳҳои асосӣ ва чорабиниҳои муфидро пешбинӣ намудан лозим аст.

Тарҳи масъала:

Мушкилоти самаранокӣ энергия дар бино ва иншоот масъалаи асосӣ буда, дар сатҳи давлатӣ ва байналмилалӣ баррасӣ карда мешавад. Гузаронидани чорабиниҳо нисбат ба сарфаи энергия ҳалли масъалаи мазкур шуда метавонанд. Самаранокӣ ҳамаҷонибаи энергетикӣ бино ва иншоот аз банақшагирӣ, лоиҳакашӣ, ҳалномаҳои меъморӣ, сохтмонӣ, таъсири табиат ва иқлим дар речаи кории системаҳои муҳандисӣ бино ва иншоот бо роҳҳои автоматикунониҳо вобастагӣ дорад.

Меъёрҳои гармидиҳӣ дар замони муосир нисбати баландбардории самаранокӣ сатҳи лоиҳакашии бино ва иншооти таҳрезӣшуда ва таҷдидшударо бараси карда мешавад.

Нишондиҳандаи самаранокӣ энергия, ҳангоми муайян намудани миқдори мушахаси истеъмол ва талафоти захираҳои энергетикӣ дар сатҳи рушди ҳамагуна таъйинот барои масолеҳои таъминоти таҳлил карда мешавад.

Мувофиқи, Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон "Дар бораи сарфаи энергия ва самаранокӣ энергия" аз 29 августи соли 2013, №560, №1018 АМОҶТ с.2013, №8-9, мод. 651 тартиби идоракунии самаранокӣ энергетикӣ биноҳо, иншоот бо моддаи алоҳида ҷудо карда шудааст. Талаботи пешниҳодгашта нишондиҳандаҳои энергосамаранокӣ бино ва иншоот дар маҷмӯъ: қарори самаранокӣ энергия барои нақшагирӣ: сохторҳо ва конструксияҳои технологӣ ҳангоми истифодаи онҳо бараси карда шудаанд.

Сарфаҷӯии технологияи энергия дар сурати мавҷуд будан, истифодаи меъёрҳо, ҳуҷҷатнигорӣ, истифодаи қонунҳо ва меъёрҳои додашуда, меъёрҳои иқтисодӣ, дар анҷом таҳияи методологи илмӣ, ҳангоми истифода ва истеҳсоли таҷҳизоти каммасраф имконпазир аст.

Ҳуҷҷатҳои меъерӣ дар соҳаи сарфаи энергия дар сохтмон ба ҳуҷҷатҳои меъерӣ тасдиқшуда, аз ҷумла меъёрҳои сохтмонӣ (МҚС), стандартҳои давлатии ҚТ дар соҳаи сохтмон (СД), маҷмуи қоидаҳои лоиҳакашӣ ва сохтмон ва ҳуҷҷатҳои меъерӣ меъёрҳо ва қоидаҳои ҳудудии сохтмони субъектҳои ҚТ тақсим карда мешаванд. Аксари онҳо барои ноил шудан ба нишондиҳандаҳои муайяни самаранокӣ энергетикӣ бино ва иншоот дар марҳилаҳои тарроҳӣ ва истифода, аз қабili хароҷоти хоси энергия барои гармидиҳӣ, таснифи биноҳо ва танзими баҳодиҳии нишондиҳандаҳои самаранокӣ энергия ва ғайраро муқаррар мекунанд.

Амалан арзёбии самаранокӣ барои ҳамагуна система истифода мешавад. Баландбардории самаранокӣ меҳнат тавассути кам кардани меҳнат (ғайриистеҳсолӣ) имконпазир аст, ки дар ниҳоят ҳадафи асосии самаранокӣ энергия мебошад. Дар "Кумитаи меъморӣ ва сохтмон" дар бораи ташкили заминаи ҳуқуқӣ дар соҳаи сарфаи энергия, татбиқи лоиҳаҳои мушаххас ва ташкили дастгирии иттилоотии чорабиниҳои гузаронидашуда, қарорҳои дуруст қабул шудаанд.

