

ISSN 2520-2227

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

4 (72) 2025



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Инженерные исследования

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Engineering studies

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҲҚИҚОТӢ МУҲАНДИСӢ

ISSN
2520-2227

4(72)
2025



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

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

М.А. АБДУЛЛО

н.и.т., дотсент

А.Қ. РАҲМОНЗОДА

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

М.А. АБДУЛЛО

к.т.н., доцент

А.ДЖ. РАҲМОНЗОДА

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>ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА.....</u></i> | <i><u>6</u></i> |
| Н.И. Усмонзода, А.Л. Кадыров..... | 6 |
| <i><u>ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ВИХРЕВОГО ДЕЙСТВИЯ С U – ОБРАЗНЫМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ КАВИТАЦИИ</u></i> | <i><u>12</u></i> |
| ¹ Р.О. Азизов, ² Г.С. Столяренко, ¹ Н. Васиредди | 12 |
| <i><u>БАРРАСИИ ТАҲҚИҚОТИ ҲИСОБИ РЕЗОНАНС ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ</u></i> | <i><u>16</u></i> |
| З.Ҳ. Ҳабибуллозода | 16 |
| МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE..... | 23 |
| <i><u>КАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ НЕКОТОРЫХ РЕАКЦИЙ БЕНЗОЛА И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СОГЛАСНО КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ</u></i> | <i><u>23</u></i> |
| Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев | 23 |
| <i><u>ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ</u></i> | <i><u>27</u></i> |
| Б.Н. Одиназода ¹ , М.М. Хакдодов ² , М.М. Хакдод ² | 27 |
| <i><u>ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КАТОДНОЙ МЕДИ МАРКИ М00</u></i> | <i><u>32</u></i> |
| ¹ М.Б. Акрамов, ¹ С. Зубайдов, ¹ А.С. Кодиров, ² Х.О. Норкулов, ² Дж.М. Анваров | 32 |
| <i><u>ПОДБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ</u></i> | <i><u>38</u></i> |
| С.С. Гулов, Дж.Н. Алиев | 38 |
| <i><u>ТАДҚИҚИ ОКСИДШАВИИ БАББИТИ СУРБӢ Б(PbSb15Sn10) БО ИНДИЙ, ДАР ҲОЛАТИ САХТ.....</u></i> | <i><u>45</u></i> |
| Х.М. Ҳочаназаров., И.Н. Ғаниев, Ш.Х. Саидов, Р.Д. Исмонзода | 45 |
| ТЕХНОЛОГИИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY | 54 |
| <i><u>ПЕРЕРАБОТКА СУЛЬФИДНЫХ МЕДНЫХ МЫШЬЯКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ХЛОРИРУЮЩИМ ОБЖИГОМ.....</u></i> | <i><u>54</u></i> |
| ¹ Х. Ш. Раҳимзода, ¹ Б.Б. Эшов, ² А. Бадалов, ³ О. Оқил, ³ А.А. Қадиров | 54 |
| <i><u>РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ВОДНО-СУЛЬФАТНОЙ СИСТЕМЫ $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ НА ОСНОВЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ</u></i> | <i><u>60</u></i> |
| П.А. Мухторов, М.Б. Усмонов, С. Умаралии, Х. Қурбонова, Х.И. Холов | 60 |
| <i><u>ТАШАҚҚУЛИ ТАРКИБИ ХИМИЯВИИ ОБҲОИ ЗЕРИЗАМИНӢ ВА ТЕХНОЛОГИИ БЕЗАРАРГАРДОНӢ ТАВАССУТИ КОАГУЛЯНТҲО</u></i> | <i><u>66</u></i> |
| ¹ А.С. Қодиров, ² У.О. Толибзода, ¹ Ф.И. Начмудинова, ² Ф.И. Шаймурадов, ³ И.М. Раҳимов | 66 |
| <i><u>УСУЛҲОИ АСОСИИ ИСТЕҲСОЛ ВА ҲОСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ КАТАЛИЗАТОРҲОИ БИСЁРҶУЗЪА</u></i> | <i><u>73</u></i> |
| М. Идизода., Б.С. Саидзода | 73 |
| НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT | 77 |
| <i><u>НАДЕЖНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА УКЛОНАХ ...</u></i> | <i><u>77</u></i> |
| Р.А. Давлатшоев | 77 |
| <i><u>РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОРШНЕВОГО МЕХАНИЗМА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ХОДОМ ПОЛЗУНА</u></i> | <i><u>84</u></i> |
| Б.Н. Акрамов, И.А. Исматов | 84 |
| <i><u>ЗАДАЧИ ПО УЛУЧШЕНИЮ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА</u></i> | <i><u>89</u></i> |

| | |
|--|------------|
| С.Б. Мирзозода, Ж.И. Содиков, Ф.С. Мирзоев..... | 89 |
| КОМПЛЕКСНАЯ АЛЮМИНИЕВАЯ СМАЗКА ДЛЯ ТРИБОУЗЛОВ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ | 97 |
| М.Ю. Юнусов, М.С. Холикзода, Ш. Шарифов, О.С. Ниёзов | 97 |
| ИСТИФОДАИ УСУЛҲОИ ИННОВАТСИОНӢ БАРОИ РУШДИ ИНФРАСОХТОРИ НАҚЛИӢИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН | 102 |
| Қиёмиддин Давлатзода..... | 102 |
| РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМИ АКТИВАМИ (СУДА) | 106 |
| НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА | 106 |
| С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев..... | 106 |
| СТАНДАРТИЗАЦИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИСТИКИ ТАДЖИКИСТАНА: СТРАТЕГИИ К СТАНДАРТАМ – СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ | 115 |
| ¹ Р.С. Саломзода, ² М.Дж. Бобоев | 115 |
| БАҲОГУЗОРИИ СИФАТИ ХИЗМАТРАСОНИИ НАҚЛИӢИ МУСОФИРБАР ДАР ШАҲРИ ДУШАНБЕ БО УСУЛИ КОЭФФИЦИЕНТИ КОНКОРДАТСИЯ | 121 |
| Ф.Ҳ. Саидзода, У.Ҷ. Ҷалилов | 121 |
| СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE..... | 134 |
| ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВХОДНЫХ ПАНДУСОВ ИНКЛЮЗИВНЫХ УЧЕБНЫХ ЦЕНТРОВ | 134 |
| Р.М. Шокиров, А.Р. Муминов, С.А. Миралиев | 134 |
| ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ | 141 |
| ¹ Низомов Джахонгир Низомович, ² Иномзода Абдуназар | 141 |
| ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С ДОБАВКОЙ ИЗ ВОЛЛАСТОНИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ | 146 |
| Дж.Х. Саидзода, А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода | 146 |
| ТАҲҚИҚИ ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКИЮ – ДЕФОРМАТСИЯШАВИИ КОНТУРҲОИ ИНШООТҲОИ ЗЕРИЗАМИНИИ МАҲКАМКАРДАШУДА БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРАЛИИ КАНОРӢ | 151 |
| С.С. Зарифов | 151 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНО-ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ..... | 157 |
| Дж.Х. Саидзода, Р.Х. Сайрахмонов, Я.Г. Назиров, А.С. Рахматзода..... | 157 |
| ГРАНИЧНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ..... | 166 |
| Иномзода Абдуназар (Дадобоев Абдуназар Иномович) | 166 |
| ПРИНЦИПҲОИ МУОСИРИ ЛОИҲАКАШИИ БИНОҲОИ МУАССИСАҲОИ ТАҲСИЛОТИИ ФАРОГИР | 170 |
| А.Р. Муминов | 170 |
| СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА С ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВОК | 175 |
| А.А. Акрамов | 175 |
| ВЛИЯНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ТВОРЧЕСТВА НА ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ГОРОДА | 182 |
| (на примере города Душанбе)..... | 182 |
| Д.Ш. Ганизода | 182 |
| ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН | 187 |
| Р.Х. Сайрахмонов, Дж.Х. Саидзода, Дж.А. Бердиев, Я.Г. Назиров | 187 |
| МОНУМЕНТАЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОЕ ИСКУССТВО КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ | 194 |
| Дж.Ш. Ганизода | 194 |

| | |
|--|-------------------|
| <u>ОМИЛУ ТАЛАБОТИ МУТААСИР БА ҲАЛҲОИ МЕЪМОРӢ-ТАРҲРЕЗӢ ВА БАСТАКОРИИ МУАССИСАҲОИ ТАҲСИЛОТИИ ФАРОГИР.....</u> | <u>200</u> |
| А.Р. Муминов, Н.Н. Ҳасанов, Ф.Н. Ҳасанов..... | 200 |
| <u>ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЗЕЛЁНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ.....</u> | <u>209</u> |
| Ш.З. Усмонов..... | 209 |
| <u>ТАВСИЯҲО ОИДИ БЕҲҲАРДОНИИ ТАВСИФОТИ АКУСТИКИИ БИНОҲОИ ҶАМЪИЯТӢ.....</u> | <u>216</u> |
| Б.С. Ашурзода, Н.Н. Ҳасанов, Р.Х. Пирматов, З.А. Ҷумаева..... | 216 |
| <u>ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОР НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА.....</u> | <u>221</u> |
| А.А. Акрамов..... | 221 |

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Н.И. Усмонзода, А.Л. Кадыров

ГОУ «Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова»

В этом исследовании рассматриваются параметры ветра и ветроэнергетического потенциала с использованием статистического двухпараметрического распределения Вейбулла в городе Худжанде. Предлагаются и описываются метод максимального правдоподобия (ММП) и метод моментов (ММ) для моделирования скорости ветра. Оказалось, что оба метода дают очень похожие результаты с сопоставимой точностью и основаны на широком использовании цифровых технологий. Для исследования были использованы данные METAR, собранные на территории аэропорта «Худжанд» Согдийской области за десять лет (2015–2024 гг.). Сезонная структура параметра формы указывает на повышение регулярности ветра в зимний и летний периоды ($k > 2$) и усиление турбулентности весной и осенью ($k \approx 1.86$). Анализ показал, что годовые значения масштабного параметра варьировались от 5,09 до 6,06.

Ключевые слова: энергия ветра, распределение ветра, частота скорости ветра, закон Вейбулла, плотности энергии ветра.

ИСТИФОДАИ ТАҚСИМОТИ ВЕЙБУЛЛ ВА МОДЕЛҶОИ АЛТЕРНАТИВӢ БАРОИ АРЗЕБИИ ПОТЕНСИАЛИ ЭНЕРГИЯИ ШАМОЛӢ

Н.И. Усмонзода, А.Л. Қодиров

Ин тадқиқот параметрҳои шамол ва потенциали нерӯи шамолро бо истифода аз тақсими дупараметрии статистикуи Вейбулл барои шаҳри Хучанд баррасӣ мекунад. Усули эҳтимолияти максималӣ (ММП) ва усули лаҳзаҳо (ММ) барои модели намунаи суръати шамол пешниҳод ва тавсиф карда мешавад. Маълум шуд, ки ҳарду усул бо дақиқии муқоисасаванда натиҷаҳои хеле монанд медиҳанд ва ба истифодаи васеи технологияҳои рақамӣ асос ёфтаанд. Барои тадқиқот маълумоти METAR, ки дар фурудгоҳи Хучанд, Вилояти Суғд дар тӯли даҳ сол (2015-2024) ҷамъоварӣ шудааст, истифода шудааст. Сохтори Мавсимии параметри шакл ба баланд шудани мунтазамии шамол дар давраи зимистон ва тобистон ($k > 2$) ва афзоиши турбулентӣ дар баҳор ва тирамоҳ ($k \approx 1.86$) ишора мекунад. Таҳлил нишон дод, ки арзишҳои солонаи параметри миксис с аз 5,09 то 6,06 фарқ мекунад.

Калидвожаҳо: энергияи шамол, тақсими шамол, суръати шамол, қонуни Вейбулл, зичии энергияи шамол.

APPLICATION OF THE WEIBULL DISTRIBUTION AND ALTERNATIVE MODELS FOR ESTIMATING WIND ENERGY POTENTIAL

N.I. Usmonzoda, A.L. Kadyrov

This study examines the parameters of wind and wind energy potential using a statistical two-parameter Weibull distribution in the city of Khujand. The maximum likelihood method (MMF) and the method of moments (MM) for modeling wind speed are proposed and described. It turned out that both methods produce very similar results with comparable accuracy and are based on the widespread use of digital technologies. For the study, METAR data was used, collected on the territory of Khujand airport, Sughd region. Over the ten years (2015-2024), the seasonal structure of the shape parameter indicates an increase in the regularity of wind in winter and summer ($k > 2$) and increased turbulence in spring and autumn ($k \approx 1.86$). The analysis showed that the annual values of the scale parameter c ranged from 5.09 to 6.06.

Keywords: Wind energy, wind distribution, wind speed frequency, Weibull's law, wind energy density.

Введение

Альтернативные источники энергии, в первую очередь ветер и солнечная энергия, в последнее время все больше привлекают внимания исследователей, конструкторов, разработчиков, промышленных производителей. С точки зрения многообещающих возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые следует изучать в целях снижения зависимости от ископаемых видов топлива, которые исчерпываются, истощаются, производят выбросы парниковых газов и растут в цене. В частности, энергия ветра сегодня является одним из самых быстрорастущих и широко используемых ВИЭ для производства электроэнергии благодаря ее чистым, возобновляемым, высокоэффективным и экономически выгодным характеристикам.

Постановка задачи

Ветер определяется как движение воздуха в атмосфере, чтобы уравновесить неравенство тепла, вызванное неравномерным нагревом воздуха главным источником энергии - Солнцем. Этот нерегулярный нагрев производит кинетическую энергию, которая преобразуется в механическую энергию системой преобразования энергии ветра (WECS). Мощность ветра представляет собой скорость изменения кинетической энергии и может быть оценена с помощью хорошо известного уравнения 1:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

где P - мощность ветрового потока, A - площадь, через которую проходит поток (м^2), ρ - плотность воздуха ($\text{кг}/\text{м}^3$) и v - скорость ветра ($\text{м}/\text{сек}$). Приведенное выше уравнение мощности указывает на то, что мощность ветра в

основном зависит от куба скорости ветра; следовательно, небольшое изменение скорости ветра может оказать значительное влияние на мощность ветровой турбины. Видно, что с увеличением в 3 раза скорости ветра мощность электроустановок на основе энергии ветра возрастает в 27 раз. Поэтому для эффективного использования энергии ветра в конкретном месте необходимо точное и подробное знание скорости ветра.

Несколько статистическое распределение было использовано для моделирования скорости ветра в определенных областях, таких как гауссово, логарифмически нормальное, Вейбулла и квадратное нормальное. Среди них распределение Вейбулла было признано широко используемым и наиболее эффективным.

Это одно из самых гибких распределений, которое может быть использовано для представления различных типов физических явлений. Важно знать количество часов в месяц или в год, в течение которых наблюдались заданные скорости ветра, т.е. частотное распределение скоростей ветра. Когда процентное распределение частот (F%) строится против ветра, распределение частот отображается в виде кривой (рисунок 1). Вершина этой кривой является наиболее частой скоростью ветра. Это распределение частот используется также для определения наиболее подходящего места для ветряной турбины. Распределение Вейбулла (названное в честь шведского физика У. Вейбулла, который применил его при изучении прочности материалов при растяжении и усталости в 1930-х годах) обеспечивает близкое приближение к вероятностным законам многих природных явлений [1].

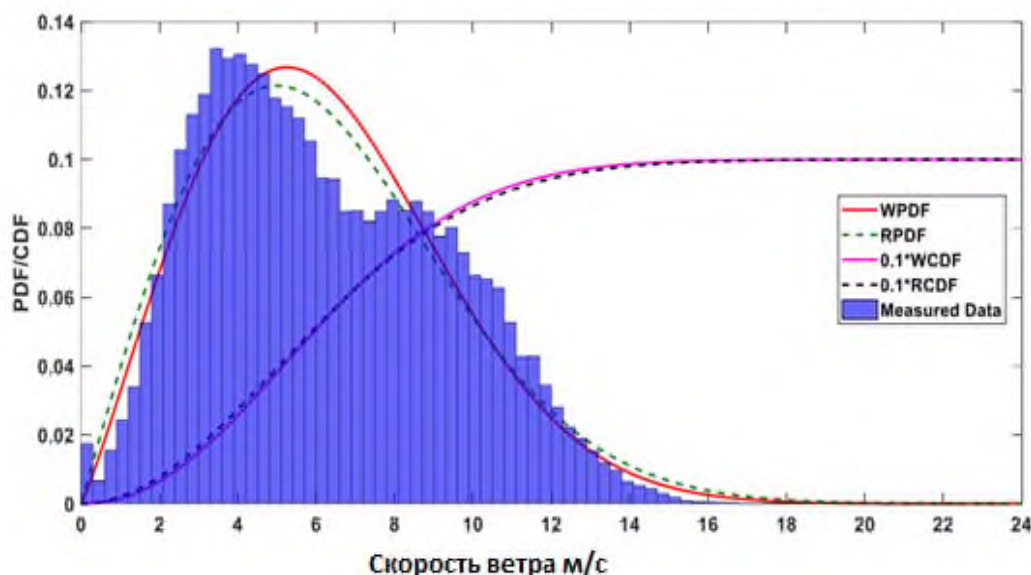


Рисунок 1 - Аппроксимация распределения Вейбулла в зависимости от методов [1]

Результат

Как упоминалось выше, распределение Вейбулла хорошо согласуется с экспериментальными данными. Это также упоминается во многих источниках [2–4]. Это распределение характеризуется двумя параметрами, где параметр «с», имеющий размерность скорости, характеризует масштаб изменения функции распределения по оси скоростей, а параметр «k» характеризует крутизну распределения. Функция плотности вероятности Вейбулла может быть выражена следующим уравнением:

$$f(v, c, k) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k}, \quad \forall v \geq 0 \quad (2)$$

Кумулятивная функция распределения вероятностей Вейбулла имеет вид:

$$F(v, c, k) = 1 - e^{-(v/c)^k} \quad (3)$$

где v – скорость ветра, $k > 0$ – параметр формы, а $c > 0$ – параметр масштаба.

Изменение скорости ветра описывается функцией плотности вероятности [5], которая указывает на долю времени, при которой преобладающая скорость ветра в конкретном месте.

По уравнению Вейбулла параметры k определяют диффузное распределение скорости ветра, а параметр c – форму этого распределения; при этом они связаны между собой с помощью средней скорости ветра, и эти параметры можно определить следующими формулами:

$$k = 0,83\bar{v}^{0.5}, \quad (4)$$

$$c = \frac{\bar{v}}{G(1+\frac{1}{k})}, \quad \left(\frac{m}{s}\right) \quad (5)$$

где \bar{v} – средняя скорость ветра, а G – гамма-функция.

Параметры Вейбулла k и c являются теми, которые определяют за характеристику ветрового потенциала исследуемого региона. Существует много методов для нахождения этих параметров.

Плотность мощности ветра, основанная на анализе распределения Вейбулла, рассчитывается с использованием следующего уравнения:

$$P = \int_0^{\infty} \rho v^3 f(v) dv; \quad (6)$$

$$\frac{P}{A} = \int_0^{\infty} \rho v^3 f(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 G\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (7)$$

где ρ – плотность воздуха ($1,225 \text{ кг/м}^3$) на уровне моря при средней температуре 15°C и давлении в 1 атмосферу. Зная плотность мощности ветра на данном участке, плотность энергии ветра за желаемое время T определяется следующей формулой [6]:

$$E_B = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c^3 \cdot G\left(1 + \frac{3}{k}\right) T \quad (8)$$

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2} \rho c^3 G\left(1 + \frac{3}{k}\right) T; \quad (9)$$

Наиболее вероятная скорость ветра, которая указывает на наиболее частую скорость ветра, можно определить следующим уравнильным выражением:

$$v_{HB} = c\left(1 + \frac{1}{k}\right)^{1/k}, \quad (\text{м/с}) \quad (10)$$

Скорость ветра, несущего максимальную энергию, очень важна, поскольку она может продемонстрировать максимально возможную энергию на данном участке и это выражается в следующем уравнении:

$$v_{\text{макс}} = c\left(1 + \frac{2}{k}\right)^{1/k} \quad (\text{м/с}) \quad (11)$$

Двухпараметрический метод распределения Вейбулла был принят для определения характеристик ветра на участке, таких как средняя скорость ветра, преобладающее направление ветра, форма и масштабные параметры распределения Вейбулла

Метод ММП – моделирование согласно распределению Вейбулла. Процедура оценки заключается в определении значений параметров c и k в распределении Вейбулла, приведённые ниже условия оптимальности первого порядка используются для этой цели: возьмём натуральный логарифм от уравнения Вейбулла

$$\frac{d \ln f}{dc} = 0, \quad \text{и} \quad \frac{d \ln f}{dk} = 0.$$

Для использования метода ММП нам необходимо построить функцию максимальной вероятности вместо прямого использования уравнения (формула 2), как показано ниже:

$$f_x = \left(\frac{k}{c}\right)^n \prod_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{c}\right)^{k-1} \prod_{i=1}^n e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k}, \quad (12)$$

где f_x – функция максимальной вероятности от f , а n – количество выборок, используемых в оценке. Возьмём натуральный логарифм (13):

$$\ln f_x = n \ln\left(\frac{k}{c}\right) + (k-1) \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{v_i}{c}\right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{c}\right)^k \quad (13)$$

Возьмём частные производные от формулы (28), тогда мы имеем:

$$\frac{d \ln f_x}{dc} = \frac{nc}{k} \left(\frac{-k}{c^2}\right) + (k-1) \sum_{i=1}^n \frac{c}{v_i} \left(\frac{-v_i}{c^2}\right) + k \sum_{i=1}^n \frac{v_i^{k-1}}{c} \frac{v_i}{c^2} \quad (14)$$

После упрощения и при равенстве его нулю мы имеем:

$$\frac{-n}{c} - \frac{k-1}{c} \sum_{i=1}^n \frac{c}{v_i} (1) + \frac{k}{c} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v_i}{c}\right)^k = 0 \quad (15)$$

Отсюда:

$$c^k = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i^k}}; \quad \text{или} \quad c = \left(\frac{1}{n \sum_{i=1}^n v_i^k}\right)^{1/k} \quad (16)$$

Из этого же уравнения отсюда находим коэффициент масштаба k :

$$\frac{1}{k} = \frac{\sum_{i=1}^n \vartheta_i^k \ln \vartheta_i}{\sum_{i=1}^n \vartheta_i^k} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \vartheta_i \quad (17)$$

Уравнение (17) является нелинейным и может быть решено с помощью метода Ньютона - Рафсона для получения k .

Метод моментов моделирования согласно распределению Вейбулла.

Одним из осложнений использования ММ является то, что необходимо использовать обратную функцию ММ, включающую гамма-функцию. Однако приближённая обратная функция может быть легко получена с помощью программного обеспечения, такого как Mathematica, которое может оценивать эти выражения с помощью гамма-функций. Оказывается, что ММ даёт очень похожие оценки, полученные методом ММП. Наш вывод состоит в том, что оба метода могут быть использованы для подгонки распределений скорости ветра. Из известных результатов в теории вероятностей первые два нецентрированных момента вышеупомянутого распределения Вейбулла даны как:

$$m_1 = E[\vartheta] = c \cdot \Gamma(1 + 1/k), \quad (18)$$

$$\text{и } m_2 = E[\vartheta^2] = c^2 \cdot \Gamma(1 + 2/k) \quad (19)$$

Переставляя вышесказанное, мы можем написать:

$$\frac{m_2}{m_1^2} = \Gamma(1 + 2/k) / \Gamma(1 + 1/k)^2, \quad (11) \quad \text{и} \quad (20)$$

$$c = m_1 / \Gamma(1 + 1/k) \quad (12) \quad (21)$$

Процедура оценки заключается в следующем. Пусть $G(k) = \Gamma(1 + 2/k) / \Gamma(1 + 1/k)^2$, затем, используя метод моментов, k можно оценить как \hat{k} , который имеет решение $G(\hat{k}) = \hat{m}_2 / \hat{m}_1^2$, где \hat{m}_1 и \hat{m}_2 являются, соответственно, несмещённым выборочным средним и выборочным 2-м моментом \hat{k} ; затем они могут быть использованы для оценки $\hat{c} = \hat{m}_1 / \Gamma(1 + \frac{1}{\hat{k}})$. Из результатов статистики мы знаем, что $\hat{m}_2 / \hat{m}_1^2 \geq 1$ (где равенство имеет место тогда и только тогда, когда все наблюдения одинаковы) и что он может быть сколь угодно большим. Итак, осталось показать, что $G(\hat{k}) = \hat{m}_2 / \hat{m}_1^2$ имеет уникальное решение по $\hat{k} \in (0, \infty)$. Можно сказать, что $G(k)$ является непрерывным, (строго) монотонно убывающим по $k \in (0, \infty)$, а его предельные значения равны $G(k) \xrightarrow{k \rightarrow 0^+} +\infty$ и $G(k) \xrightarrow{k \rightarrow +\infty} 1$. Затем, используя теорему о промежуточных значениях, мы приходим к выводу, что для данной выборки с \hat{m}_1 и \hat{m}_2 существует уникальное \hat{k} , которое даёт решение $G(\hat{k}) = \hat{m}_2 / \hat{m}_1^2$.

Показанные методы ММ и ММП из уравнения Вейбулла являются нелинейными и здесь может быть применено решение с помощью Метода Ньютона-Рафсона для получения k .

Аналогично в нашей работе используются и описываются методы ММП и ММ для моделирования скорости ветра и стандартный двухпараметрический метод распределения Вейбулла. Важно также отметить, что успешное использование ВИЭ во многом зависит от правильного выбора места установки ВЭУ. Например, энергия ветрового потока во многом зависит от рельефа местности и расположения наземных зданий и сооружений [7].

Расчёты выполнены для каждого сезона по значениям, полученным методом максимального правдоподобия, и представлены в таблице [8].

Таблица – Расчёт сезонной плотности ветровой энергии на основе параметров распределения Вейбулла (метод MLE) и локальной плотности воздуха для аэропорта «Худжанд» [8]

| Сезон | k (форма) | c (масштаб, м/с) | Плотность энергии E, Вт/м² |
|-------|-----------|------------------|----------------------------|
| Зима | 1.92 | 6.06 | 260.7 |
| Весна | 1.86 | 5.64 | 238.1 |
| Лето | 2.10 | 5.17 | 221.4 |
| Осень | 1.88 | 5.09 | 203.2 |

Как видно из таблицы, наибольшая плотность ветровой энергии наблюдается в зимний период, что согласуется с увеличением масштабного параметра c и более стабильной структурой ветра (высокое значение k). Наименьшая энергоотдача зафиксирована осенью, при наименьшем значении параметра масштаба. Более того, параметры формы и масштаба оказались схожими.

На рисунке 2 показана среднемесячная скорость ветра в Худжанде за последние 20 лет и соответственно на рисунке 3 показан среднесуточный профиль скорости ветра за 10 лет.

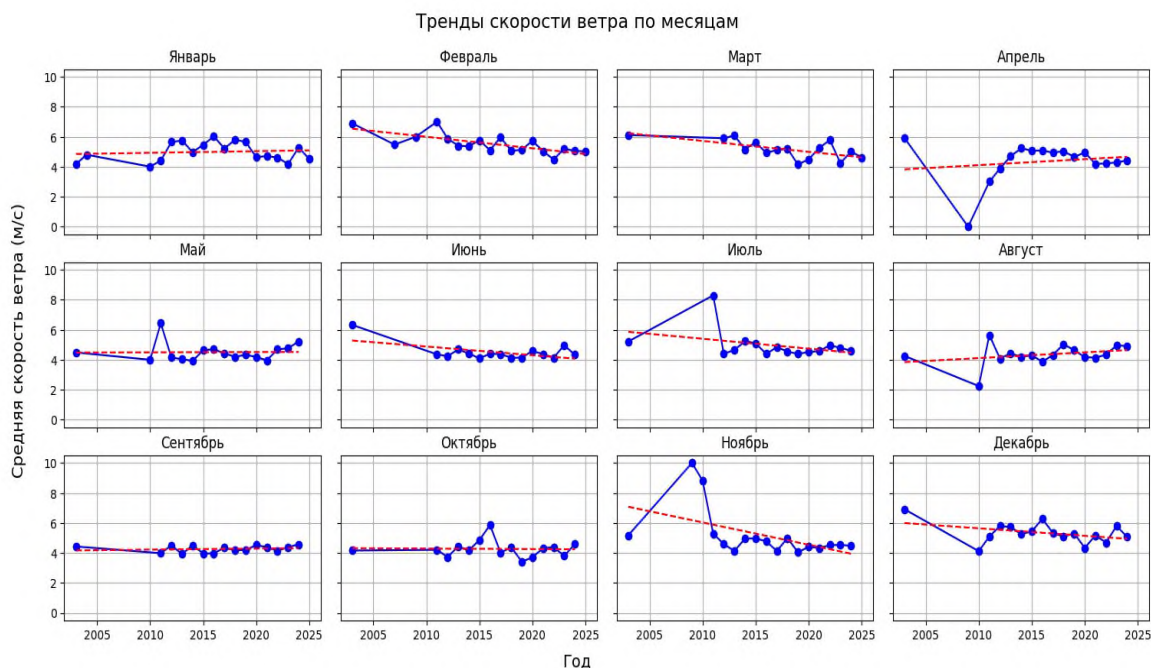


Рисунок 2 - Среднемесячная скорость ветра в Худжанде за 2005-2025 гг.

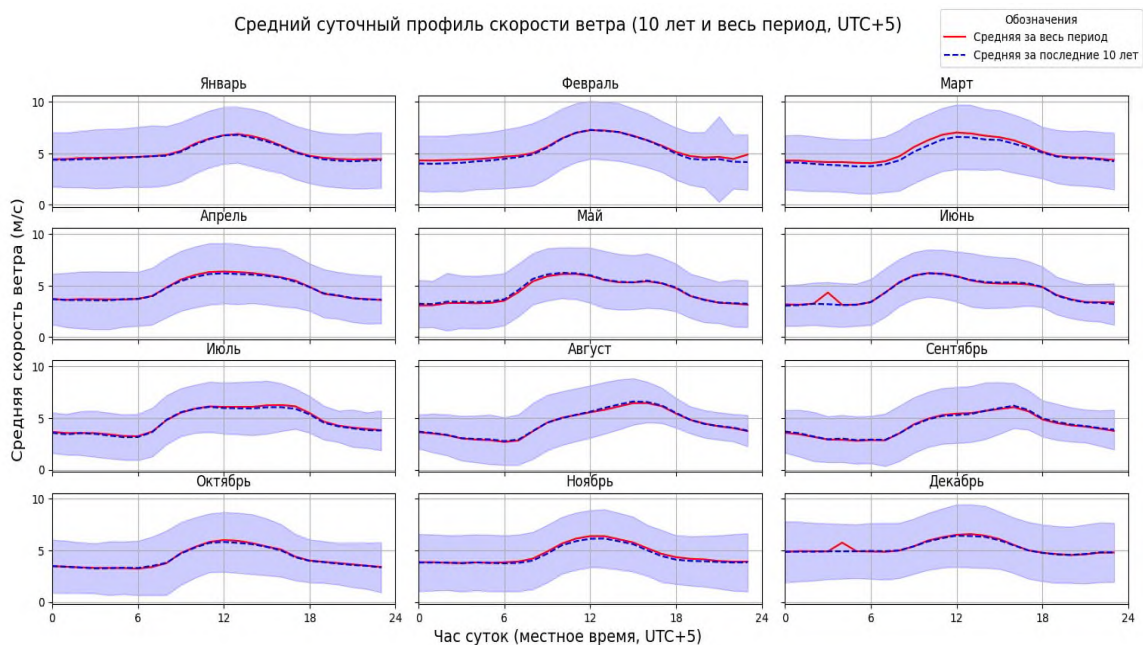


Рисунок 3 - Среднесуточный профиль скорости ветра за 10 лет

Выводы

Очевидно, что все исследуемые годы демонстрируют почти одинаковую среднегодовую скорость ветра. Анализ сезонных распределений приземной скорости ветра по данным METAR за 2015–2024 гг. подтвердил эффективность использования двухпараметрического распределения Вейбулла. Наибольшая регулярность ветрового режима зафиксирована зимой и летом (значения параметра формы $k > 2$), в то время как весна и осень характеризуются большей дисперсией и турбулентностью.

Сезонные различия в параметрах распределения свидетельствуют о необходимости учета сезонных особенностей ветрового режима при проектировании и эксплуатации ветроустановок. А также описываются

методы ММП и ММ для оценки параметров распределений скорости ветра Вейбулла. Оба метода приводят к уникальной оценке для каждого набора данных. Метод выборки используется для извлечения выборок из распределений. Простой метод моделирования методом ММП и ММ используется для расчета ожидаемой выработки электроэнергии.

Полученные результаты создают надежную базу для дальнейших исследований и реализации проектов по развитию ветроэнергетики в регионе Худжанд, способствуя переходу к более экологически чистым источникам энергии и повышению энергетической независимости.

Рецензент: Қирғизов А.Қ. — қ.т.н., доцент қафедры «Электрическые станции» ПЭПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Tuzuner Z. Yu. A Theoretical Analysis on the Uniqueness of the Parameter Estimated for the Weibull Wind Speed Distribution // submit to IEEE PES General Meeting 2008.
2. Безруких П.П. Состояние и тенденции развития ветроэнергетики мира, / П.П. Безруких, П.П. Безруких мл // Электрические станции №10, 1998 г., стр. 58-64
3. Ahmed M. Assessment of wind power potential for coastal Areas of Pakistan / M. Ahmed, F. M. Akhtar // Turkish Journal of Physics, №30, 127-136p.
4. Zhou W. Wind power potential and characteristic analysis of the Pearl River Delta region, China / W. Zhou, H. Yang, Z. Fang // Renewable Energy, № 31, 739–753p.
5. Пенджиев А.М. Использование ветроэнергетических установок для водообеспечения в Каракумах / А.М. Пенджиев // Ашхабад: Проблемы освоения пустынь. – 2019. – № 3-4. – С. 85-87.
6. Безруких П.П. Состояние и тенденции развития ветроэнергетики мира, / П.П. Безруких, П.П. Безруких мл // Электрические станции №10, 1998 г., стр. 58-64
7. John, W. Renewable Energy resources / W. John Twidell, D. Anthony // London & F.N. Spon, 1990 г, 391 стр.
8. Мадвалиев У. Параметрическая оценка сезонных распределений приземной скорости ветра на основе данных METAR аэропорта «Худжанд». // У.Мадвалиев, Н.И. Усмонзода, А.Р.Рустамзода, М.А.Кудусов. Доклады Национальной академии наук Таджикистана, № 4, том 68, стр. 381-392, 2025.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Усмонзода Нилуфар Илхом ассистент | Усмонзода Нилуфар Илхом ассистент | Usmonzoda Nilufar Ilkhom graduate student |
| МДТ «Донишгоҳи Давлатии Хучанд ба номи академик Б.Ғафуров» | ГОО «Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова» | State Educational Institution "Khujand State University named after Academician B. Gafurov, Khujand |
| E-mail: nilufar.kuchkorova.94@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Абдулахат Лакимович Қодиров Д. и. Физ - мат, профессор | Абдулахат Лакимович Кадыров доктор физ.-мат. наук , профессор | Abdulakhat Lakimovich Kadyrov Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor |
| МДТ «Донишгоҳи Давлатии Хучанд ба номи академик Б.Ғафуров» | ГОО «Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова» | State Educational Institution "Khujand State University named after Academician B. Gafurov, Khujand |
| E-mail: abdulakhatkadirov@gmail.com | | |

ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ВИХРЕВОГО ДЕЙСТВИЯ С U – ОБРАЗНЫМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ КАВИТАЦИИ

¹Р.О. Азизов, ²Г.С. Столяренко, ¹Н. Васиредди

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

²Черкасский государственный технологический университет

В статье приведены результаты сравнения эффективности производства тепла в вихревом теплогенераторе и эффективности нагрева с помощью обычного ТЭНа. С целью достижения более высокой чистоты экспериментов в настоящей работе использована тщательно изолированная циркуляционная система для определения температуры воды. Отмечается, что применение теплового теплогенератора вихревого действия с U-образным резонатором повышает эффективность генерации тепловой энергии больше, чем израсходованной электрической энергии.

Ключевые слова: производство энергии, тепло-генератор, водный раствор, кавитация.

ГЕНЕРАТОРИ ГАРМИДИҲӢ БО РЕЗОНАТОРИ U-ШАКЛА БАРОИ ҲОСИЛ НАМУДАНИ ЭНЕРГИЯИ ГАРМӢ ДАР ШАРОИТИ КАВИТАТСИЯ

Р.О. Азизов, Г.С. Столяренко, Н. Васиредди

Дар мақола натиҷаҳои муқоисаи самаранокии истеҳсоли гармӣ дар генератори гармидиҳии ғирдобӣ ва самаранокии гармкунӣ бо истифода аз элементҳои гармидиҳии муқаррарӣ оварда шудааст. Барои ба даст овардани дақиқии бештари таҷрибавӣ дар ин тадқиқот системаи циркулясионии ҳаматарафа маҳкам, ки барои муайян кардани ҳарорати об лозим буд, истифода шудааст. Гуфта мешавад, ки истифодаи генератори гармидиҳии навӣ ғирдоб бо резонатори U-шакл самаранокии таълиди энергияи гармиро назар ба энергияи барқи истеъмолшуда бештар мекунад.

Калимаҳои калидӣ: истеҳсоли энергия, генератори гармӣ, маҳлули обӣ, кавитатсионӣ.

VORTEX HEAT GENERATOR WITH A U-SHAPED RESONATOR FOR OBTAINING THERMAL ENERGY UNDER CAVITATION CONDITIONS

R.O. Azizov, G.S. Stolyarenko, N. Vasireddy

The article presents the results of comparing the efficiency of heat production in a heat generator and the efficiency of heating using a conventional heating element. In order to achieve higher experimental purity, a carefully isolated circulation system was used in this work to determine the water temperature. It is noted that the use of a vortex-type thermal heat generator with a U-shaped resonator increases the efficiency of thermal energy generation more than the consumed electrical energy.

Keywords: energy production, heat generator, aqueous solution, cavitation.

Введение

Создание автономного экологически чистого устройства, обладающего высокой эффективностью получения энергии, является одной из актуальнейших задач сегодняшнего дня.

Этим критериям в полной мере отвечает устройство, называемое «теплогенератором Потапова» [1, 4-5], названного в честь первооткрывателя эффекта турбо-тепловыделения движущейся жидкости Потапова Ю.С. [2].

Эффективность получения тепла по сравнению с затратами энергии на данном устройстве, как показывают многочисленные публикации, более 100%. Для получения полностью энергетически независимого устройства эффективность получения тепла должна быть не менее 200-300%.

Для того, чтобы достичь данного показателя эффективности необходимо найти механизм, благодаря которому происходит процесс дополнительного выделения тепла, с тем чтобы воспользоваться им при последующих конструкторских разработках теплогенератора Потапова нового поколения.

Методика проведения эксперимента

Для достижения поставленной цели был изготовлен и испытан теплогенератор вихревого действия с U – образным резонатором по чертежам патента [3], в котором после стадий нагнетания, сжатия в системе «конфузор – диффузор» теплогенерирующая субстанция – водный раствор поступает на U-образный резонатор- диафрагму, где подвергается дополнительному воздействию кавитационных сил. Схема генерирования тепла представлена на рисунке 1.

Холодная вода подается через инжекционный раструб 2 в спиралевидный патрубок 6; ей задаётся вихревое движение с поступлением в отделение 5. Вращающийся поток движется по спиральной траектории по стенкам трубы к другому её концу, до отвода 8, где находится выход потока горячей воды 3. На торце отверстия трубы 8 закреплена вибрирующая пластина 7. Наличие в теплогенераторе вибрационной пластины - диафрагмы позволяет создать дополнительные условия для кавитации, что приводит к повышению температуры воды (по экспериментальным данным - 300 л воды нагревается со скоростью 0.3 – 0.5°C / мин).