Самаранокӣ ва сарфаҷӯии энергияи ҳангоми лоиҳакашии бино ва иншоот: талафоти энергия ҳангоми истифодаи он дар бино; сарфаи энергия ҳангоми раванди техникӣ ва тақмили он; ҳисоби сарфаи солоне; таҷҳизоти зарурӣ ва қимати онҳо; арзёбии тавсияҳо ва таъсири умумии иқтисодии пешбинишудаи дар боло зикр гардида ба назар гирифта шаванд.

Ҳангоми ба назар гирифтани тавсияҳои дар боло зикргардида талафоти энергияро ба таври назаррас метавонанд коҳиш ёбад.

Омилҳои асосии захира ва сарфаҷӯии энергия

1. Татбиқи сиёсати сарфаи энергия ин дуруст ба роҳ мондани истифодаи сӯзишвории саҳт ё газӣ мебошад. Дар ҳолат татбиқи дуруст дар ин самт, истеҳсол ва масрафи нодурусти сӯзишвориро 14-17% кам кардан мумкин аст.

2. Сатҳи нодурустии ҳисоби сохтори иқтисодиёт метавонад боиси мувозинати нодуруст дар таҳлили рушди соҳаҳо гардад. Вақте, ки суръати рушди соҳаҳо дуруст тафтиш карда намешавад, ин метавонад ба ҳатогиҳо дар ташаккули стратегияи иқтисодӣ ва сиёсати рушди соҳаҳо мусоидат кунад. Аз ҳисоби умумии масрафи захираҳои сӯзишвории истеъмолшуда ба 10-12% баробар шуда метавонад.

3. Ҳангоми татбиқи технологияҳои навин, истифодаи асбобҳо ва таҷҳизоти каммасраф равандҳои сарфаҷӯии энергияро хуб мегардонад. Дар ин ҳолат самтҳои мазкур метавонанд, талаботи энергетикиро аз захираҳои энергетикӣ 25-30% коҳиш диҳад.

Мувофиқи меъёрҳои ҷойдошта ҳар як панҷ сол нисбат ба талабот ва самаранокӣ энергияи истеҳсолшуда мониторингҳо гузаронида мешавад. Дар ташкилотҳои дахлдор нисбати баландбардории самаранокӣ энергия дар доираи вазоратҳо дида баромада мешаванд. Ҳамаи чорабиниҳои сарфаи энергия хусусияти ташкилӣ, ҳуқуқӣ, илмӣ, иқтисодӣ ва техникӣ доранд.

Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон барои беҳтар намудани самаранокии энергетикӣ бино ва иншоот нақшаҳои намунавиро пешниҳод ва тасдиқ намудааст, ки инҳо барои пешрафти ҷсоҳа дар ташкилоти идоракунанда саҳми худро мегузаронад. Нақшаҳо метавонанд, шомили тақмили стандартҳо ва қоидаҳои сохтмон, истифодаи масолеҳҳои сарфакунанда ва технологҳои навин, инчунин таъмини таълими омӯзишӣ барои мутахассисон ва муштариён бошанд. Ин нақшаҳо ба хотири як қисмҳои махсуси соҳаи сохтмон, аз ҷумла сохтмони биноҳо, иншоот таъсири мусбат мерасонанд. Дар натиҷа ин нақшаҳо самаранокии энергетикиро метавонанд, беҳтар намуда, ба ҳифзи муҳити зист кумак расонанд.

Нақша чорабиниҳо оид ба баландбардории самаранокии энергия дар шароити сохтмони бино ва иншоот аз қисматҳои зерин иборат аст:

1. Конструкцияи гарминигордорӣ ҳангоми муқовимати термикӣ. [2-5]:

Ҳангоми истифодаи дурусти қабатҳои гарминигордорӣ дар фарш, сақф, конструкцияҳои ихтавӣ ба миқдори 40% сарфи гармиро аз ҷумла бартараф намудани сурохиҳо дар деворҳо, тирезаҳо ба миқдори 2-4% талафоти гармиро коҳиш медиҳад. Ҳангоми истифодаи панҷараҳои вентилятсионӣ дар ҷойҳои лозима барои бартараф намудани намай дар сатҳи қабатҳои хотавӣ, муътадил намудани фазои бино ва иншоот хизмат мекунад. Истифодаи маводи андоваи коҳу гил дар конструкцияҳои ихтавӣ; кам намудани пайвастиҳои қабатҳо; шишабандии конструкцияҳои ихтавӣ ба монанди намои бино, балконҳо, даҳлезҳо ва дарҳои даромади бино сарфаи энергия то 10 – 12 %; истифодаи шишабандии дуқабата ва сеқабата; истифодаи дурусти каналҳои ҳавогузар; захираи энергияи офтоб ҳангоми шишабандии намои бино; дар ин ҳолат сарфаи энергия аз 10-25%-ро коҳиш медиҳад.