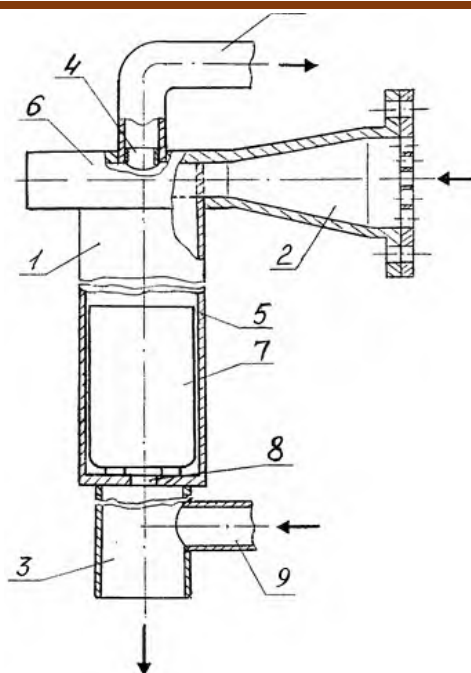


Рисунок 1 – Рабочая схема теплогенератора: 1 – тепловой генератор; 2 – раструб; 3 – 4 горячий и холодный выходы, соответственно; 5 – вихревое отделение; 6 – спиралевидный патрубок; 7 – вибрирующая пластина; 8 – отвод; 9 – вход воды

Некоторые наиболее характерные сравнительные экспериментальные результаты испытаний теплогенератора приведены в таблицах 1-4. Для этого были определены изменения температуры воды в тщательно изолированной циркуляционной системе в сравнении с обычным нагревом электрическим ТЭНом.

В таблице 1 приведены данные нагрева воды с помощью обычного ТЭНа (мощность 1 кВт) без циркуляции с применением низкоскоростного перемешивающего устройства.

Таблица 1 - Эффективность нагрева с полным учетом теплопотерь

| Время (мин) | Температура нагреваемой воды (объем воды 296 дм ³) (°C) | Количество затраченной электрической энергии (кВт-час) | Примечания |
|-------------|---|--|---|
| 0 | 21 | 0 | $\Delta\tau = 2$ час 37 мин; $\Delta T = 3,5^\circ\text{C}$; $\Delta E = 2,1$ кВт-час; |
| 60 | 22 | 1 | |
| 120 | 23,5 | 1,3 | |
| 157 | 24,5 | 2,1 | |

Эффективность нагрева, отнесенная к 1 кВт-час, составляет 90,03%, что в первом приближении показывает КПД ТЭНа для изучаемой системы.

Таблица 2 - Эффективность производства тепла с полным учетом теплопотерь без рассекающей диафрагмы

| Время (мин) | Температура нагреваемой воды (объем воды 296 дм ³), °C | Количество затраченной электрической энергии (кВт-час) | Примечания |
|-------------|--|--|---|
| 0 | 32 | 0 | $\Delta\tau = 45$ мин; $\Delta T = 5^\circ\text{C}$; $\Delta E = 2,7$ кВт-час; |
| 10 | 33 | 0,6 | |
| 20 | 34 | 1,2 | |
| 25 | 34,5 | 1,4 | |
| 40 | 36 | 2,3 | |
| 45 | 37 | 2,7 | |

Положительный тепловой эффект, отнесенный к 1 кВт-час, составляет 82,3%. Пониженный КПД связан с потерями электроэнергии при перекачивании воды по циклу.

Таблица 3 - Эффективность производства тепла с полным учетом тепло-потерь теплогенератора с рассекающей диафрагмой

| Время (мин) | Температура нагреваемой воды (объем воды 296 дм ³) (°C) | Количество затраченной электрической энергии (кВт-час) | Примечания |
|-------------|---|--|---|
| 0 | 19 | 0 | $\Delta t = 1 \text{ час } 44 \text{ мин};$ $\Delta T = 13^\circ\text{C};$ $\Delta E = 6,3 \text{ кВт-час};$ Диаметр отверстий рассекающей диафрагмы 8 мм. |
| 14 | 20,5 | 0,9 | |
| 25 | 22 | 1,6 | |
| 34 | 23,5 | 2,3 | |
| 44 | 25 | 2,8 | |
| 54 | 26,5 | 3,3 | |
| 64 | 27,5 | 4,0 | |
| 74 | 28,5 | 4,5 | |
| 84 | 30 | 5,2 | |
| 104 | 32 | 6,3 | |

Эффективность производства тепла, отнесенная к 1 кВт-час, составляет 108,95%.

Обсуждение результатов

Из результатов испытания следует, что скорость нагревания 300 дм³ воды, отнесенная к 1 кВт-час, возрастает от 0.3 до 0.5⁰C в минуту, а эффективность генерации тепловой энергии в теплогенераторе больше, чем израсходованной электрической энергии.

Возникает вопрос. Как возникает дополнительная энергия при кавитационных процессах?

В ранних научных работах приводятся предположения о вероятных альтернативных источниках энергии:

1. За счёт энергии торможения, зарождающейся согласно Кориолисовому движению.

2. От взаимодействия вращающегося движения жидкости и магнитного поля Земли.

3. Возникновения дополнительной энергии под действием различных факторов, имеющих связь с процессами вращательного движения и кавитации, что сопоставимо с энергетическим процессом «холодного синтеза».

Как показывают оценочные расчеты, уровень и влияние Кориолисовых сил на выделение тепла по исследуемым энергетическим процессам довольно малы и могут составить до 0.01%. Это даёт возможность ими пренебречь.

Протекание процесса «холодного синтеза» в данной работе имеет довольно малую вероятность, так как, если бы протекали процессы синтеза элементов, учитывая сложный химический состав водных растворов, которые используются в системах теплоснабжения, то происходил бы неизбежный процесс повышения радиоактивности воды. Но как показывает практика эксплуатации в серийно выпускаемых теплогенераторов Потапова этой радиоактивности не возникает.

Вместе с тем известно, что водородсодержащие соединения, в том числе вода, образуют водородные связи, а величина энергии, образующихся связей может изменяться в интервале от 9.6-28.8 кдж/моль.

Можно сделать предположение, что и для воды величина энергии водородных связей тоже меняется в некоторых пределах. Если вода достаточно медленно движется (или покоится), то образуется определённая структура, имеющая ряд цепочек представителей водных молекул. При этом характер закономерного строения данной структуры определяется сложным движением ядер элементов, имеющих спины и электроны с определёнными магнитными полями. В действительности величина этих взаимодействий довольно мала. Вместе с этим спины электронов, находящихся на одной молекулярной или атомной орбите, интегрируются и взаимно обнуляются. Исходя из этого можно сделать вывод, что валентно насыщенные элементы не будут обладать энергией, обусловленной спином последних. В тоже время они также взаимно влияют между собой в магнитном поле за счёт магнитной поляризуемости.

Другими словами, под действием магнитного поля в полимерной структуре воды происходит ее упорядочивание. Вместе с тем в системе падает величина энтропии, а свободная энергия Гиббса увеличивается.

При этом на стадии входа воды в зону перемешивания и турбулентности, что является основой для создания условий кавитации, разрушается упорядоченная структура воды, а энергия, полученная водой в

равновесном состоянии, выделяется в виде тепла. Исходя из этого, в процессе протекания кавитации в пузырьках в момент микровзрыва устанавливаются большое давление, а также значительные температуры. Всё это определяет генерацию реакционных частиц, которые в свою очередь воздействуют на процесс магнитного взаимодействия структур водных ассоциатов в спокойном участке течения воды в системе.

Ввиду сложного характера взаимодействия магнитного поля с водными ассоциатами расчеты носят ориентировочный характер и показывают, что магнитные поля с определенной вероятностью могут быть ответственны за дополнительную энергетическую компоненту, возникающую при эксплуатации реально действующих теплогенераторов Потапова и, которая обеспечивает более высокую энергетическую эффективность.

Рецензент: Қодиров А.С. - д.т.н., директор ЦИРНИНП НАЭНП

Литература

1. Фоминский Л.П. Как работает вихревой теплогенератор Потапова. –г. Черкассы: изд. «Око-плюс», 2001г. С.11-17.
2. Патент Украины № 7205. Потапов Ю.С. Устройство для нагрева жидкости. Кл. F25B29 // 00. Бюл. №2, 1994г.
3. Патент Украины по заявке № 2003076446 от 10.07.2003г. Столяренко Г.С., Костыгин В.А., Мислюк Е.В. Устройство для нагрева жидкости. Кл. F25B29 / 00.
4. Потапов Ю. С., Мартынюк Н. П., Потапов С. Ю. Теплогенератор : патент на изобретение RU 2007105998 А / Ю. С. Потапов, Н. П. Мартынюк, С. Ю. Потапов. – РФ, 2008. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_2007105998_20080827_A_RU/ (дата обращения: 12.12.2025). – Текст : электронный.
5. Термо- и вихревые теплогенераторы Потапова [Электронный ресурс]. – URL: <https://m.sciencen.org/assets/Kontent/Konkursy/Arhiv-konkursov/NIK-455.pdf> (дата обращения: 12.12.2025). – Текст : электронный.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Азизов Рустам Очилдиевич | Азизов Рустам Очилдиевич | Azizov Rustam Ochildievich |
| 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 им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: rustam.azizov57@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Столяренко Геннадий Степанович | Столяренко Геннадий Степанович | Stolyarenko Gennady Stepanovich |
| Доктори илмҳои техники, профессор | Доктор технических наук, профессор | Doctor of Technical Sciences, Professor |
| ДДТЧ, кафедраи «ХТиНВ» | ЧГТУ, кафедра «ХТиНВ» | ChSTU, Department of «HTiNV» |
| radikal@ukr.net | | |
| TJ | RU | EN |
| Васиредди Нагешварарао | Васиредди Нагешварарао | Vasireddy Nageswararao |
| докторант PhD | докторант PhD | PhD student |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: nageshwar.vasireddy@gmail.com | | |

БАРРАСИИ ТАҲҚИҚОТИ ҲИСОБИ РЕЗОНАНС ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ**З.Ҳ. Ҳабибуллозода**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола натиҷаҳои баррасии тадқиқот оиди эҳтимолияти пайдоиши ҳодисаҳои резонансӣ ҳангоми речаҳои ғайрисинусоидаӣ дар шабакаҳои электрикӣ оварда шудаанд. Муаллифон усулҳои гуногуни ҳисоб ва пешгунии резонансро мавриди омӯзиш қарор дода, ҳулосаҳои зарурӣ бароварданд. Натиҷаҳои таҳлили мақолаҳо нишон доданд, ки ҳодисаи резонанс барои таҷҳизоти электрикӣ зухуроти хатарнок аст, зеро дар ҷараён ва шиддати он таҷҳизот метавонанд қисман ё пурра осеби техникӣ бинанд. Барои паст кардани таъсири ҳодисаҳои резонанс ба таҷҳизоти электрикӣ истифодаи шунтҳои идорашаванда, батареяҳои конденсатори статикӣ, реакторҳои шунтии идорашаванда ва дигар воситаҳо зарур мебошад. Дар охири мақола дар шакли ҷадвал усулҳои истифодашаванда оиди ҳодисаи резонанс ва ҳулосаи тавсияҳои муаллифони гуногун оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: ҳодисаи резонансӣ, борҳои ғайрихаттӣ, шабакаҳои электрикӣ, гармоникаҳои олӣ.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАСЧЁТУ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**З.Х. Хабибуллозода**

В работе приведены обзоры научных работ посвящённой вероятности возникновения резонансных явлений в электрических сетях, обусловленных несинусоидальными режимами. Авторы изучили различные методы расчёта и прогнозирования резонанса и сделали необходимые выводы. Из анализа этих статей следует, что явление резонанса представляет собой опасное явление для электрооборудования, поскольку в процессе его возникновения оборудование может получить частичное или полное техническое повреждение. Для снижения влияния резонансных явлений в электрооборудования необходимо использование управляемых шунтов, батарей статических конденсаторов, управляемых шунтирующих реакторов и других средств. В конце статьи в форме таблицы приведены используемые методы по явлению резонанса, а также выводы и рекомендации различных авторов.

Ключевые слова: резонансное явление, нелинейные нагрузки, электрические сети, высшие гармоники.

REVIEW OF RESEARCH ON THE CALCULATION OF RESONANCE IN ELECTRICAL NETWORKS**Z.H. Habibullozoda**

The paper provides reviews of scientific works dedicated to the probability of resonant phenomena occurring in electrical grids, which are caused by non-sinusoidal operating modes. The authors studied various methods for calculating and predicting resonance and drew necessary conclusions. The analysis of these articles indicates that the phenomenon of resonance poses a danger to electrical equipment, as partial or complete technical damage to the equipment can occur during its onset. To mitigate the influence of resonant phenomena on electrical equipment, it is necessary to use controlled shunts, static capacitor banks, controlled shunt reactors, and other means. At the end of the article, a table summarizes the methods used for the resonance phenomenon, along with the conclusions and recommendations of various authors.

Keywords: resonant phenomenon, nonlinear loads, electric networks, higher harmonics.

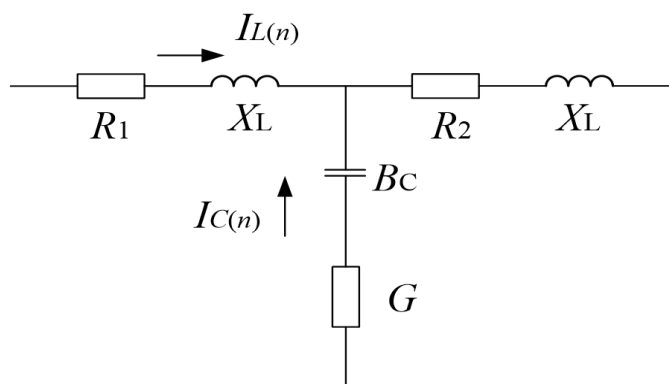
Муқаддима

Резонанс — ин ҳодисаест, ки дар занҷирҳои электрикӣ, ки ҳангоми пайвасти кардани як ва ё якчанд элементи индуктивӣ (L) ва инчунин як ва ё якчанд (C) конденсатор пайвасти будан, ба амал меояд. Ҳангоми мавҷуд будани гармоникаи олӣ дар шабакаҳои электрикӣ резонанс метавонад дар басомадҳои наздик ба басомадҳои як ё якчанд гармоникаи олие, ки дар шабакаҳои электрикӣ мавҷуданд, ба вучуд оянд. Маълум аст, ки элементҳои шабакаҳои электрикӣ ҳам табиати индуктивӣ (печаҳои трансформаторҳо, нокили хати интиқоли барқ, печаҳои генераторҳо ва муҳарриқҳо ва ғайраҳо) ва ғунҷоишӣ (батареяҳои конденсатори статикӣ (БКС), ғунҷоиши хатти интиқоли барқ ва ғайраҳо) доранд ва ҳангоми пайвасти мувозии онҳо эҳтимолияти ба вучуд омадани резонанси ҷараёнҳо ба вуқӯ омадани мумкин аст. Дар шабакаҳои электрикӣ ҳодисаҳои резонанси ҷараён вақте ба вучуд меояд, ки нокилиятҳои индуктивии шабака ва ғунҷоишии БКС ва ё хати интиқоли барқ дар ягон басомад ба ҳам баробар ва ё наздик шаванд:

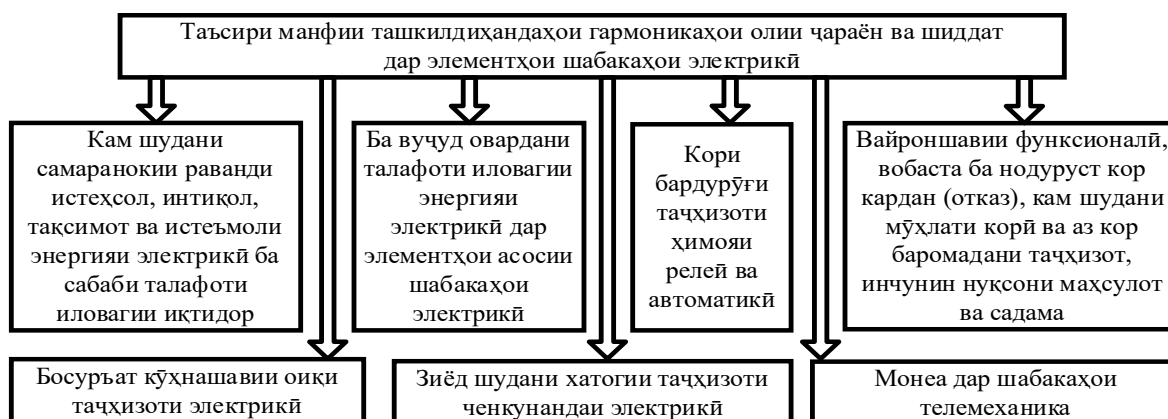
$$b_{L(n)} = b_{C(n)} \quad (1)$$

Нақшаи ба вуқӯ омадани ҳодисаи резонанси ҷараён дар шабакаҳои электрикӣ дар расми 1 оварда шудааст.

Дар речаи ғайрисинусоидалии шабакаҳои электрикӣ дар ҳолати резонанс ҷарён ва ё шиддат метавонанд дорои қимати бузург шаванд ва дар баъзе мавридҳо қимати шиддат ва ҷараёни гармоникаҳои олӣ ба шиддат ва ҷараёни басомади асосӣ баробар шуда метавонанд. Маълум аст, ки шиддат ва ҷарёни гармоникаҳои олӣ ягон қори ғойданок иҷро намекунанд ва ба таҷҳизоти электрикӣ шабакаҳо таъсири манфӣ мерасонанд [1]. Таъсири манфии гармоникаҳои олии шиддат ва ҷараён дар блок-схемаи расми 2 оварда шудаанд.



Расми 1-Нақшаи занҷири электрикӣ ҳангоми пайвасти мувозии элементҳои индуктивӣ ва ғунҷошӣ



Расми 2-Таъсири манфии гармоникаҳои олии шиддат ва ҷараён ба шабакаҳои электрикӣ

Масъалаи омӯзиш ва тадқиқи ҳодисаи резонанс дар шабакаҳои электрикӣ дар асарҳои олимони гуногун мавриди омӯзиш қарор гирифтааст. Дар мақолаи мазкур якчанд мақолаҳоро баррасӣ карда мебароем.

Дар кори илмӣ [2] оид ба таъсири ҳодисаи резонанси басомадӣ ба қимати гармоникаҳои олии шиддат ва ҷараён дар низоми электротаминкунӣ ҳангоми тағйир додани дараҷаи ҷуброн намудани тавоноии ғайрифайол суҳан маравад. Дар мақола роҳҳои ки муайян намудани басомадҳое, ки дар онҳо имконияти ба вучуд омадани резонанс ҳангоми иваз намудани тавоноии ғайрифайоли таҷҳизоти ҷубронкунанда, оварда шудаанд. Ҳодисаҳои резонансӣ низ ба монанди гармоникаҳои олии ҷараён ва шиддат ба кори низоми электротаминкунӣ таъсири манфӣ мерасонад. Маълум аст, ки ҳангоми пайвасти борҳои ғайрихаттӣ ба шабакаҳои электрикӣ боиси пайдоиши гармоникаҳои олии ҷараён мешаванд ва ё ба ибораи дигар “манбаи гармоникаи оӣ” дар шабака ба ҳисоб мераванд. Аз ин рӯ, ба сифати бори электрикӣ ҳаракатоварандаи барқии танзимкунандаи басомад дида шудааст. Барои ҷуброни тавоноии ғайрифайол ва баланд бардоштани зариби тавоноии бор ($\cos\phi$) дар шабакаи электрикӣ, дар тахтасими 0,4 кВ батареяи статикӣ конденсаторӣ насб карда шудааст. Муаллиф дар асоси ҳисобҳо, ҳамаи басомадҳое, ки дар онҳо имконияти ба вучуд омадани резонанси ҷараён вучуд дорад, муайян кардааст. Илова бар ин, муаллиф бо роҳи ҳисобӣ хатоии муайян намудани басомади резонансиро ҳангоми ба назар нагирифтани ташкилдихандаи фаъоли гузаронандаи контур муайян кардааст. Ин хатой камтар аз 0,1 % – ро ташкил додааст. Муайян намудани басомадҳои резонансӣ дар шабака, барои интиҳоби дурусти филтрҳо ва танзими онҳо, ки барои коҳиш додани сатҳи ҷараёнҳои гармоникӣ оӣ (ЧГО) ва инчунин басомадҳое, ки ба басомадҳои резонансӣ наздиканд, зарур аст. Файр аз ин, муайян кардани басомадҳои эҳтимолии резонансӣ барои боҳодиҳии мақсадноки истифодаи филтрҳои гармоникӣ низ муҳим мебошад.

Масъалаи таҳрифи қачхатти шиддат аз синусоидаи идеалӣ дар якчанд хатҳои интиқоли барқӣ (ХИБ) вилояти Иркутск (Федератсияи Россия), ки масъалаи муҳимми ҳалталаб барои таъмини сифати энергияи электрикӣ ва эътимоднокии шабакаҳои электрикӣ мебошад, дар кори илмӣ [3] дида шудааст. Мақсади тадқиқоти мазкур коркарди чорабиниҳои техникӣ – ташкилӣ барои бартараф намудани ҳодисаҳои резонансӣ дар басомадҳои гармоникаҳои оӣ дар шабакаҳои электрикӣ шиддаташ 35 кВ, ки ба зеристгоҳи нақлиётӣ пайваست карда шудааст, мебошад. Объекти тадқиқоти речаи кори ғайрисинусоидаи ХИБ шиддаташ 35 кВ, ки ба печайи шиддати миёнаи трансформатори нақлиётӣ сепеҷака пайваст будааст. Тадқиқот бо истифода аз

барномаи комплекси “Барномаи ҳисоби речаҳои ғайрисимметрӣ ва ғайрисинусоидалии шабакаҳои электрикӣ” ва бастаи Microsoft Excel гузаронида шудааст. Натиҷаҳои ҳисоб ва таҳлили речаҳои ғайрисимметрӣ ва ғайрисинусоидалии шабакаи электрикии дидашаванда баландшавии шиддатро аз ҳисоби резонанс дар дарозии хат дар басомадҳои тоқи гармоникаҳои олий нишон доданд ва инчунин роҳҳои бартараф намудани ҳодисаҳои резонансро ҳангоми васли реактори чубронкунанда дар аввали хати 35 кВ пешниҳод карда шудаанд. Дар асоси ҳисобҳои гирифташуда, тасвири графיקии қатъаттаҳои ташкилкунандаҳои гармоникаҳои шиддат, аз 3 то 39 сохта шудаанд. Аз ҳисоби натиҷаҳои гирифташуда чорабиниҳои техникӣ, яъне насби реактори чубронкунанда дар ибтидои хат, барои бартараф намудани ҳодисаҳои резонансӣ ва таъмини сифати энергияи электрикӣ кӯмак мерасонанд.

Дар кори илмӣ [4] натиҷаҳои таҳлили гармоникаҳои тавоноии фаъоли дар гиреҳои пайвастагӣ ба шабакаи таъминкунандаи 220 кВ се борҳои ғайрихаттӣ (ба монанди корхонаи истеҳсоли алюминий, комбинати қоғазбарорӣ ва зеристгоҳи роҳи оҳан), ки тавоноии зиёд доранд, нишон дода шудааст. Одатан дастгоҳҳои электрикии ин гуна корхонаҳо манбаи гармоникаҳои олий мебошанд. Таҳлил дар асоси натиҷаҳои ченкуниҳои иҷро карда шудааст. Мувофиқи чараёнҳо ва шиддатҳо чен карда шуда, гармоникаҳои тавоноии фаъол аз 2-юм то 40-ум ҳисоб карда шудаанд. Дар натиҷаи таҳлили гармоникаҳои тавоноии фаъол нишон дода шудааст, ки самти чараёнҳои гармоникаҳои олий на фақат аз бори корхона ба шабакаи электрикӣ ва инчунин аз шабака ба бор равона шуда метавонанд. Самти чараёни гармоникаҳои олий асосан аз муқовимати умумии шабака дар гармоникаҳои муайян вобастагӣ дорад. Барои баҳодиҳии андозаи лапиши энергияи электрикӣ (дар гармоникаҳои олий), ки корхона ба шабака медиҳад ва ё аз шабака мегирад, лозим аст энергияи зарарноки гармоникаҳоро истифода бурд. Аз ин рӯ, қимати бо воситаи ҳисобкунакҳои барқӣ ва ё асбобҳои махсус чен намудан зарур аст.

Дар кори илмӣ [5] усули муҳандисии пешгӯӣ намудани қиматҳои чараёнҳои асосӣ ва гармоникаҳои олиро дар шабакаҳои коммуналӣ – маишӣ дар асоси усулҳои эҳтимолию омории ҳисобкунии бор, оварда шудааст.

Натиҷаҳои ҳисоб имкон медиҳанд, ки ҳангоми интиҳоби буриши ноқилҳо дар шабакаҳои биноҳои истиқоматӣ таркиби гармоникаҳои олии чараён ба назар гирифта шаванд. Айни замон, барои шабакаҳои биноҳои истиқоматӣ ва ҷамъиятӣ чунин ҳисобҳо ягона усули қобили қабул мебошад, зеро дар ин гуна шабакаҳо шумораи зиёди истеъмолкунандагони якфазаи электрикӣ вучуд доранд, ки речаҳои кории онҳо аз бисёр омилҳо вобаста мебошанд. Маълумоти ибтидоии (шумора ва миқдори қабулкунакҳои электрикӣ, зариби истифодабарӣ, талабот ва пайвасткунӣ) дар формулаҳои овардашуда истифодашаванда ба осонӣ тафтиш ва ислоҳ карда мешаванд, ки ин ҳангоми баҳодиҳии эҳтимодноки натиҷаҳои ҳисоб барои як шаҳри муайян, хеле муҳим мебошад.

Дар кори илмӣ [6] модели хатти интиқоли барқи тағйирёбанда барои баҳодиҳии таъсири тоҷи электрикӣ ба сифати энергияи электрикӣ, пешниҳод карда шудааст. Натиҷаҳои таҷриба дар хатти интиқоли 500 кВ, инчунин муқоисаи онҳо бо натиҷаҳои моделсозии математикӣ оварда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки таъсири тоҷи электрикӣ дар симҳои хатҳои баландшиддати интиқоли барқ ба сифати энергияи электрикӣ (ЭЭ) вобаста ба ташкилдихандаҳои n -уми гармоникӣ шиддат ночиз аст. Натиҷаҳои таҳлил нишон доданд, ки дар таркиби чараёни тоҷи электрикӣ спектри гармоникаи 5-ум нисбат ба дигар гармоникаҳо зиёд буда, он ҳангоми таъсири безарятшавии тоҷ, ғунҷоиши эквивалентии фазаҳои хатти интиқоли барқи тадқиқшаванда тақрибан 9 % аз ғунҷоиши геометрӣ зиёдтар аст. Модели математикии пешниҳодшудаи хатти интиқоли барқи ҳавоии 220 – 750 кВ имкон медиҳад, ки таъсири безарятшавии тоҷи электрикӣ дар симҳои хатти интиқол ба сифати ЭЭ дар шабакаи электрикӣ баҳо дода шавад. Эҳтимоднокии модели пешниҳодшуда ба наздик будани натиҷаҳои таҷрибавӣ ва моделсозии математикӣ дар гармоникаи 3-юм тасдиқ карда мешавад. Аммо дар гармоникаҳои 5-ум ва 7-ум фарқияти назаррас байни натиҷаҳои моделсозӣ ва маълумоти таҷрибавӣ мушоҳида мешаванд. Дар асоси таҷрибавӣ ба қайд гирифта шудааст, ки таъсири тоҷи электрикӣ ба зарибҳои ташкилдихандаи гармоникӣ n -уми чараёни хатти интиқол ва шиддат дар тахтасимҳои зеристгоҳҳо ночиз аст. Ин равандро инчунин натиҷаҳои ҳисобии модели математикии хатти интиқол тасдиқ мекунад. Гармоникаҳои олии чараён, ки аз ҷониби хатҳои интиқоли барқи баландшиддат дар зери таъсири тоҷи электрикӣ ба вучуд меоянд, ҳатто дар зеристгоҳҳои калони системаи электроэнергетикӣ наметавонанд боиси таҳрифи назарраси шакли қатъаттаи шиддат шаванд.

Дар айни замон дар шабакаҳои электрикӣ ҳам ба резонанси мувозӣ (параллелӣ) ва ҳам ба пайдарпаи дар басомадҳои гармоникаҳои олий диққати махсус дода мешавад. Дар солҳои охир, усули таҳлили модалӣ, ки дар асоси матритсаи муқовимати гиреҳӣ ҳисоб карда мешавад, роҳи умедбахшро барои баҳодиҳии резонанси параллелӣ нишон дод.

Дар мавриди резонанси пайдарпай бошад, дар мақолаи [7] усули нав пешниҳод шудааст, ки таҳлили модалиро бо усули шоҳаи сунъӣ муттаҳид мекунад. Дар ин усул барои ҳисоб кардани басомади резонанси пайдарпай ва маълумоти аниқ оид ба шоҳаҳо пешниҳод шудааст. Дар мақолаи мазкур муайян карда шудааст, ки ҳангоми баҳодиҳии масъалаи резонанси пайдарпай, бояд на матритсаи муқовимати гиреҳӣ, ки барои

баҳодиҳии резонанси параллелӣ истифода бурда мешавад, балки матритсаи муқовимати контурӣ истифода шавад. Маълум аст, ки конфигуратсияи шабакаҳои электрикӣ доимо тағйир меёбад (иваз шудани шумораи шохаҳо дар шабакаҳо), аз ин рӯ дар мақола пешниҳод карда шудааст, ки усули шохаи сунъӣ бояд ҳангоми таҳлил дохил карда шавад. Натиҷаҳои санҷиш ва татбиқи амалӣ, дурустӣ ва самаранокии ин усулро нишон медиҳанд. Натиҷаҳои ин мақола метавонанд ҳамчун як усули нав, ки нисбат ба усулҳои маъмулӣ маълумоти бештар дар бораи резонанси гармоникӣ диҳад, хизмат кунанд ва инчунин барои санҷиши басомади резонанси филтрҳо низ истифода шавад.

Дар кори илмӣ [8] пешниҳод карда мешавад, ки таъсири дастгоҳҳои махсус, ки манбаи гармоникаҳои оӣ мебошанд, ба сифати энергияи электрикӣ аз рӯи саҳми нисбии ин дастгоҳҳо дар бад шудани нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ (СЭЭ) ба инобат гирифта шавад. Натиҷаҳои ҷенкунии СЭЭ дар шабакаҳои амалкунандаи фаъоли 220 – 500 кВ ва баҳодиҳии таъсири реакторҳои шунтии идорашаванда ва компенсаторҳои статикӣ-тиристорӣ ба СЭ дар нуқтаҳои пайваستшавии онҳо ба шабакаи электрикӣ оварда шудаанд. Усули пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки таъсири як манбаи лапиш ба сифати энергияи электрикӣ дар нуқтаи пайвастшавӣ ба шабакаи электрикӣ аз рӯи арзишҳои ҷеншудаи ҷараён ва шиддат дар нуқтаи пайвастшавии манбаъ баҳодиҳӣ карда шавад.

Хатои натиҷаҳои ҳисобкунии шиддат дар басомади асосӣ аз 0,4 % шиддати ҷеншуда дар таҳатсимҳои зеристгоҳ зиёд нест, ки ин имкон медиҳад дақиқии баланди натиҷаҳо дар басомадҳои гармоникаҳои оӣ интизор шавад.

Дастгоҳҳои реакторҳои шунтии идорашаванда (РШИ) ва компенсаторҳои статикӣ-тиристорӣ (КСТ), ки барои кам кардани зарбҳои гармоникӣ тартиби 5-ум ва 7-уми шиддат истифода бурда мешаванд, боиси зиёд намудани гармоникӣ тартиби дигар мешаванд. Баҳодиҳии гармоникаҳои тартиби баландтари шиддат дар мақолаи мазкур баррасӣ нашуданд, зеро онҳо дар спектрҳои шиддат, ки ҳангоми ҷенкунӣ ба даст овардашуда, кам буданд.

Дар кори илмӣ [9] алгоритми пешниҳод шудааст, ки он имконияти таҳлили ҳолатҳои эҳтимолии резонанс дар системаи таъминоти барқ (СТБ) медиҳад. Бо ёрии алгоритм ҳисобкунии параметрҳои гуногуни элементҳои СТБ, ба монанди муқовимати хатҳои интиқоли барқ (ХИБ), трансформаторҳо ва ғайра анҷом дода мешавад. Илова бар ин, ҳисобкунии параметрҳои речаи система, ба монанди ҷараён дар хатҳо, тавоноии бор, талафоти тавоноӣ дар элементҳои СТБ, инчунин муайн намудани басомадҳои резонансӣ ва сохтани тавсифи амплитудавӣ ва басомадии шабака низ иҷро мегардад. Алгоритм имкон медиҳад, ки ҷунин параметрҳо ҳангоми мавҷуд будани борҳои ғайрихаттӣ дар шабака таҳлил карда шаванд, ки онҳо метавонанд сабаби пайдоиши ҳолатҳои резонансӣ дар наздикии басомадҳои гармоникӣ оӣ шабака гарданд. Дар натиҷаи ҳисобкунӣ вобастагҳои графикӣ ноқилияти система (индуктивӣ, ғунҷоишӣ ва умумӣ) аз басомад, инчунин вобастагии муқовимат аз басомад барои ду речаи кори СТБ ба даст оварда шудааст.

Дар кори илмӣ [10] оқибатҳои манфии таъсири гармоникаҳои оӣ ва резонанси ҷараёнҳо дар басомадҳое, ки ба басомадҳои гармоникаҳои оӣ (ГО) наздиканд, дар СТБ баррасӣ шуданд. Илова бар ин, дар мақола СТБ, ки дорои қабулкунакҳои барқӣ хусусияти волт-амперии ғайрихаттӣ дошта, мавриди тадқиқ қарор дода шудааст. Ба сифати борҳои ғайрихаттӣ дар СТБ ҳаракатоварҳои барқӣ идоракунандаи басомад истифода шудааст, ки дорои зарбии пасти тавоноии фаъл ($\cos\phi$) мебошанд. Барои баланд бардоштани $\cos\phi$ дар шабака аз батареяи танзимшавандаи конденсаторҳои статикӣ (БТКС) истифода бурда шуд. Дар кор алгоритми пешниҳод шудааст, ки ҳамаи басомадҳои эҳтимолии резонансиро вобаста ба дараҷаи ҷуброни тавоноии ғайрифактор ($\cos\phi$ ҳангоми иваз кардани зинаҳои БТКС) ҳангоми кори СТБ дар речаи резонанси ҷараёнҳо ҳисоб мекунад. Ҳисоби басомадҳои резонанс дар ду маврид, яъне бо назардошт ва беназардошти муқовимати фаъоли элементҳои СТБ анҷом дода шудааст. Дар асоси ҳисобҳо, ҳамаи басомадҳои имконпазир, ки дар онҳо шарти резонанси ҷараёнҳо иҷро мегардад, муайян карда шуданд. Ҳамчунин, бо роҳи ҳисобкунӣ хатои муайянкунии басомади резонансӣ ҳангоми нодида гирифтани элементҳои фаъоли ноқилияти контур муайян карда шуд, ки он камтар аз 0,1%-ро ташкил дод. Муайян кардани басомадҳои резонансӣ барои интиҳоб ва танзими филтрҳо зарур аст. Ин филтрҳо барои паст кардани сатҳи ҷараёнҳои гармоникаҳои оӣ (ГО) дар шабака пешбинӣ шудаанд. Илова бар ин, муайян кардани басомадҳои эҳтимолии резонансӣ барои баҳодиҳии мақсаднокии истифодаи филтрҳои гармоникаҳо зарур аст.

Дар кори илмӣ [11] усули таҳлили гармоникаҳои оӣ дар шабакаҳои электрикӣ сарбастии мураккаби 110 кВ ва аз он боло, барои муайян кардани манбаъҳои асосии таҳриф оварда шудааст. Барои ҳар як гиреҳе, ки дар он ҷенкуниҳои нишондиҳандаҳои СЭЭ гузаронида шудаанд, пешниҳод мегардад, ки ҷараёнҳои эквивалентии гармоникаҳои оӣ ҳисоб карда шаванд. Ин ҷараёнҳо тавсифдиҳандаи манбаъҳои гармоникаҳои олие мебошанд, ки мустақиман ба гиреҳҳои додашуда пайваست шуда, шиддатеро ба вуҷуд меоранд, ки ба шиддати воқеии ҷенкардашудаи басомади муайян баробар мебошанд. Бо муқоисаи ҷараёнҳои эквивалентӣ барои гиреҳҳои гуногуни шабака пешниҳод карда мешавад, ки ҷойгиршавии манбаъҳои бузурги гармоникаҳои оӣ муайян карда шаванд. Натиҷаҳои тасдиқи усули пешниҳодшуда дар модели математикӣ ва натиҷаҳои

ченкунии нишондиҳандаҳои СЭЭ дар шабакаҳои 110, 220 ва 500 кВ дар системаи энергетикӣ ҳақиқӣ овада шудаанд. Усули мазкур метавонад мавқеи манбаи гармоникаҳои олии бузургро ба осонӣ муайян намояд.

Дар кори илмӣ [12] имконияти ба вучуд омадани ҳодисаҳои резонанс дар шабакаҳои рӯшноидиҳӣ ҳангоми пайваст намудани чароғҳои светодиоди ва борҳои индуктивии беруна баррасӣ шудааст. Таҳлили кори чароғҳои светодиоди дар як корхонаи саноатӣ нишон дод, ки мавҷудияти бориҳои берунаи фаъолу индуктивӣ дар шабакаи рӯшноӣ ба тез вайрон шудани дастгоҳҳои рӯшноӣ, ҳатто ҳангоми ба меъёрҳои танзимкунандаи СЭЭ мувофиқ будани он, оварда мерасонад. Барои омӯзиши равандҳое, ки ҳангоми коммутатсия ба амал меоянд, алгоритми ҳисобкунии реҷаи кори шабакаи рӯшноидиҳӣ пешниҳод шудааст. Алгоритми мазкур имкон медиҳад, ки реҷаи кори шабакаи рӯшноидиҳиро пеш аз ва баъд аз пайваст кардани борҳои беруна ҳисоб кунад. Барои чароғҳои светодиоди осциллограммаҳои ҷараён ва шиддат гирифта сешавад ва дар асоси он тавсифи волт-амперии (ТВА) чароғҳои светодиоди ба даст овардан мумкин аст. Бо назардошти ТВА, тағйироти қатъаттаи ҷараёни чароғҳо пеш аз ва баъд аз пайваст кардани бориҳои берунаи индуктивӣ таҳлил карда мешавад. Мавҷудияти қандашавӣ дар қатъаттаи ҷараён ҳангоми коммутатсия нишон дод, ки раванди гузариш метавонад хусусияти резонансӣ дошта бошад ва ба тез вайрон шудани чароғҳо оварда расонад. Дар натиҷаи таҳқиқи имконияти ба вучуд омадани ҳодисаҳои резонансӣ дар шабакаҳои дорои чароғҳои светодиоди ҳулосаҳои зерин бароварда шуданд: таҷрибаи истифодаи чароғҳои светодиоди дар корхонаҳои саноатӣ нишон медиҳад, ки ҳангоми ба таври параллелӣ ба кор андохтани борҳои индуктивӣ маишӣ бо чароғҳои светодиоди иқтидорашон калон ба мунтазам аз кор баромадани чароғҳо оварда мерасонад. Таҳлили нишондиҳандаҳои СЭЭ дар чунин шабака нишон дод, ки сабаби вайроншавии чароғҳо танҳо ҳодисаҳои резонансӣ дар лаҳзаҳои коммутатсия шуда метавонанд. Барои аз байн бурдани ҳодисаҳои резонансӣ ва пеш аз муҳлат аз кор баромадани чароғҳо, истифодаи схемаи таъминоти мустақил пешниҳод карда мешавад, ки дар он шабакаҳои барқии рӯшноидиҳӣ аз дигар истеъмолкунандагон ҷудо карда мешаванд.

Дар кори илмӣ [13] тадқиқоти гармоникаҳои олии ҷараёнҳои магнитии трансформаторҳои пасткунанда, ки дорои магнитопроводи ғайрисимметрӣ мебошанд, гузаронида шудааст. Усули аналитикӣ ҳисобкунии векторҳои сефазаи гармоникаҳои олии ҷараёнҳои магнитӣ ва ташкилдихандаҳои симметрии онҳо пешниҳод шудааст. Саҳеҳии усул бо маълумоти таҷрибавӣ тасдиқ карда шудааст. Натиҷаҳои тадқиқот метавонанд барои ҳисоб кардани реҷаҳои ғайрисинусоидалии СТБ истифода шаванд.