2. Баландбардории самаранокии ва сарфачӯии энергетикӣ системаи гармидиҳӣ [1-6]:

Истифодаи асбобҳои гармидиҳии ҳозиразамон аз ҷиҳати самараноктар; истифода ва насби ҳароратсанҷҳо, огоҳкунакҳои гармӣ ва танзимгарони ҳарорат ба асбобҳои гармкунӣ; истифодаи масрафсанҷҳои гармӣ дар ҳар як асбоби гармкунак (масрафсанҷҳои гармӣ, сатҳи нишондоди гармӣ, ҳарорат); татбиқ ва ҳисобкунии гармӣ аз рӯи шумораи сатҳ ва ҷойгиршавии гармкунакҳо; барои самаранокии гармидиҳӣ асбобҳои гармкунӣ дар қафои асбобҳо насб кардани экранҳо инъикоскунанда; масрафсанҷи гармӣ бо истифодаи он дар система (аз рӯи вақти шабонарӯз, аз рӯи шароити обу ҳаво, аз рӯи ҳарорати хонаҳо); насби масрафсанҷҳо ба хотири дурусти роҳандозии кори асбобҳои гармӣ; шустани асбоб ва системаҳои гармидиҳӣ дар фасли тобистон (мавсимӣ); истифода ва насби такшинкунакҳои обӣ дар вуруд ва баромади ҷузъи элеватории системаи гармидиҳӣ; гармидиҳии иловагӣ тавассути дастгоҳҳои эҳтиётӣ гармӣ; гармидиҳии иловагӣ ҳангоми гирифтани гармии аз манбаъҳои ғайрианъанавӣ; гармидиҳии иловагӣ тавассути хатҳои эҳтиётӣ.

3. Нақшаҳои гармидиҳии инфиродӣ, ҳангоми таъмири система.

Ҳангоми таъмир ва ба нақша гирифтани самаранокии системаҳои вентилятсия ва муътадилсозии ҳаво, бояд камхарҷӣ ва каммасрафии онро ба этибор гирифт: [9 - 12] автоматикунони системаи вентилятсия ва муътадилсозии ҳаво; насби ҳавогардонҳо (вентилятор) дар ҷойҳои махсус ё тирезаҳо; истифодаи системаҳои ҳозиразамон бо гармидиҳии ҳавои воридшаванда ва танзими таъминот ҳангоми истифодаи онҳо; тарроҳии системаи вентилятсия бо таври истисно дар дохили бино; истифодаи дурусти ҳавогардонҳо дар системаҳои вентилятсия бо танзими дуруст ё бо басомади зинаҳо; дар системаҳои муҳандиси истифодаи огоҳкунакҳо; ҳангоми ҳолатҳои фавқулода истифодаи зарфҳои пур аз об; хориҷ намудани гармии зиёдӣ бо сохторҳои муҳофизатӣ; гарм кардани ҳавои воридшаванда аз ҳисоби хунук кардани ҳавои хориҷшаванда; насби насосҳои гармӣ барои хунук кардани ҳавои хориҷшуда; насби насосҳои гармии баръакс дар таҳонаҳо барои хунук кардани ҳаво ба ҳавокашии таъминот.

4. Масрафи системаҳои таъминоти оби гарм ва хунук:

Насби масрафсанҷҳои муосир барои системаҳои таъминои оби гарм ва хунук; насб кардани ҳисобкунакҳои ҳаророти об; истифодаи масрафсанҷҳо дар ҳар як истифодабарандаи оби хунук; насб кардани танзимкунакҳои фишор (паст кардани фишор ва баробар кардани фишор дар ошёнаҳо); изолятсияи гармии кубурҳои ТОГ-таъмини оби гарм (таъминкунанда ва гардиш); баланд бардоштани ҳарорати оби гарми додашуда (аз насоси гармӣ, аз оби шабакаи баръакс ва ғайра); истифодаи муҳри сарпӯш ва ҷумакҳо барои назорати масрафи об дар муштариҳо; насб кардани ҷумакҳои шарнирӣ дар нуқтаҳои ҷудокунӣ коллективӣ; истифодаи дастшӯякҳои муосир (дусексиягӣ); автоматикунони ҷумакҳои об бо ҳарорати баланд.

5. Сарфаи нерӯи барқ дар системаҳои муҳандисии бино ва иншоот [3-6]:

Иваз кардани лампаҳои тафсон дар даромадгоҳ ба ҷароғҳои каммасрафи флуоресцентӣ; истифодаи муҳарриқҳои танзимшавандаи муосир; истифодаи ҷароғҳои кӯча бо ҷароғҳои каммасрафи муосир; истифодаи танзимкунакҳои фотоакустикӣ барои ба таври идорашаванда фаъол кардани манбаъҳои нур дар таҳонаҳо, ошёнаҳои техникӣ ва даромадгоҳҳои хонаҳо; насби ҷуброндиҳандаҳои тавоноии реактивӣ; насби фишорафзоҳои бо басомади танзимшаванда; истифодаи техника ва технологияи аз ҷиҳати самаранокии баланди синфи А+, а++; истифодаи панелҳои офтоби ҳангоми эҳтиётот.

Додани маълумоти умумӣ ҳангоми хизматрасонӣ ба муштариён дар ҳолатҳои сарфаи энергия хеле муфид мебошад.

Чандин сабабҳои талафоти сарфаи энергияи гармӣ дар бино ва иншоот вучуд дорад. Аз ин лиҳоз, нақшаҳои пешгирикунанда ҷиҳати сарфаи энергияи гармӣ метавонанд самаранокии энергетикиро зерӣ таъсир қарор диҳанд.

Сабабҳои, ки боиси масрафи зиёди энергия шуда метавонанд:

Қабатҳои гармимухофизи нокифоя; талафои ҳаво ҳангоми муқовимати бисёр; ноустувории ҳавогузаракҳо барои гардиши ҳаво; самаранок набудани системаи гармидиҳӣ; истифодаи таҷҳизоти сифати паст.

Ҳангоми лоиҳакашӣ ва сохтмонӣ бартараф намудани сабабҳои дар боло зикргардида ё, ҳадди аққал, кам кардани таъсири онҳо метавонад, самаранкии энергияи сарфшавандаро дар бино ва иншоот мусоидат намуда, сарфаи энергияро баланд бардорад.

Омили дигари сарфаи энергия

Дар баъзе ҳолатҳо ҳангоми бино дар болои замини хунук сохта шуданаш сабаби талафоти бисёри энергияи гармӣ мегардад. Аз ин лиҳоз, бояд биноҳо бо таҳкурсиҳо ва таҳхонҳои бо гармӣ таъминшаванда пешбинӣ карда шаванд.

Ҳангоми гармкунии фаъол, қабатҳои ихтавӣ ва фаршҳо аз дохили бино гарм карда шуда, равандеро дар шароити оптималии энергияи ҳарорат ва бароҳатиро барои муштариён дар фасли зимистон муҳаё меозанд.

Вақте ки гармӣ аз системаи гармидиҳӣ (масалан, радиаторҳо) ба деворҳо ва шифт интиқол дода мешавад, интиқоли газӣ гарм дар доира, яъне ба атмосфераи дохилии бино хеле осонтар аст.

Вақте ки гармии ин деворҳо ва шифтҳо зиёд мешавад, он аз бино берун мешавад. Ин раванд бо қисмҳои гузаронанда, конвективӣ ва нурдиҳанда муайян карда мешавад. Гармие, ки бо дилҳо раванд аз қабати деворҳои хунук ба берун ҳаракат мекунад, деворҳоро аз хунукшавӣ эмин медорад.