Дар кори илмӣ [14] алгоритмҳои истифодаи усули тавозуни гармоникӣ барои сохтани барномаи ҳисобкунии реҷаҳои ғайрисинусоидаӣ ва ғайрисимметрӣ дар СТБ бо конфигуратсияи дилхоҳ ва элементҳои маъмултарини бори ғайрихаттӣ (табдилдихандаҳои идорашаванда, шунтҳои магнитнокшудаи трансформаторҳо ва ғайраҳо) баён карда шудаанд. Инчунин масъалаҳои гуногун, ки бо истифода аз барномавии таҳияшуда ба таври самарабахш ҳал карда мешаванд, баррасӣ гардидааст.

Хусусияти системаҳои муосири таъмини барқ дар он аст, ки онҳо миқдори зиёди таҷҳизоти барқӣ доранд, ки ҷараёни ғайрисинусоидӣ истеъмол мекунанд. Намунаҳои ин гуна таҷҳизот инвертерҳои басомад ё росткунакҳои иқтидори калон мебошанд. Азбаски дар СТБ элементҳои индуктивӣ ва ғунҷоииш мавҷуд аст, пас дар ин гуна шабакаҳо эҳтимолияти ба вучуд омадани резонанс ҷой дорад. Дар кори илмӣ [15] модели омӯзиши СТБ ҳангоми дар он мавҷуд будани росткунакҳои электрикӣ дар барномаи MATLAB/Simulink таҳия карда шуд. Натиҷаҳои моделсозӣ нишон медиҳанд, ки дар СТБ ҳодисаи резонанс ба амал меояд. Муайян карда шудааст, ки рақами гармоника, ки дар он резонанс ба вучуд меояд, аз дарозии хати барқ вобаста аст. Дар ин ҳолат, нишондиҳандаҳои гармоникаи ҷараён ва шиддат дар аввал ва охири хат қиматҳои гуногун доранд. Ҳангоми резонанс, гармоникаи максималии ҷараён тавассути манбаъ гардиш мекунад ва дар охири хат, гармоникаи ҷараён қимати минималӣ дорад, аммо шиддат дар ҳамин гармоника қимати калонро соҳиб мешавад.

Таҳлили устувории резонанс дар шабакаи электрикӣ яке аз масъалаҳои мубрами системаҳои электроэнергетикӣ мебошад. Кори [16] маҳз ба ҳамин масъала бахшида шудааст. Бо истифода аз ин усули дар мақолаи мазкур пешниҳодшуда, лаппишҳои мураккаб, ки дар системаи энергетикӣ мавҷуданд, метавонанд бо ёрии назарияи хуб таҳияшудаи математикӣ занҷирҳои хаттӣ таҳлил карда шаванд. Ин мақола ба таҳлили устувории резонансии шабакаи барқ дар асоси матритсаи гузаронандагии гиреҳии $Y(s)$ дар соҳаи s равона шудааст. Барои шабакаи электрикӣ мутобиқати қиматҳои хоси он ва нуқтаҳои сифрии $Y(s)$ аввал тавассути таҳлили назариявӣ ва тасдиқи ҳолати махсус санҷида шудааст. Баъдан, барои таҳлили устувории резонансии шабакаи электрикӣ усули системавӣ пешниҳод карда шуд. Дар ин усул, аввал резонанс дар асоси муодилаи шиддати гиреҳӣ ва матритсаи элементҳои шабакаи электрикӣ муайян карда мешавад. Сипас, ҷузъҳои асосии марбут ба реҷаи резонанс мавриди назар тавассути таҳлили ҳассосияти реҷа муайян карда мешаванд.

Дар мақолаи [17] оиди омилҳои асосии зуҳуроти резонанс дар шабакаҳои электрикӣ сухан рафта, дар он нақшаи 5 - гиреҳи IEEE дар барномаи Eтар амсиласозӣ карда шуда, тавсифи амплитудавӣ-басомадии он дар реҷаҳои гуногун таҳқиқ карда шудааст. Барои дуруст баҳо додани ҳодисаи резонанс дар шабакаҳо вобастагии байни муқовимати гиреҳ дар басомади резонансӣ ва дар басомади асосӣ, ҳамчун зареби ба вучудоии

резонансро дар гармоникаи n - ум қабул шудааст. Дар асоси натиҷаҳои ҳисоб ҷадвали муайян намудани ба вучуд омадани зуҳуроти резонанс дар нақшаи электрикии тадқиқшаванда тартиб дода шудааст.

Натиҷаҳои муқоисаи усулҳои таҳлили ҳодисаи резонанс дар шабакаҳои электрикӣ дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1-Усулҳои муайнкунии ё (таҳлили) ҳодисаҳои резонансӣ

| Номи муаллиф | Усули истифодашаванда | Истифодаи барномаҳо | Хулосаи (тавсияи) муаллиф |
|------------------|-----------------------------------|---|--|
| Коваленко Д.В. | Усули шиддатҳои гиреҳӣ | - | Насби филтрҳои ҷубронкунанда |
| Тугунцев С.Г. | Усули шиддатҳои гиреҳӣ | “Барномаи ҳисоби речаҳои ғайрисимметрӣ ва ғайрисинусоидаӣ” дар барномаи Microsoft Excel | Насби дастгоҳҳои реактори ҷубронкунанда |
| Коверникова Л.И. | Усули шиддатҳои гиреҳӣ | - | Ҳисобкунакҳои барқӣ ва асбобҳои ҷенкунанда |
| Асанов А.К. | - | - | Насби филтрҳо |
| Шаров Ю.В. | Усули матритсаи муқовимати гиреҳӣ | MATLAB/Simulink - | - |
| Hui Zhou | Усули шоҳаи сунъӣ | - | Насби филтрҳо |
| Карташев И.И., | Усули шиддатҳои гиреҳӣ | - | Реакторҳои шунтии идорашаванда ва компенсаторҳои статикӣ-тиристорӣ |
| Осипов Д.С. | - | - | Насби филтрҳо |
| Коваленко Д.В. | - | - | Насби филтрҳои ҷубронкунанда |
| Валиуллин К.Р. | Усули шиддатҳои гиреҳӣ | MATLAB/Simulink | - |
| Кучумов Л.А. | - | - | Насби шунтҳои идорашаванда |
| Svetlana Molot | - | MATLAB/Simulink | - |
| Zheng Xu | Матритсаи гузаронандагии гиреҳҳо | - | Насби филтрҳо |

Хулоса

Натиҷаҳои таҳлили мақолаҳои баррасишудаи олимони, ки барои муайян ва пешгирӣ кардани ҳодисаҳои резонансӣ ва ҳисоби речаҳои ғайрисинусоидаӣ дар шабакаҳои электрикӣ равона карда шудаанд, нишон медиҳанд, ки барои ҳалли ин масъала асосан усулҳои шиддатҳои гиреҳӣ, матритсаи муқовимати гиреҳӣ, шоҳаи сунъӣ ва матритсаи гузаронандагии гиреҳҳо истифода мешаванд. Мувофиқи таҳлили мақолаҳои зикршуда хулоса баровардан мумкин аст, ки ҳангоми резонанс дар шабакаҳои электрикӣ қимати ҷараён ва ё шиддатҳои гармоникаҳои олӣ зиёд мешаванд, ки оқибат ба кори элементҳои алоҳидаи системаи электроэнергетикӣ таъсири манфӣ расонанд, боиси пастшавии СЭЭ дар шабакаҳо гарданд ва ҳатто то вайрон шудани таҷҳизоти электрикӣ оварда мерасонанд. Барои паст намудани сатҳи гармоникаҳои олии шиддат ва ҷараён насби шунтҳои идорашаванда, БСК, реакторҳои шунтии идорашаванда ва ғайраҳо лозим мебошанд.

Бояд қайд намуд, ки дар системаи электроэнергетикӣ пайвасту ҷудо намудани элементҳои мавҷуда ва инчунин пайвасти элементҳои нав пайваста амалӣ карда мешаванд, ки ин ба иваз шудани сохти (конфигуратсияи) система мегардад. Иваз шудани сохти система электроэнергетикӣ ба тағйир ёфтани тавсифи амплитудавӣ-басомадӣ дар нуқтаҳои алоҳидаи он мегардад. Аз ин рӯ, бояд усуле пешниҳод намудан лозим аст, ки вобаста ба тағйирёбии сохти системаи электроэнергетикӣ тавсифи амплитудавӣ-басомадии нуқтаҳои ситемаро дақиқ муайян намояд.

Муқаррир: Қирғизов А.Қ. - н.и.т., дотсенти қабедраи нерӯгоҳҳои электрикӣ ДПЭП ба номи академик М.С.Осимӣ

Адабиёт

1. Masoum M.A.S. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines / Fuchs Ewald F., Masoum Mohammad A.S. // 2nd Edition, Kindle Edition, 2015, 1140 p. ISBN-13: 978-0128009888.

2. Определение резонансной частоты системы электроснабжения при изменении степени компенсации реактивной мощности и наличии высших гармоник // Коваленко Д.В. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 8-1. С. 16-21.

3. Разработка мероприятий по устранению резонансных явлений на частотах высших гармоник на линии электропередачи 35 кВ.// Тугунцев С.Г., Шафаревич К.В., “Вестник ИГЭУ”, 2023, вып. 5, С.40-50.
4. Активный мощности гармоника в узлах присоединения нелинейный высокого напряжения.// Коверникова Л.И.Электричество, 2017, №3, С.12-20.
5. Прогнозирование тока высших гармоник в городских распределительных сетях 0,38 кВ.// Асанов А.К. КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, С.43-46.
6. Исследование влияния короны в электропередачах на качество электроэнергии по n-й гармонической составляющей тока и напряжения.// Шаров Ю.В., Насыров Р.Р., Олексюк Б.В., Симуткин М.Г., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., «Электричество» №6 /2013, С.8-13.
7. Power system series harmonic resonance assessment based on improved modal analysis // Hui Zhou, Yaowu W.U., Suhua LOU., Xinyin Xiong., Istanbul university journal of Electrical & Electronics Engineering / Year 2007., Volume 7., Number 2, Page 423-430.
8. Исследование влияния источников высших гармоник на качество электроэнергии в электроэнергетических системах 220–500 кВ // Карташев И.И., Насыров Р.Р., Олексюк Б.В., Симуткин М.Г., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., «Электричество» №1. 2013, С.13-18.
9. Идентификация резонансных режимов при наличии нелинейных нагрузок в системах электроснабжения промышленных предприятий.// Осипов Д.С., Горюнов В.Н., Коваленко Д.В., Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия., С.42-47.
10. Определение резонансной частоты системы электроснабжения при изменении степени компенсации реактивной мощности и наличии высших гармоник // Коваленко Д.В., ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск., Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований №8., 2017., С.16-21.
11. Метод анализа высших гармоник напряжения в магистральной электрической сети // Салимов А.С., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., «Электричество» №7 /2014, С.26-13.
12. Исследование резонансных явлений в цепях со светодиодными.// Валиуллин К.Р., Оренбургский государственный университет., промышленная электроника, автоматика и системы управления, [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4\(53\)-56-61](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-4(53)-56-61).
13. Методика расчета высших гармоник токов намагничивания понижающих трансформатор.// Кучумов Л.А., Кузнецов А.А., Московский энергетический институт., «Электричество» №3 /98, С.15-22.
14. Использование метода гармонического баланса для расчета несинусоидальных и несимметричных режимов в системах электроснабжения.// Кучумов Л.А., Харлов Н.Н., Картасиди Н.Ю., Пахомов А.В., Кузнецов А.А., Московский энергетический институт., «Электричество» №12 /99, С.12-22.
15. Investigation of resonance phenomena in power lines supplying powerful rectifier plants.// Svetlana Molot, Vasilina Kovalenko, Elena Pylskaya, Ivan Artyukhov, and Sergey Stepanov., Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia., E3S Web of Conferences 288, 01053 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801053> SUSE-2021.
16. Study on the Method for Analyzing Electric Network Resonance Stability // Zheng Xu, Shijia Wang, Facai Xing and Huangqing Xiao, *Energies* 2018, 11, 646; doi:10.3390/en11030646 www.mdpi.com/journal/energies, 2 of 13.
17. Таҳқиқи речаи ғайрисинусоидаи дар шабакаҳои электрии барои баҳодиҳии ба вучуд омадани ҳодисаи резонанс / Ш.Ҷ. Ҷуразода, З.Ҳ. Ҳабибуллозода, М.К. Чаборов, С.Т. Исмоилов // Паёми политехники. Баҳши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2025. – No. 2(70). – P. 47-58. – EDN LQLGHA.

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

| TJ | RU | EN |
|--|----------------------------------|--|
| Ҳабибуллозода Зикрулло Ҳабибулло | Хабибуллозода Зикрулло Хабибулло | Habibullozoda Zikrullo Habibullo |
| Докторанти PhD | Докторант PhD | PhD student |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: szhpei@internet.ru | | |

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

УДК 665.64

DOI: 10.65599/MVMJ8019

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ НЕКОТОРЫХ РЕАКЦИЙ БЕНЗОЛА И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СОГЛАСНО КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ

Т.Д. Джуроев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Галогенирование, алкилирование и ацилирование, например, бензола проводят в присутствии так называемых катализаторов Фриделя-Крафтса. Чтобы уяснить роль катализатора необходимо познакомиться с механизмом реакции, который хорошо изучен, однако, многое в его действии до конца остается неясным. Что происходит при этом с реагентами, и их поведение в реакциях интерпретируется по-разному. Для более правильного понимания механизма этих реакций в представленной работе применена кристаллохимическая теория наследственности в неорганической природе (КХТН). Таким образом, рассмотрение в реакциях замещения бензола при галогенировании, алкилировании и ацилировании с участием химических соединений $\text{FeBr}_3^{\text{O}3}$ и $\text{AlCl}_3^{\text{O}3}$, которые согласно КХТН в неорганической природе являются ХСЕН с устойчивой ОЭ конфигурацией с КЧ = 6, предсказывают их каталитическую активность, подтверждается. Также подтверждается каталитическая активность образующихся во время этих реакций менее устойчивых комплексных ионов-интермедиатов с ТЭ конфигурацией и КЧ = 4.

Ключевые слова: галогенирование, алкилирование, ацилирование, бензол, кристаллохимическая теория наследственности.

МЕХАНИЗМИ КАТАЛИТИКИ БАЪЗЕ РЕАКЦИЯҲОИ БЕНЗОЛ ВА ТАҒСИРИ ОНҲО АЗ РӮИ НАЗАРИЯИ КРИСТАЛЛО-ХИМИЯВИИ ИРСИЯТ ДАР ТАБИАТИ ҒАЙРИОРГАНИКӢ

Т.Д. Джуроев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев

Галогенизатсия, алкилизатсия ва ацилизатсияи бензол дар ҳузури катализаторҳои ба ном Фридел-Крафтс анҷом дода мешаванд. Барои фаҳмидани нақши катализатор ва механизми реаксия, ки хуб омӯхта шудааст, аммо бисёр чизҳо норавшан боқӣ мондаанд. Бо реактивҳо ва катализаторҳо чӣ рӯй медиҳанд ва рафтори онҳо дар реаксияҳо чӣ гуна мебошанд ба таври ғуногун тафсир дода мешаванд. Барои беҳтар шарҳ додани механизми ин реаксияҳо дар ин қори пешниҳодшуда назарияи кристалло-химиявии ирсият дар табиати ғайриорганикӣ (НКХИ) истифода шудааст. Ҳамин тариқ, таҳлили реаксияҳои ивазкунии бензол ҳангоми галогенизатсия, алкилизатсия ва ацилизатсия бо иштироки пайвастагиҳои кимиёвии $\text{FeBr}_3^{\text{O}3}$ ва $\text{AlCl}_3^{\text{O}3}$, ки мувофиқи НКХИ дар табиати ғайриорганикӣ воҳиди химиявии структуравии ирсӣ бо конфигурацияи устувори ОЭ бо АК = 6 мебошанд, ғайрикаталиктики онҳоро пешгӯӣ менамояд. Фаъолияти каталиктики ионҳо-интермедиатҳои мураккаби камтар устувор, ки ҳангоми ин реаксияҳо бо конфигурацияи ТЭ ва АК = 4 таъкил шудаанд, низ тасдиқ карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: галогенизатсия, алкилизатсия, ацилизатсия, бензол, назарияи кристалло-химиявии ирсият.

CATALYTIC MECHANISM OF SOME REACTIONS OF BENZENE AND THEIR INTERPRETATION ACCORDING TO THE CRYSTAL-CHEMICAL THEORY OF HEREDITY IN INORGANIC NATURE

T.D. Juraev, E.R. Gazizova, M.T. Toshev, M.A. Izzatulloev

Halogenation, alkylation, and acylation of benzene, for example, are carried out in the presence of so-called Friedel-Crafts catalysts. To understand the catalyst's role, it is necessary to understand the reaction mechanism, which is well studied, yet much about its operation remains unclear. What happens to the reactants and their behavior in the reactions are interpreted differently. To better understand the mechanism of these reactions, the crystal chemical theory of heredity in inorganic nature (CCHI) is applied in this work. Thus, the analysis of benzene substitution reactions during halogenation, alkylation, and acylation involving the chemical compounds $\text{FeBr}_3^{\text{O}3}$ and $\text{AlCl}_3^{\text{O}3}$, which, according to the KHTN, are inorganic compounds with a stable OE configuration with an AN = 6, predicts their catalytic activity. The catalytic activity of the less stable complex ion intermediates formed during these reactions with a TE configuration and an AN = 4 is also confirmed.

Keywords: halogenation, alkylation, acylation, benzene, crystal chemical theory of heredity.

Введение

Бензол C_6H_6 относится к простейшим циклическим молекулам ароматических соединений (аренам) с делокализованными электронами. Эти электроны придают бензолу специфические свойства – обладает низкой реакционной способностью. Бензол не вступает в реакции присоединения по двойной связи, когда бензольное кольцо описывают как одну из структур Кекуле (рис.1, а) или с делокализованными электронами, которые простираются на всю плоскость гексагонального цикла (рис.1, б и в) [1-4]:

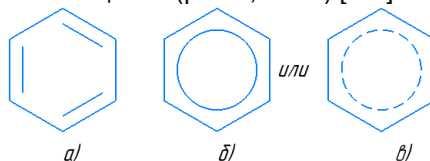


Рисунок 1 – Распределение электронов в бензольном кольце

Предположим, что молекула бензола имеет структуру (рис. 1, а). Согласно этому описанию бензол имеет шесть простых связей С-Н, три простые связи С-С и три двойные связи С=С. Расчеты энтальпии образования на 1 моль газообразного бензола, приводимые в работе [1], показали, что стандартная теплота образования бензола по экспериментальным данным составляет только 83 кДж.моль⁻¹, а расчетные данные показывают 249 кДж.моль⁻¹. При этом устойчивость молекулы бензола оказывается на 166 кДж.моль⁻¹ выше, чем это предсказывается для молекулы со структурой Кекуле. Оказывается, неверное предположение заключается в том, что структура Кекуле не позволяет объяснить равную длину всех шести связей между атомами углерода в бензольном цикле. Поэтому удовлетворительное описание химической связи в нем должно основываться на теории делокализованных молекулярных орбиталей, т.к. делокализация обуславливает повышение устойчивости молекулы бензола (рис. 1, б и в). В связи с этим типичной реакцией для циклических ароматических соединений является замещение, а не присоединение. Заметим, что при схематических изображениях молекулы бензола и их производных обычно не указываются атомы водорода, присоединенные к атомам углерода бензольного кольца.

Например, галогенирование ароматических углеводородов происходит в обычных условиях, способствующих образованию свободных радикалов, т.е. на свету или при высокой температуре. Совершенно иначе галогены реагируют в присутствии катализатора.

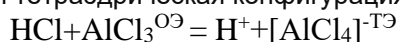
Методика исследований и их результаты

Недавно [5] на основе кристаллохимической теории наследственности (КХТН) в неорганической природе была предложена методика прогнозирования каталитической активности химических веществ. Было установлено, что каталитическую активность могут проявлять как простые, так и сложные неорганические и органические химические вещества, представляющие собой химико-структурированные единицы наследственности (ХСЕН) с устойчивой октаэдрической (ОЭ) или тетраэдрической (ТЭ) конфигурациями гибридных орбиталей с координационными числами (КЧ) КЧ = 6 и КЧ = 4, соответственно [5-13].