Ин равандҳо барои ҳифзи гармӣ муҳим буда, он миқдори гармиро, ки элементҳо ва қабурғаҳои саҳт метавонанд ба атмосфераи атроф паҳн кунанд, бармегардонад. Идоракунии гармӣ дар биноҳои истиқоматии баладошӯна барои баланд бардоштани самаранокии энергия ва кам кардани фарқияти ҳарорат байни ҳуҷраҳои дохилӣ ва берунӣ хеле муҳим аст.

Хулоса

Талафоти гармии бино ва иншоот - яке аз муҳимтарин масъалаҳои лоиҳакашӣ ва сохтмонӣ дар фасли зимистон мебошад. Интиқоли гармии масолеҳи сохтмонӣ, ки дар натиҷаи онҳо дар бино сарпӯши гармии гармидиҳӣ ба деворҳо, сақфҳо ва тирезаҳо интиқол меёбад, омили асосии талафоти гармии хона мегардад.

Мувофиқи тадқиқот талафоти гармии биноҳо аз ҳисоби конструкцияҳои ихтавии бино ва иншоот гуногун шуда метавонанд.

Онҳо дар шаклҳои зерин ҷой гирифтаанд:

Деворҳои ихтавии бино ва иншоот (20-30%): Сақфҳо (20-30 %): Сарпӯшҳои таҳхона (5-10 %):Талафоти гармии тавасути таҳхонаҳои бино ва иншоот (10 %):Тиреза (10-20 %): Ҳавогузарҳои вентилатсионӣ (25-35 %):

Аз ин лиҳоз, имруз бояд дар вақти лоиҳакашӣ сарфа ва сарфачӯи энергияро аз рӯи ҳуҷҷатҳои меъёрий-ҳуқуқӣ дар соҳаи меъморӣ ва сохтмон роҳандозӣ намудан лозим аст.

Қайд намудан бомавид аст, ки баланд бардоштани самаранокии энергия дар биноҳо на танҳо барои расидан ба ҳадафҳои энергетикӣ ва экологӣ, балки барои кам кардани хароҷот ва беҳтар кардани шароити зиндагии сокинон низ зарур аст. Тақлифи ин усулҳо яъне техникаю технологи, бо назардошти истифода ва татбиқи онҳо, метавонад вусъати назарраси самаранокии энергияро ба вучуд оварад.

Ҳамин тариқ, самаранокии энергияи гармӣ тавассути гузаронидани тадқиқот ва озмоишҳои пайдарҳамӣ энергетикӣ бино ва иншоот, раванди таҳлили доимӣ, татбиқи чорабиниҳои интиҳобшудаи сарфаи энергия, арзёбии таъсири ҳосилшуда ба даст оварда метавонад.

Муқаррир: Ҳасанов Н.Н. – Доктори меъморӣ, профессори кафедраи меъмории биноҳо ва иншоот-и ДҶТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон дар бораи сарфачӯӣ ва самаранокии энергия, аз 19 сентябри соли 2013 №1018 АМОҶТ с.2013, №8-9, мод.651
2. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон дар бораи энергетика (АМОҶТ, соли 2000, №11, мод.504; соли 2005, №12, мод. 633; с. 2007, №6, мод. 436; с.2007, №7,мод.672; с.2009, №9-10, мод.549; с.2011, №6, м.440, с.2013,№7, мод. 526, №12, мод. 898)
3. Хучаев П.С., Саидзода Ҷ. Ҳ., Ғанизода Ҷ.Ш., Сафарзода Д.Ғ. Лоиҳакашии биноҳои энергиясамаранок бо деворҳо аз масолеҳҳои табиӣ. ВЕСТНИК. Таджикского технического. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №1 (57) – 2024 С-224-231 Душанбе 2024.

4. Хужаев П.С. Омилҳои паст шудани хусусиятҳои гармимухофизӣ ва баланд бардоштани характеристикаи гармимухофизии қабатҳои ихтотавии бино. //ВЕСТНИК. Таджикского Национального Университета. Серия геологических и технических наук 2023. №1 ISSN 2664-1534 – С.167-177 2023.