Галогенирование, алкилирование и ацилирование, например, бензола проводят в присутствии так называемых катализаторов Фриделя-Крафтса: $AlCl_3$, $AlBr_3$, $GaCl_3$, $GaBr_3$, $SbCl_5$, SnF_5 , $SnCl_4$ и $FeBr_3$, которыми могут служить апротонные кислоты или их также называют кислотами Льюиса.

Чтобы уяснить роль катализатора необходимо ознакомиться с механизмами реакций [1-4]. В одном случае при рассмотрении реакций с галогеналканами, электрофил представляет собой активированный центр (АЦ) или комплекс галогеналкана с кислотой Льюиса, или свободный ион карбения. В другом случае при использовании спиртов или алкенов на первой стадии также образуется АЦ - ионы карбения.

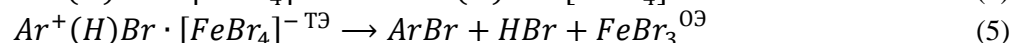
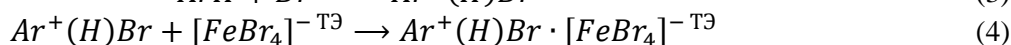
Согласно нашим данным [5-12], кислоты Льюиса действуют каталитически только тогда, когда они превращаются в протонные кислоты. В структурной химии соединение $AlCl_3^{OЭ}$ (катализатор Фриделя-Крафтса) реализуется через устойчивую октаэдрическую конфигурацию (ОЭ) гибридной орбитали с КЧ = 6, а в ионе $[AlCl_4]^{TЭ}$ осуществляется менее устойчивая тетраэдрическая конфигурация (ТЭ) с КЧ = 4:



Для более правильного понимания механизма этих реакций применим кристаллохимическую теорию наследственности в неорганической природе (КХТН) [5-12]. Согласно КХТН вышеперечисленные апротонные кислоты, например, $AlCl_3^{OЭ}$ и ион $[AlCl_4]^{TЭ}$, представляющие собой катализаторы, являются ХСЕН с устойчивой ОЭ и ТЭ конфигурациями гибридных орбиталей с КЧ = 6 (шесть сигма связей) и КЧ = 4 (четыре сигма связей), соответственно. Поэтому ОЭ конфигурация является устойчивее, чем ТЭ конфигурация.

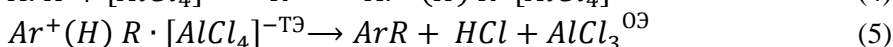
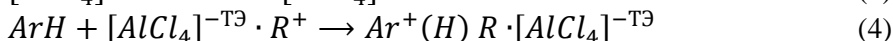
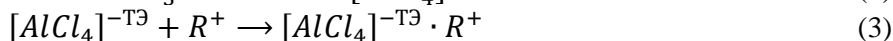
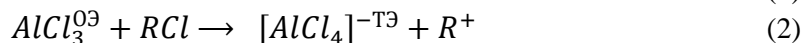
Известно, что ароматические циклы восприимчивы к атаке электрофильными группами, которые имеют большое сродство к электронным парам. Например, в реакции галогенирования (1) бензола молекулами брома (Br_2) или хлора (Cl_2) они не могут быть электрофильными агентами. В отсутствии катализаторов $FeBr_3^{OЭ}$ и $AlCl_3^{OЭ}$ эти реакции (1) не протекают даже за проходление достаточного большого времени. Однако молекула катализатора $FeBr_3^{OЭ}$, являющаяся ХСЕН с устойчивой ОЭ конфигурацией и КЧ = 6, согласно положению КХТН, способна присоединить еще один ион Br, акцептируя его электронную пару железом. Для этого в первой стадии катализатор $FeBr_3^{OЭ}$ взаимодействует с одним из субстратов - молекулой брома и разрывает её на ионы Br^- и Br^+ и, взаимодействуя с отрицательным ионом Br^- , акцептируя его электронную пару, образует по реакции (2) АЦ в виде комплексного иона $[FeBr_4]^{TЭ}$ с менее устойчивой ТЭ конфигурацией и КЧ = 4 на поверхности катализатора, включающей появляющуюся электрофильную частицу Br^+ . Далее, во второй стадии, положительный ион Br^+ атакует другой субстрат - ароматическое кольцо бензола по реакциям (3) и (4), притягивая одну электронную пару. Формируя связь С-Br, присоединяется к АЦ $[FeBr_4]^{TЭ}$ и образует неустойчивое промежуточное соединение $Ar^+(H)Br \cdot [FeBr_4]^{TЭ}$ в виде иона интермедиата с ТЭ конфигурацией и КЧ = 4 по реакции (4):



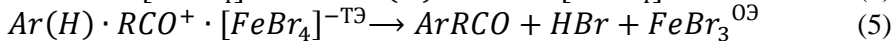
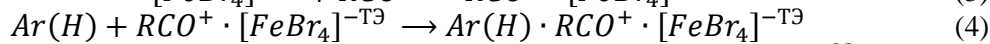
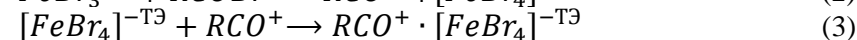
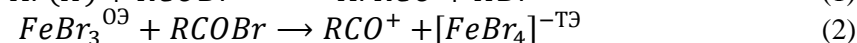
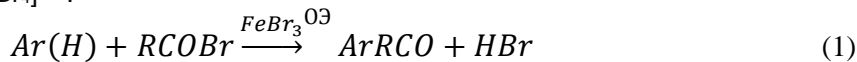


Возникающее неустойчивое комплексное промежуточное соединение интермедиат $Ar^+(H)Br \cdot [FeBr_4]^{-T3}$ диссоциирует по реакции (5), отщепляя ион H^+ . Высвобождающийся ион H^+ реагирует с АЦ $[FeBr_4]^{-T3}$ и образует HBr . Одновременно регенерируется исходная молекула $FeBr_3^{03}$ катализатора – ХСЕН с устойчивой ОЭ конфигурацией и КЧ = 6.

Рассмотрим алкилирование бензола также как типичную реакцию электрофильного замещения (1). В каталитических реакциях с участием апротонных кислот электронная пара передается кислоте Льюиса. При этом также передается атом, входивший в состав субстрата. Алкилирование ароматических соединений алкилгалогенидами в присутствии безводного катализатора $AlCl_3^{03}$, который представляет собой ХСЕН с ОЭ конфигурацией и КЧ = 6, происходит как при галогенировании арена - бензола. Первая стадия этой реакции осуществляется при взаимодействии катализатора $AlCl_3^{03}$ с реагентом молекулы алкилгалогенида хлорида алкила RCl , (где R-алкил) по реакции (2). В результате гетеролитического разрыва связи $R-Cl$ и переноса электронной пары вместе с анионом Cl^- на вакантную атомную орбиталь атома алюминия, т.е. молекулы катализатора $AlCl_3^{03}$, происходит образование АЦ $[AlCl_4]^{-T3}$ – иона, представляющего собой ХСЕН с ТЭ конфигурацией и КЧ = 4, также включающего положительную электрофильную частицу алкила R^+ или (карбокатиона). На второй стадии по реакциям (3) и (4) происходит образование менее устойчивого ионного комплекса $Ar^+(H) R \cdot [AlCl_4]^{-T3}$ с бензолом ArH (интермедиатом), который распадается по реакции (5) с образованием конечных продуктов алкилбензола ArR с выделением HCl . Одновременно регенерируется катализатор $AlCl_3^{03}$ - ХСЕН с устойчивой ОЭ конфигурацией и КЧ = 6.



Ацилирование. В первой стадии ацилирования катализатор $FeBr_3^{03}$ реагирует как кислота Льюиса. Он по реакции (2) взаимодействует с ацилгалогеном и образует АЦ $[FeBr_4]^{-T3}$, включающий ацил-катион RCO^+ . Электрофильным агентом, атакующим бензольное кольцо, по реакции является комплекс $RCO^+ \cdot [FeBr_4]^{-T3}$, образованный по реакции (3). Второй стадией, определяющей скорость реакции, является образование связи по реакции (4) между группой комплекса АЦ $RCO^+ \cdot [FeBr_4]^{-T3}$ и кольцом бензола с образованием промежуточного соединения интермедиата $Ar(H) \cdot RCO^+ \cdot [FeBr_4]^{-T3}$.



Затем, образующийся менее устойчивый комплексный ион интермедиат $Ar(H) \cdot RCO^+ \cdot [FeBr_4]^{-T3}$ диссоциирует по (5) на продукты реакции ацилбензол $ArRCO$ с выделением бромоводорода HBr . При этом также одновременно регенерируется катализатор $FeBr_3^{03}$ – ХСЕН с ОЭ устойчивой гибридной конфигурацией и КЧ равным 6.

Закключение

Таким образом, рассмотрение в реакциях замещения бензола при галогенировании, алкилировании и ацилировании с участием химических соединений $FeBr_3^{03}$ и $AlCl_3^{03}$, которые, согласно КХТН в неорганической природе являются ХСЕН с устойчивой ОЭ конфигурацией с КЧ = 6, предсказывают их каталитическую активность, подтверждается. Также подтверждается каталитическая активность образующихся во время этих реакций менее устойчивых комплексных ионов-интермедиатов с ТЭ конфигурацией и КЧ = 4. Нами установлено, что активный центр образуется в первой стадии каталитической реакции (2) при взаимодействии катализатора с одним из реагентов. АЦ состоит из комплекса с отрицательным ионом, представляющим собой ХСЕН с менее устойчивой ТЭ конфигурацией и КЧ = 4, включающим положительные электрофильные Br^+ , R^+ ,

RCO⁺ частицы. Во второй стадии АЦ, взаимодействуя со вторым реагентом, например, при ацилировании образует активную каталитическую фазу - промежуточное соединение, представляющее собой неустойчивый комплекс ион интермедиат - ХСЕН с ТЭ конфигурацией и КЧ = 4, с помощью которого происходит ускорение химической реакции. Именно активные центры катализатора с исходными реагентами участвуют в образовании специфической связи, которая приводит к образованию промежуточного соединения (интермедиата), за счет чего рассмотренные реакции протекают быстрее.

Рецензент: Бандаев С.Т. — д.х.н., профессор кафедры “Органическая и биологическая химия” ПИТГУ имени С. Айни

Литература

1. Гауптман, З. Органическая химия / З. Гауптман, Ю. Грефе, Х. Ремане // М.: Химия, 1970. – 831 с.
2. Диккерсон, Р. Основные законы химии / Р. Диккерсон, Г. Грей, Дж. Хейт // М.: Мир, 1982. – Т.1. – 656 с.
3. Рэмсен, Э.Н. Начала современной химии / Э.Н. Рэмсен // Л.: Химия, 1989. – 784 с.
4. Романовский, Б.В. Основы катализа / Б.В. Романовский // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 175 с.
5. Джураев, Т.Д. Применение кристаллохимической теории наследственности в неорганической природе для прогноза катализаторов химических реакций / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.А. Иззатуллоев, Б.С. Сафаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, 2025. – № 1 (69). – С.32-37.
6. Джураев, Т.Д. О химико-структурированных единицах, выполняющих роль элементов структуры расплава / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев // Литейное производство, 2012. – № 5. – С. 24-28.
7. Джураев, Т.Д. О кристаллохимической модели расплава / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова // Литейное производство, 2015. – № 2. – С. 14-16.
8. Джураев, Т.Д. Физико-химические основы наследственности в неорганической природе / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.М. Хакдодов // Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co KG, 2011. – 128 с.
9. Джураев, Т.Д. Проявление физической наследственности в неорганической природе / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев // ДАН РТ, 2012. – Т.55, №5. – С. 398-402.
10. Джураев, Т.Д. Дефекты кристаллов как носители наследственных признаков в твердых телах / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, Ф.Т. Мухамедов // ДАН РТ, 2013. – Т.56, №7. – С. 564-569.
11. Джураев, Т.Д. Элементы создатели наследственных признаков и их влияние на свойства металлов и сплавов / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, Э.Р. Газизова, М.М. Хакдод // Душанбе: ИО ТТУ, 2020. – 132 с.
12. Джураев, Т.Д. Генетический код в аморфных сплавах / Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев // Машиноведение. Научно-технический журнал. Бишкек.: 2022. – №1 (15). – С. 83-93.
13. Уэллс, А.Ф. Структурная неорганическая химия / А.Ф. Уэллс // М.: Мир, 1988. – Т.1-3. – 405; 565; 783 с.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Чураев Тухтасун Чураевич | Джураев Тухтасун Джураевич | Juraev Tukhtasun Juraevich |
| доктори илмҳои химия, профессор | доктор химических наук, профессор | doctor of chemical 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: mcm45@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Газизова Эльвира Рашитовна | Газизова Эльвира Рашитовна | Gazizova Elvira Rashitovna |
| 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 Academician M.S. Osimi |
| E-mail: mcm45@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Тошев Мансур Толибҷонович | Тошев Мансур Толибҷонович | Toshev Mansur Tolibjonovich |
| 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 Academician M.S. Osimi |
| E-mail: toshev1102@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Иззатуллоев Мубориз Акрамхонович | Иззатуллоев Мубориз Акрамхонович | Izzautullov Muboriz Akramkhonovich |
| номзади илмҳои техникӣ | кандидат технических наук | candidate of technical sciences |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: muboriz88@bk.ru | | |

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Б.Н. Одиназода¹, М.М. Хакдодов², М.М. Хакдод²

¹Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСИС) в г. Душанбе,

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В работе проведен анализ различных методик исследования акустических и демпфирующих способностей металлических материалов и оценки их эффективности. На основе проведенных исследований усовершенствована установка для исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов, позволяющая повысить точность измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов за счет упрощенности и точности способа закрепления образца под разными углами наклона и применения современных измерительных приборов.

Ключевые слова: металл, сплав, акустические свойства, демпфирующие свойства, акустодемпфирующие свойства, экспериментальная установка, измерительные приборы.

ДАР БОРАИ ТАКМИЛ ДОДАНИ УСУЛИ ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ САДОЛАРЗИШПАХШКУНИИ МЕТАЛЛҲО ВА ХУЛАҲО

Б.Н. Одиназода, М.М. Ҳақдодов, М.М. Ҳақдод

Дар мақола таҳлили усулҳои гуногуни таҳқиқи хосиятҳои садо ва ларзишпахшкунӣ маводҳои металлӣ ва баҳодиҳии самаранокии онҳо оварда шудааст. Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда дастгоҳ барои таҳқиқи хосиятҳои садоларзишпахшкунӣ металлҳо ва хулаҳо такмил дода шудааст, ки он имконият медиҳад, аз ҳисоби содагардонӣ ва дақиқии усули мустақкам намудани намуна дар дастгоҳ зери кунҷҳои моили гуногун ҷармаи таҷриба шавад.

Калидвожаҳо: металл, хула, хосияти садопахшкунӣ, хосияти ларзишпахшкунӣ, хосияти садоларзишпахшкунӣ, дастгоҳи таҷрибаӣ, асбобҳои ченкунӣ.

ON IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR STUDYING ACOUSTIC DAMPING PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS

B.N. Odinzoda, M.M. Khakdodov, M.M. Haqdod

The paper presents an analysis of various methods for studying the acoustic and damping properties of metallic materials and an assessment of their effectiveness. Based on the conducted research, the installation for studying the acoustic damping properties of metals and alloys has been improved, which allows for increased accuracy in measuring the acoustic damping properties of metals and alloys due to the simplified and accurate method of securing the sample at different angles of inclination and the use of modern measuring instruments.

Keywords: metal, alloy, acoustic properties, damping properties, acoustic damping properties, experimental setup, measuring instruments.

В последние годы исследованию акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов уделяется большое внимание. Необходимость проектирования машин и механизмов с учетом их акустических свойств ставит перед исследователями новые проблемы, в частности разработку материалов с улучшенными акустическими и демпфирующими характеристиками [1, 2]. В связи с этим конструкторы при выборе материалов должны руководствоваться принципом оптимального сочетания прочностных и эксплуатационных свойств с удовлетворительной или высокой акустической и демпфирующей способностью, что накладывает повышенные требования на результаты исследований акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов, их достоверность и сопоставимость.

Для определения акустических и демпфирующих свойств материалов служат различные характеристики в зависимости от того, каким методом осуществляется измерение рассеяния энергии колебаний. Все параметры независимо от того, характеризуют ли они истинное или относительное затухание, определяют энергию, которая рассеивается в материале за счет его неупругого поведения при циклическом нагружении [1, 2].

В общем виде демпфирующая способность материала характеризуется относительным рассеянием энергии ψ , определяемой, как отношение энергии, поглощаемой в необратимой форме единицы объема материала за один цикл нагружения при заданной амплитуде напряжения ΔW , к потенциальной энергии единицы объема материала, накопленной в момент достижения максимального напряжения в начале данного цикла W :

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}; \quad (1)$$

В настоящее время имеющиеся в литературе данные о демпфирующей способности одних и тех же (или близких по составу и обработке) материалов разнятся [3]. Поскольку механизм рассеяния энергии в материале весьма сложный и зависит от многих факторов: частоты, напряжения, температуры и других, то

выбор метода определения акустических и демпфирующих свойств материалов важен для правильного объяснения того или иного механизма рассеяния энергии в материале.

Имеется много различных экспериментальных методов определения характеристик рассеяния энергии в материале при циклическом его деформировании. В зависимости от того, измеряется ли удельное рассеяние или относительные характеристики в материале, эти методы делятся на прямые и косвенные [3, 4].

Среди прямых методов основными являются энергетический, калориметрический и метод определения гистерезисной петли.

Косвенный – это метод свободно затухающих колебаний, метод резонансной кривой, фазовый метод.

Все эти методы применяются в зависимости от цели исследования и имеют свои преимущества и недостатки.

Наиболее распространенным по сравнению со всеми другими (прямыми и косвенными) способами определения акустических и демпфирующих свойств является метод свободно затухающих колебаний. Суть метода заключается в обработке осциллограмм свободных затухающих колебаний образца материала. В качестве характеристики демпфирующей способности по темпу убывания амплитуды определяется логарифмический декремент колебаний δ_d или относительное рассеяние энергии φ . Логарифмический декремент колебания рассчитывается по формулам:

$$\delta_d = \frac{\ln A_0}{A_1}; \quad (2)$$

$$\delta_d = \frac{1}{n \ln(\frac{A_0}{A_n})} = \frac{1}{n \ln t}; \quad (3)$$

где A_0 и A_1 – амплитуды в начале и в конце цикла колебаний; A_n – амплитуда колебаний в конце интервала, состоящего из n – циклов. $A_0/A_n=t$ различные исследователи применяют от 4 до 1,1.

Результаты расчетов по уравнениям (1.2) и (1.3) совпадают, в этом случае декремент колебаний не зависит от абсолютной величины амплитуды в выбранном интервале.

Между относительным рассеянием энергии φ и логарифмическим декрементом существует простая связь:

$$\varphi = 2\delta_d; \quad (4)$$

Чаще всего используется уравнение (1.3), и полученное значение декремента колебаний относят к средней амплитуде на выбранном участке осциллограммы:

$$A_{cp.} = \frac{A_0 + A_n}{2}; \quad (5)$$

В случае большого затухания использование формул (3) и (5) может привести к нарушению соотношения (4) [5]. Поэтому целесообразно обратиться к дифференциальному определению относительного рассеяния энергии и декремента колебаний.

На основании равенства (3) при $A_n \rightarrow A_0$ и $t \rightarrow N$ получается уравнение для декремента колебаний, соответствующего амплитуде A_1 .

$$\delta_d(A) = -d \ln\left(\frac{A}{d_N}\right) = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{d_N}; \quad (6)$$

Из выражения (6) следует [6] простое равенство для определения декремента по огибающей затухающих колебаний

$$\delta_d(A) = -\frac{1}{A} \cdot \text{tg} d = \frac{1}{\bar{N}}; \quad (7)$$

где \bar{N} - число циклов (как целое, так и дробное) на участке под касательной, проведенной к огибающей в точке рассматриваемой амплитуды колебаний A .

Уравнение (7) позволяет определить достоверные значения декремента колебаний не только при большом, но и при малом затухании.