5. Хужаев П.С., Исмаилов Д.И., Хасанов Ф.Н. Энергоэффективные стеновые ограждения зданий с высокими теплозащитными характеристиками //Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии национальной академии наук Таджикистана. Том 3. Стр 109-118 Душанбе

6. Хужаев П.С., Почечев М.М., Сайдгуфонов Н.П., Сайдгуфонов Б.П. Оценка теплозащитных свойств наружных ограждений сельских жилых зданий Материалы международной научно-практической конференция на тему “Интеграция науки, образования и предприятий при производстве современных строительных материалов и изделий”. Республика Узбекистан город Самарканд. (2022 год, 27-28 октября) С. 203 – 206

7. Хужаев П.С., Почечев М.М. Тепло-влажностный режим наружных ограждений на примере наружной стены с утеплением из минераловатного блока. //материалы международной научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели – индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия» (9-10 декабря 2021 г.) Душанбе 2021 С 283-290

8. Табунчиков Ю.А., Наумов А.Л. Энергоэффективность в строительстве. Гармонизация отечественной нормативной базы // АВОК. – 2012.– № 6.

9. Ливчак В.И. Еще один довод в пользу повышения теплозащиты зданий // Энергосбережение. – 2012.– № 6.

10. Ливчак В.И., Забегин А.Д. Преодоление разрыва между политикой энергосбережения и реальной экономией энергоресурсов // Энергосбережение. – 2011.– № 4.

11. Ливчак В.И. Установление уровней удельного годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение многоквартирных домов и обеспечивающих их систем автоматизации теплопотребления // ЭНЕРГОСОВЕТ. – 2012. – № 4 (23) (июль–август).

12. Шокиров Р.М., Каримов Н.М., Мухибуллоев Н.М. Повышение теплозащитных качеств наружных стен зданий

13. из легких блоков (на примере Таджикистана) //Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования. Душанбе, 2020. №. 3, С. 133-138.

14. Хужаев П.С., Сулаймонов А.А., Почечев М.М., Сулаймонов З.А.- Снижение энергопотребления здания путем применения теплоизоляционных материалов.-// Вестник Таджикского технического университета. –Душанбе, 2015. -№2(30). – С.122-127

15. Почечев М.М., Хужаев П.С. Анализ теплозащитных свойств наружных ограждений сельских жилых зданий. // Вестник Таджикского технического университета. Политехнический вестник –серия; Инженерные исследования – Душанбе, 2019. -№4(48). – С.140 -144

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

TJ	RU	EN
Хужаев Парвиз Сайдгуфонович Номзади илмҳои техники, дотсент	Хужаев Парвиз Сайдгуфонович Кандидат технических наук, доцент	Khujaev Parviz Saidgufronovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техники 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: pkhujaev@gmail.com		
TJ	RU	EN
Исмаилов Дамшад Исмаилов унвонҷӯй	Исмаилов Дамшад Исмаилов соискатель	Ismatullozoda Jamshed Ismatullo applicant
Донишгоҳи техники 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
Сулейманова Назокатхон Абдусаторовна н.и.т., и.в. дотсент	Сулейманова Назокатхон Абдусаторовна к.т.н., и.о. доцента	Suleymanova Nazokathon Abdusattorovna Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor
Донишқадаи куҳи-металлургии Тоҷикистон	Горно- металлургический институт Таджикистана	Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan

Приложение 1
к Положению о научном журнале
"Политехнический вестник"

ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ статей в журнал "Политехнический вестник"

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:

- статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).

3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.

4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD¹ на таджикском, английском или русском языке:

ВВЕДЕНИЕ (Introduction)	Почему проведено исследование? Что было исследовано, или цель исследования, какие гипотезы проверены? Включает: актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)	Когда, где и как были проведены исследования? Какие материалы были использованы или кто был включен в выборку? Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)	Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).
ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)	Что подразумевает ответ и почему это имеет значение? Как это вписывается в то, что нашли другие исследователи? Каковы перспективы для будущих исследований? Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: соответствие полученных результатов гипотезе исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (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

Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность,

Title²

Ташкилот, Организация, Organization

e-mail

ORCID³ Id

Телефон

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)	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
ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS).	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
ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора)	
БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)	Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.
ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING)	Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION)	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.

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. Рачабовҳо, 10^А

Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10^А

Ба чоп 27.06.2025 имзо шуд. Ба матбаа 30.06.2025 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. Рачабовҳо, 10^А**