Для измерения демпфирующей способности материалов разработаны различные экспериментальные установки. Все они классифицируются по следующим признакам [7]:

- 1) по виду механических колебаний в образце (крутильные, поперечные или изгибные, продольные):

- 2) по диапазону амплитуд колебаний или виду зависимости демпфирующей способности от амплитуды (область амплитудно-независимого демпфирования, область амплитудно-зависимого демпфирования);
- 3) по характеру колебаний (свободные, вынужденные);
- 4) по частоте колебаний (квазистатистические, низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные);
- 5) по способу возбуждения колебаний (механические, электрические);
- 6) по способу регистрации колебаний (визуальный, механический, фотографический, электрический и т.д.).

Все перечисленные экспериментальные установки имеют свои преимущества и недостатки. Однако главным недостатком, как отмечают авторы [8], является несоответствие ГОСТам существующей измерительной техники и методам обработки результатов измерений демпфирующей способности металлов за крайне редким исключением. Все это усложняет получение сопоставимых и достоверных результатов измерения.

Поэтому необходимо разработать методику исследования и выбрать современную измерительную аппаратуру, позволяющие получить достоверные результаты эксперимента.

Методы исследования акустических свойств материалов с использованием импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний позволяют определить не только звукоизлучение металлов, характеризующихся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии. Поскольку колебания и звук, возникающие при действии единичного импульса на механическую систему, затухают в результате энергии, обусловленной внутренними и внешними потерями [9].

Для исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов использовали методику ударного возбуждения звуковых колебаний в металлах и сплавах на установке ТТУ-1, сущность которой заключалась в моделировании процесса шумообразования при соударении деталей машин, где в качестве модели принят образец в виде пластин постоянных геометрических размеров, возбуждение свободных колебаний осуществлялось ударом стального шарика по геометрическому центру пластины [10].

В целях усовершенствования конструкции устройства для повышения точности измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов предложена новая установка ТТУ-2, где для упрощения способа закрепления образца в нее вмонтирована конструкция механизма регулирования угла наклона образца [11].

Установка ТТУ-2 согласно приведенной схеме на рисунке состоит из подвижной 1 и неподвижной 2 плит, закрепленных на стойках 3. На неподвижной плите 2 устанавливается регулируемая плита 4 для закрепления образца (пластины) 8 на вольфрамовых нитях 12 на подвижных захватах 18, и содержащая шлицевое соединение 5, обеспечивающее наклон образца под разными углами. На подвижной плите 1 установлена трубчатая печь 13 для нагрева шарика 10. К трубчатой печи 13 сверху присоединен бункер 14 для шариков 10, а снизу – верхний и нижний электромагниты 11. К стойкам 3 сверху и снизу регулируемой плиты 4 прикреплены по одному нагревательному элементу 9 для нагрева шара 10, ниже которых прикреплены соответственно микрофон 6, подсоединенный к панели акустоизмерительных приборов 15, и ловитель (приемник) шаров 7. Температура образца 8 измеряется прибором 16. Все конструктивные элементы установки, в т.ч. измерительные приборы, установлены на основании 17.

Конструкция установки предусматривает снижение шумового фона до минимальных значений. Она смонтирована на звукопоглощающем двухслойном материале, состоящем из войлока (10 мм) и поролон (30 мм). Нижняя поверхность стола имеет поролоновую изоляцию толщиной 10 мм.

Процесс исследования акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов заключается в следующем: образец 8 в виде пластины (например, размером 50x50x5 мм) устанавливается на регулируемой плите 4 между вольфрамовыми нитями 12 на подвижных захватах 18, прикрепленная к неподвижной плите 2.

Плоскость подвески образца наклонена к горизонтальной плоскости под разными углами при помощи устройства 5, чтобы избежать повторные соударения. Ударный элемент в виде стального шарика 10 (сталь ШХ15, диаметр 10 мм, массой 4,5 г), из бункера 14 попадает в трубчатую печь 13, подогревается и притягивается сердечником верхнего электромагнита 11. При его отключении попадает в нижний электромагнит 11, после отключения которого свободно падает на подвешенный плоский образец 8 и генерирует в нем колебания за счет перехода потенциальной энергии к кинематической. Шары 10, отскочившие от образца 8, собираются в приемнике 7.

Для исследования температурной зависимости акустодемпфирующих свойств металлических материалов образец 8 нагревается в зависимости от условия эксперимента нагревательными элементами 9.

Отличительной особенностью новой установки ТТУ-2 от известных являются простота и удобство крепления образца без дополнительной натяжки под воздействием груза и повышения предела возможности регулирования угла наклона образца, состоящая из шлицевого соединения для регулировки угла наклона

образца 8 каждые 2 градуса к ее плоскости подвеса, позволяющего конструктивно измерять акустические свойства материала под разными углами наклона образца.

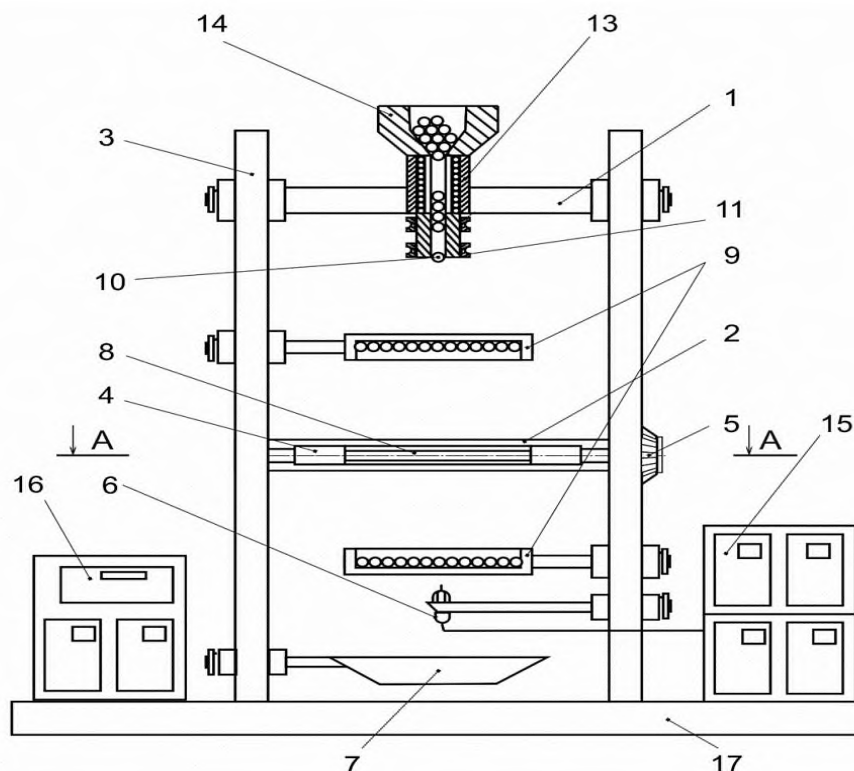


Рисунок – Схема установки ТТУ-2

1-подвижная плита; 2-неподвижная плита; 3-стойки; 4-регулируемая плита; 5-шлицевое соединение; 6-микрофон; 7-ловитель (приемник) шаров; 8-образец; 9-нагревательный элемент; 10-шарик; 11-электромагниты; 12-вольфрамовая нить; 13-трубчатый нагревательный элемент; 14-бункер; 15-панель акустических приборов; 16-измеритель температуры; 17-плита основания.

В качестве примера в таблице приведены результаты измерения акустических свойств стального образца при различных углах наклона образца и температуры нагрева шара, что показывает точность закрепления образца и получения достоверных данных с учетом физико-механических свойств материала и параметров звукоизвлечения.

Таблица – Результаты измерения акустических свойств образца

| Угол наклона образца в градусах | Уровни звука, дБА | Температура нагрева шара, °C | Уровни звука, дБА |
|------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------|
| 2 | 102 | 100 | 82 |
| 4 | 97 | 150 | 77 |
| 6 | 93 | 200 | 74 |
| 8 | 89 | 250 | 72 |
| 10 | 86 | 300 | 70 |

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1) использование импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний позволяет определить не только звукоизлучение металлов, характеризующихся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии;

2) полученные зависимости позволяют определить акустодемпфирующие свойства металлов и сплавов при ударном нагружении образца с учетом физико-механических свойств материала и параметров звукоизлучения;

3) усовершенствование конструкции механизма регулирования угла наклона образца и упрощение способа закрепления образца повышают точность измерения акустодемпфирующих свойств металлов и сплавов в зависимости от параметров звукоизлучения.

Рецензент: Тулаҳмадов Хайдар Шарифович. — д.т.н., и.о. профессора кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ПЭПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Баланцев С.К., Белов С.В. Исследование акустических характеристик пористых металлов и глушителей шума. //Труды МВТУ. – 1979. -№308.
2. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. Л.: Судостроение, 1979. – 184с.
3. Седов М.С., Кочкин А.А. О звукоизоляции слоистых вибродемпфированных панелей и их применение в условиях эксплуатации. В кн.: «Акустическая изоляция помещений и оборудования в промышленности и на транспорте». – Л.: 1985. – с. 13-16.
4. Исаков В.М., Федоровия М.А. Виброшумозащита в электромашиностроении. – Л.: Энергоатомиздат. – 1986. – 206с., ил.
5. Жарков И.Г. Вибрации по обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение. 1986. – 185с
6. Дриц М.Е., Рохлин Л.Л., Магниеые сплавы с особыми акустическими свойствами. – М.: Металлургия, 1983. – 128с.
7. Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахштадт А.Г. Металловедение высокодемпфирующих сплавов. М.: Металлургия, 1980.- 271с.
8. Утепов Е.Б., Хохлов П.П. и др. Разработка малошумных сплавов. – Алматы, 1998. Установка для исследования скорости затухания звука УДИСЗЗ–1, 112 стр.
9. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. – Киев.: Наукова думка, 1971. – 190с.
10. Хакдод М.М., Одиназода Б.Н., Моделирование процесса шумообразования при соударении деталей машин и методика исследования акустодемпфирующих свойств материалов. Политехнический вестник. Серия: Металлургия и материаловедение. №2 (62), 2023. – Душанбе: ТТУ имени акад. М.С. Осими, 2023. – С. 95-99.
11. Одиназода Б.Н., Хакдод М.М. Установка для исследования акустодемпфирующих свойств металлических материалов. Патент Республики Таджикистан № Tj 1553 МПКG01H1/00, №2301874, заяв. 18.08.2023; опубл. Бюл. №213, 2024.-4 с.

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

| TJ | RU | EN |
|---|--|---|
| Одиназода Бозорали Неъмат н.и.т., дотсент | Одиназода Бозорали Неъмат к.т.н., доцент | Odinazoda Bozorali Nemat candidate of technical sciences, Associate Professor |
| Филиали ДМТТ "МИСИС" дар ш. Душанбе | Филиал Национального исследовательского технологического университета (МИСИС) в г. Душанбе E-mail: bnodinazoda@gmail.com | The Dushanbe branch of the National Research Technological University MISaA in Dushanbe |
| TJ | RU | EN |
| Хакдодов Махмудчон Махмадшарифович Унвончуй | Хакдодов Махмуджон Махмадшарифович Соискатель | Khakdodov Makhmudzhon Makhmadsharifovich Applicant |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими E-mail: mkhakdodov@List.ru | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| TJ | RU | EN |
| Ҳакдод Махмадшариф Махмуд доктори илмҳои техники, профессор | Хакдод Махмадшариф Махмуд д.т.н., профессор | Haqdod Makhmadsharif Mahmud Doctor of technical sciences, professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими E-mail: mkhakdodov@mail.ru | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |

ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ КАТОДНОЙ МЕДИ МАРКИ М00**¹М.Б. Акрамов, ¹С. Зубайдов, ¹А.С. Кодиров, ²Х.О. Норкулов, ²Дж.М. Анваров**¹ Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ,² Душанбинский филиал НИТУ МИСиС

В статье приведены результаты исследования изменений электрических характеристик катодной меди легированной кадмием. Определено уменьшение электропроводности легированных образцов по сравнению с электропроводностью чистой меди. Повышение температуры сопровождается увеличением удельного электрического сопротивления образцов меди легированной кадмием от 0 до 1,25%. Получены полиномы, описывающие температурную зависимость коэффициента удельного электрического сопротивления легированных образцов меди с кадмием. Результаты можно применить в производстве электротехнических материалов на основе меди.

Ключевые слова: медь, модификация, электропроводность, модель, уравнения регрессии.

ТАЪСИРИ КАДМИЙ БА ЧАРАЁНГУЗАРОНИИ МИСИ КАТОДИИ НАВЪИ М00**М.Б. Акрамов, С. Зубайдов, А.С. Қодиров, Х.О. Норқулов, Ҷ.М. Анваров**

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқи тағйирёбии хусусиятҳои электрикии миси катодӣ бо кадмий оварда шудааст. Чараёнгузаронии намунаҳо нисбат ба чараёнгузаронии миси тоза коҳиш меёбад. Бо баландшавии ҳарорати намунаҳо муқовимати ҳоси электрикии намунаҳои кадмий ҳамоҳанг (аз 0 то 1,25%) меафзояд. Дар натиҷа полиномияҳои ба даст оварда шудаанд, ки чараёнгузаронии намунаҳоро вобаста аз ҳарорат тавсиф мекунад. Натиҷаҳои ба дастомадари дар истеҳсоли маводҳои электротехникии дар асоси мис истифода бурдан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: мис, тағйирдиҳӣ, электргузари, модел, муодилаҳои регрессионӣ.

THE EFFECT OF CADMIUM ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CATHODE COPPER GRADE M00**M.B. Akramov, C. Zubaydov, A.S. Kodirov, X.O. Norkulov, J.M. Anvarov**

The article presents the results of a study on changes in the electrical properties of cathode copper alloyed with cadmium. As the temperature of the samples increases, the electrical resistivity of copper with cadmium (0–1.25%) also increases. Based on the experimental data, polynomial equations were obtained that describe the dependence of electrical conductivity on temperature. The results can be applied in the production of copper-based electrical materials.

Keywords: copper, modification, electrical conductivity, model, regression equations.

Введение

Изучено влияния кадмия на электрические свойства меди. Кроме серебра, цинка и кадмия металлы в составе меди как примеси уменьшает его электропроводность в несколько раз, в случае добавления кадмия в медь, электропроводность меди уменьшается всего на несколько процентов. Добавление в медь 0,5% кадмия снижает ее электропроводность всего на 2 %. Поэтому, нами как легирующий элемент выбран кадмий. В работе приведены результаты изменений удельного электрического сопротивления экспериментально легированных образцов, уменьшения электропроводности образцов по сравнению с электропроводностью чистой катодной меди и температурная зависимость удельного электрического сопротивления образца легированной кадмием (0,1%). Построены математические модели зависимостей и определены эмпирические уравнения, которые необходимы металлургам медно-кадмиевых сплавов для производства электротехнических материалов на основе меди.

Материалы, применяемые в электротехнике, должны обладать: высокой электропроводностью и теплопроводностью; высокой стойкостью против коррозии и образования защитных плёнок, хорошей дугостойкостью и термостойкостью. При производстве такой марки плавка ведется в защитной среде без доступа воздуха и используются чистые сырьевые материалы. В перечисленных условиях полученная медь на основе содержания не менее 99, 95 % меди. Электрическая проводимость такой меди согласно установленной Международной электротехнической комиссией IEC (International Electrotechnical Commission) электрическое сопротивление такой меди равно 0,017241 Ом мм² на метр [1, 2].

В работах В.З. Кисунько [3] и А.В. Сулицина [4] приводятся результаты эксперимента, где перегрев расплава и последующее его быстрое охлаждение способствуют улучшению структуры. Разные элементы в качестве примесей снижают электропроводность меди.

Обобщенные данные по некоторым элементам, где уменьшается электропроводность меди приведены на рисунке 1.

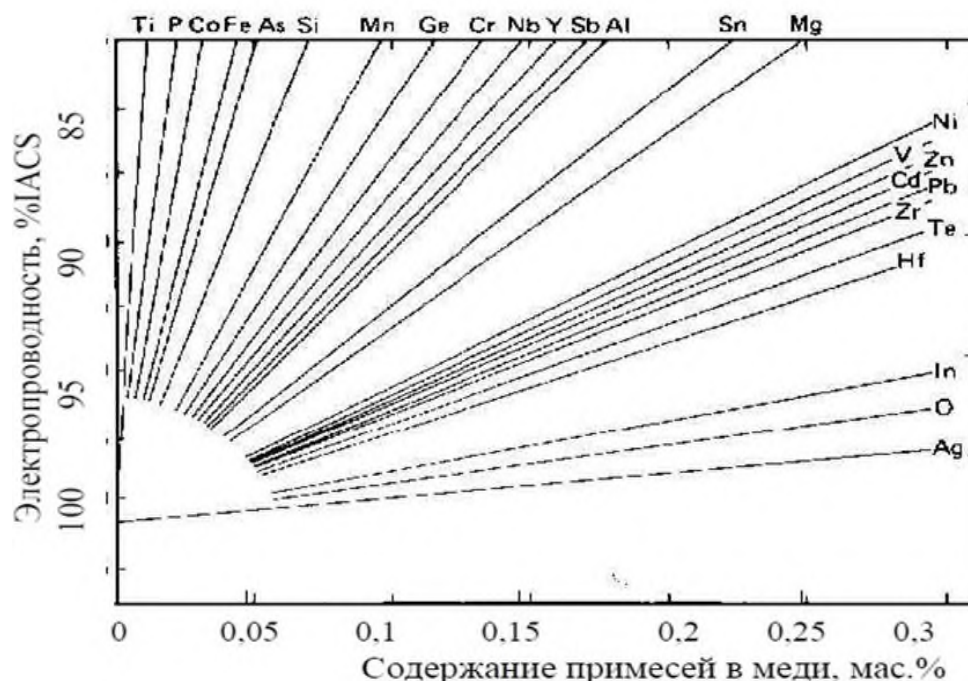


Рисунок 1 – Зависимость электропроводности меди от содержания примесей и их концентрации в основе

Изучив литературные данные, поставили задачу: «Исследования электрических свойств модифицировано-легированных сплавов меди с кадмием». В работе приведены результаты исследования изменения электрических характеристик образцов сплавов меди модифицировано-легированных с кадмием.

Материалы методы исследования

Исследования проводились в лабораториях КЭЗ ОАО «Алюминий Казахстан» (КЭЗ – Казахстанский Электролизный завод) и в лабораториях металлургии МИСИС Душанбе. Методы получения модифицировано-легированных сплавов подробно приведены в наших предыдущих статьях [5, 6]. Всего нами отлиты 9 штук цилиндрических образцов сплавов меди диаметрами 7мм, где концентрация кадмия варьируются от 0,05 до 1,25 %. А также использовали лигатуры Cu-Cd с содержанием кадмия 0,8–1,5 масс. %. После волочение полученных образцов для анализов подготовлены 9 экспериментальных образцов с диаметрами в 1мм и длиной 1,3 – 1,5 метров. В качестве нулевого образца использовали медь катодную марки М00.

Измерение электрического сопротивления проводилась с применением электрического моста и мультиметра UT -72 В с программным обеспечением. После измерения рассчитано удельное электрическое сопротивление образцов.

Результаты и обсуждения

С увеличением концентрации кадмия, УЭС (удельное электрическое сопротивление) образцов увеличивается. В таблице 1 приведено изменение УЭС полученных образцов медных сплавов модифицированно-легированные кадмием.

Таблица 1 – УЭС образцов медных сплавов модифицированно-легированных кадмием в зависимости от концентрации кадмия

| Cd% | 0 | 0,05 | 0,15 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 1,05 | 1,15 | 1,2 | 1,25 |
|-----------|----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| УЭС, Ом м | 18 | 18,9 | 19,8 | 20,88 | 21,61 | 21,81 | 21,87 | 22,86 | 24,01 | 24,86 |

Применяя полученные данные построили график зависимости УЭС (нОм м) от концентрации модифицирующе - легирующего элемента кадмия. На рис.2. приведена зависимость УЭС от концентрации кадмия при комнатной температуре. Разработана математическая модель зависимости (Сплошная кривая).

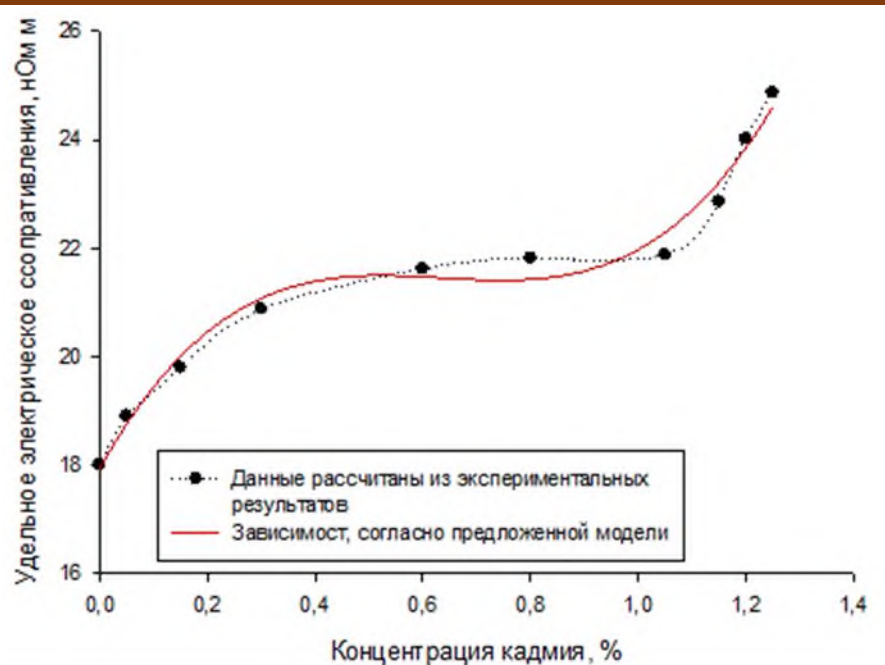


Рисунок 2 – Зависимость УЭС от концентрации кадмия при комнатной температуре. Сплошная кривая соответствует расчётным значениям согласно модели

Для определения доли влияния кадмия на электропроводность меди построен график зависимости электропроводности экспериментальных образцов относительно электропроводности меди марки М00. Разработана математическая модель зависимости в виде гиперболической кривой и определены коэффициенты уравнения модели (рис. 3.).

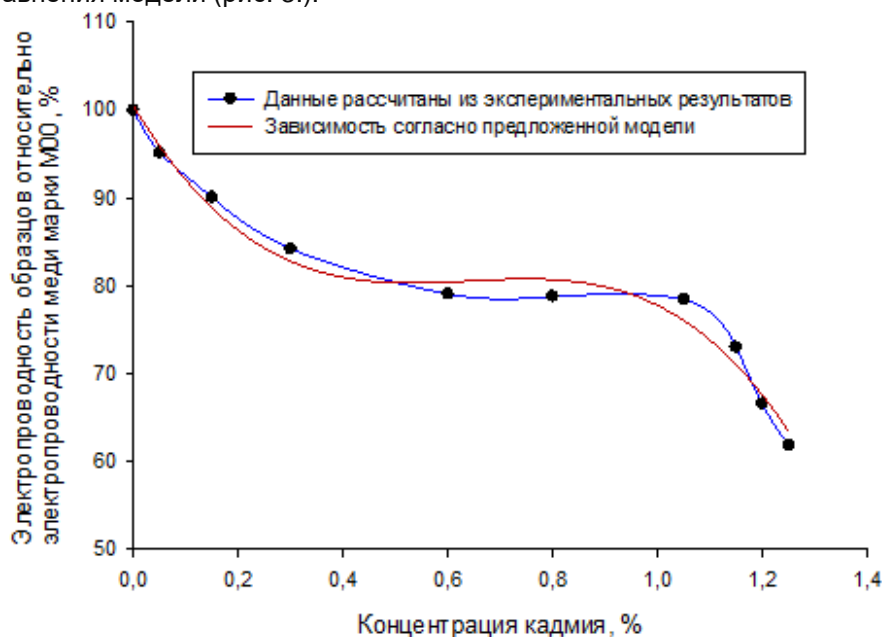


Рисунок 3 – Зависимость электропроводности экспериментальных образцов относительно электропроводности меди марки М00 от концентрации кадмия, %

Многие проводники из модифицированного кадмия эксплуатируются в условиях повышенной температуры, например, провода троллейбусов. Для выяснения температуры на электрические свойства модифицированной меди нами измерено электрическое сопротивление образца легированный 1,0 % - ним кадмием и рассчитано увеличение УЭС от повышения температуры (рис. 4). Кривая разработанной математической модели приведена сплошной кривой.

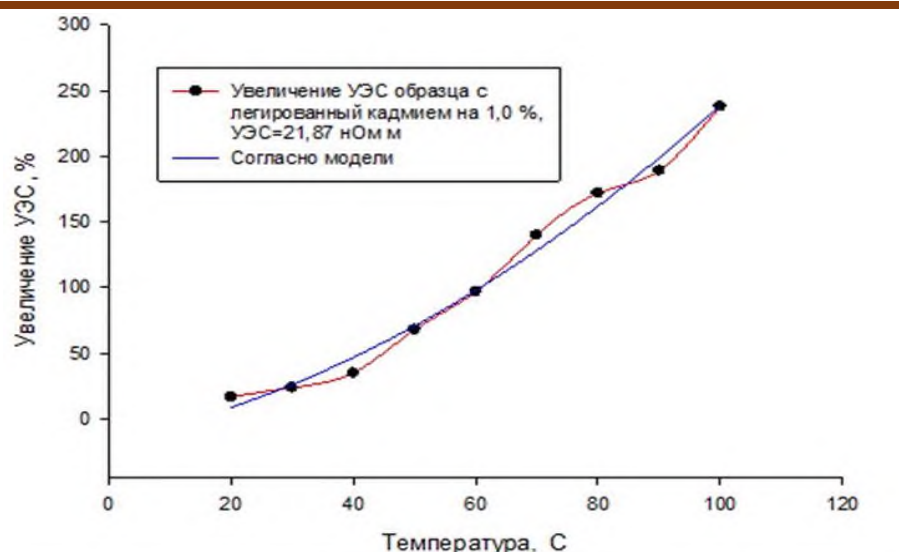


Рисунок 4 – УЭС экспериментального образца меди модифицированного кадмием от температуры. Концентрация кадмия 1,0%

Результаты эксперимента и расчетов показывают, что с увеличением температуры, УЭС образцов также увеличивается. Величина увеличения УЭС и уменьшение электропроводности зависят от концентрации кадмия.

Некоторыми авторами в журналах «Материаловедение» и «Электрохимия», изменения электропроводности меди связывают с изменением его структурных составляющих [7 - 9]. Можно встретить работы, где изучены свойства меди с кобальтом и влияние растворов на характеристики меди [10 - 11]. Работы, посвященные изучению сплавов меди модифицировано-легированных кадмием очень мало.

Согласно диаграмме состояния Cd – Cu в двойных системах могут образоваться до четырех химических соединений: Cu_2Cd , Cu_4Cd_3 , Cu_5Cd_8 , CuCd_3 (Рис. 5). Химическое соединение Cu_5Cd_8 образуется при температуре 563 °С. Другие соединения (β , δ , ϵ) образуются по перитектическим реакциям соответственно при температурах 549, 547 и 314 °С. Эвтектика наблюдается при 544 и 314 °С и концентрациях кадмия 47,3 и 97,9 % (ат). Растворимость кадмия составляет 2,56% при 650°C и 0,33% при 1055 °С и 0,26% при 300 °С.

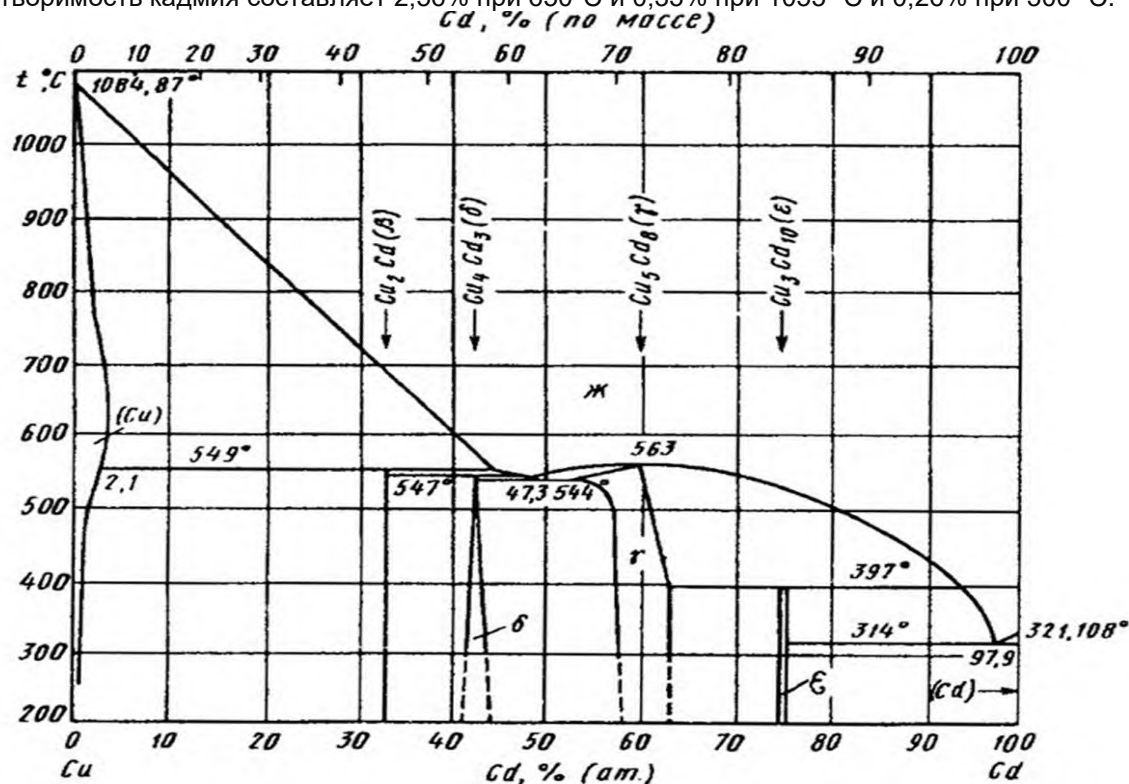


Рисунок 5 – Диаграмма состояния кадмий-медь

Используя полученные графики и программу «Сигма плот» нами построены математические модели зависимостей которые приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Математические модели зависимостей и их коэффициенты

| № пп | Наименование зависимостей | Уравнения математической модели | Коэффициент регрессии, R | Вид зависимостей |
|---------|---|--|-----------------------------|------------------|
| 1 | Зависимость УЭС образцов от концентрации кадмия | $\rho = 17,94 + 17,74 n - 28,83 n^2 + 15,12 n^3$ | 0,992 | Гиперболическая |
| 2 | Зависимость электропроводности экспериментальных образцов относительно электропроводности меди от концентрации кадмия, %. | $\sigma = 100,47 - 99,55 n + 160,55 n^2 - 83,72 n^3$ | 0,991 | Гиперболическая |
| 3 | Зависимость УЭС экспериментального образца меди легированного кадмием от температуры. Концентрация кадмия 1,0%. | $\rho = - 16,02 + 0,93 n + 0,016 n^2$ | 0,995 | Параболическая |

Анализируя полученные данные можно предполагать, что при малых количествах кадмия удельное электрическое сопротивление меди возрастет пропорционально увеличению количества атомов. Медь при плавке в воздухе образует оксидные и сульфидные пленки. При кристаллизации образовавшиеся оксиды выделяются в виде образований $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$, которые образуют сетку по границам зерен меди, которые снижают его пластические характеристики.

Кроме того, введение кадмия в расплав меди снижает межфазное натяжение на границе зародышевой фазы – кристаллизующийся расплав, уменьшает размер критического зародыша, увеличивает количество центров кристаллизации и способствует получению мелкозернистой структуры в твердом растворе.

Заключение

Анализ результатов эксперимента и расчётных значений электропроводности показывает, что модифицировано-легированные сплавы меди кадмием также снижают её электропроводность, но в меньшей степени по сравнению с другими элементами. В связи с этим кадмий можно рекомендовать в качестве модифицирующего и легирующего компонента при производстве электротехнических материалов на основе меди.

Рецензент: Носиров Н.К. — д.т.н., главный научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии.

Литература

1. Quinet M. Influence of organic additives on the initial stages of copper electrodeposition on polycrystalline platinum / M. Quinet, F. Lallemand, L. Ricq and others // *Electrochimica Acta*. – 2009. – Vol. 54. – P. 1529-1536. 11. Donepudi, V.S.
2. Suarez D.F. Nodulation of electrodeposited copper in the presence of thiourea / D.F. Suarez, F.A. Olson // *J. App. Electrochem.* – 1992. – Vol. 22. – P. 1002-1010. 9. Holzle, M.H. Copper deposition onto Au (111) in the presence of thiourea / M.H. Holzle, C.W. Apsel, T. Will, D.M. Kolb // *J. Electrochem. Soc.* – 1995. – Vol. 142. – P. 3741. 131
3. Кисунько В.З. Термоскоростное модифицирование алюминиевых расплавов / В. З. Кисунько И.А. Новохватский, А.И. Погорелов и др. // *изв. АН СССР. Металлы*. –1980. – № 1. –С. 128–130.
4. Сулицин А.В. Теоретические и технологические основы производства литых заготовок из электротехнической меди: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.04 / Сулицин Андрей Владимирович. – Екатеринбург, 2017. – 311 с
5. Миров И.О. Влияние кремния и легирования на механические свойства сплавов алюминия системы // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. -2023.- Вып. № 2 (62). - С. 87 - 94.
6. Миров И.О., Содатдинов Ш.С., Акрамов М.Б. Рентгеноспектральный анализ образцов до эвтектических сплавов алюминия системы Al-Si-Me.- /Миров И.О., Содатдинов Ш.С., Акрамов М.Б. // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. -2022.- Вып. № 4 (60). - С. 76-80.
7. Yusoff M. Mechanical alloying and sintering of nanostructured tungsten carbide-reinforced copper composite and its characterization / M. Yusoff, R. Othman, Z. Hussain // *Materials and Design*. – 2011. – № 32. – P. 3293–3298.

8. Holzle M.H. Copper deposition onto Au(111) in the presence of thiourea / M.H. Holzle, C.W. Apsel, T. Will, D.M. Kolb // J. Electrochem. Soc. – 1995. – Vol. 142. – P. 3741. 131
9. Donepudi V.S. Electrodeposition of copper from sulfate electrolytes: effects of thiourea on resistivity and electrodeposition mechanism of copper / V.S. Donepudi, R. Venkatachalapathy, P.O. Ozemoyah and others // Electrochem. Solid-State Lett. – 2001. – Vol. 4. – P. C13.
10. Fabricius G. Influence of thiourea on the nucleation of copper from acid sulphate solutions / G. Fabricius, K. Kontturi, G. Sundholm // Electrochimica Acta. – 1994. – Vol. 39. – P. 2353-2357.
11. Chassaing E. Effect of organic additives on the electrocrystallization and the magnetoresistance of Cu-Co multilayers / E. Chassaing // J. Electrochem. Soc. – 2001. – Vol. 148. – P. C690-694.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Акрамов Муҳаммад Бозорович н.и.ф.- м, дотсент | Акрамов Мухаммад Бозорович к.ф.- м.н., доцент | Akramov Muhammad Bozorovich Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor |
| Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нав АМИТ | Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ | Center for Innovative Development of Science and New Technologies |
| E-mail: akramov60@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Зубайдов Саидахмад Д.и.и. | Зубайдов Саидахмад Д.э.н. | Zubaydov Saidahmad Doctor of Economics, |
| Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нав АМИТ | Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ | Center for Innovative Development of Science and New Technologies |
| E-mail: zubaydov57@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қодиров Анвар Саидкулович Д.и.т. | Қодиров Анвар Саидкулович Д.т.н. | Qodirov Anvar Saidkulovich Doctor of Technical Sciences |
| Директори Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ | Директор Центра инновационного развития науки и новых технологий НАНТ | Director of Center of Innovative Development of Science and New Technologies National Academy of Sciences of Tajikistan |
| E-mail: dr.kodirov@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Норкулов Холтура Олимшоевич Муаллими калон | Норкулов Холтура Олимшоевич Старший преподаватель | Norkulov Kholtura Olimshoevich Senior Lecturer |
| Филиали ДМТТ "МИСИС" дар ш. Душанбе. | Душанбинский филиал Национального исследовательского технологического университета МИСИС в городе Душанбе. | The Dushanbe branch of the National Research Technological University MISaA in Dushanbe. |
| E-mail: hol_norkulov@inbox.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Анваров Чахонгир Муминҷонович | Анваров Джахонгир Муминджонович | Anvarov Jahongir Muminjonovich |
| Унвончуи ДМТТ "МИСИС" дар ш. Москва | Соискатель НИТУ «МИСИС» в г. Москва | Applicant at MISaA in Moscow |
| E-mail: jonga.64@bk.ru | | |

ПОДБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.С. Гулов, Дж.Н. Алиев

Статья описывает порядок осуществления аналитических процедур для решения задачи выбора конструкционной стали с учетом условий её эксплуатации. Выделены основные критерии, обеспечивающие прочность и долговечность машиностроительных изделий. Особое внимание уделено инженерному подходу к разработке материала, гарантирующего стабильные эксплуатационные характеристики при взаимодействии с рабочей средой в условиях механических нагрузок.

Ключевые слова: качество продукции машиностроения, эксплуатационные характеристики, условия производства, надежность конструкции, долговечность изделия, конструктивная долговечность, физико-механические свойства, эксплуатационные показатели.

ИНТИХОБИ МАСОЛЕҶҶО БАРОИ ТАЪМИНИ МАСНУОТИ МОШИНСОЗИИ БАЛАНДИСИФАТ

С.С. Гулов, Ҷ.Н. Алиев

Мақола тартиби амалигардии расму қоидаи таҳлилиро барои ҳалли масъалаи интихоби пӯлоди конструксиониро бо дарназардошти шартҳои истифодабарии он тавсиф менамояд. Меъёрҳои асосии таъмини мустақамӣ ва устувории маснуоти мошинсозӣ қайд карда шудааст. Ба нуқтаи назари муҳандисии қоркарди масолеҳе, ки тавсифи устувори истифодабариро ҳангоми таъсири мутақобила бо муҳити қорӣ дар шароити қори механикӣ қафолат медиҳад, диққати махсус дода мешавад.

Калидвожаҳо: сифати маснуоти мошинсозӣ, ҳосиятҳои истифодабарӣ, муҳити истеҳсолӣ, эътимоднокии конструксия, пойдоҳии маснуот, устувории конструктивӣ, тавсифҳои физикии механикӣ, нишондиҳандаҳои ҳосиятҳои истифодабарӣ.

SELECTION OF MATERIALS TO ENSURE HIGH-QUALITY ENGINEERING PRODUCTS

S.S. Gulov, J.N. Aliev

This article describes the analytical procedures for selecting structural steel based on its operating conditions. Key criteria for ensuring the strength and durability of mechanical engineering products are identified. Particular attention is paid to the engineering approach to developing a material that guarantees stable performance characteristics when interacting with the working environment under mechanical loads.

Keywords: quality of engineering products, operational properties, production environment, design reliability, product durability, structural strength, physical and mechanical characteristics, performance indicators.

Введение

Повышение эффективности машиностроительного производства через совершенствование качества продукции в условиях глобальной экономики является актуальным.

В условиях глобализации и международного разделения труда одним из ключевых факторов повышения производительности машиностроительных предприятий является улучшение качества выпускаемых изделий. Качество в данном контексте рассматривается как совокупность характеристик, включающих, как сами свойства изделий, так и их количественные показатели, которые определяют способность продукции соответствовать заданным требованиям. В работе [1] понятие качества продукции в машиностроении многогранно, поскольку не современное машино- и приборостроение предъявляет высокие требования к конструкционным материалам, в связи с резким повышением многих параметров работы механизмов: давлений, скоростей, температур и т.д. Широкое использование металлов в современной технике связано с тем, что они обладают замечательным комплексом механических свойств: высокая прочность, твердость и упругость сочетаются у них с хорошей пластичностью, вязкостью. При этом в настоящее время уровень этих свойств резко возрос: разработаны металлические материалы, которые можно использовать и в условиях глубокого холода-вблизи абсолютного нуля – и при очень высоких температурах, при которых другие материалы служить не могут. Несмотря на то, что изучение природы механических свойств металлов привело к серьезным успехам, многое в этой области еще предстоит сделать.

Эти факторы в совокупности формируют перечень показателей качества, которые необходимо учитывать на всех этапах жизненного цикла изделия — от проектирования до эксплуатации и утилизации. На стадии разработки конструкции особое значение приобретает потребительская ценность изделия, выраженная через набор характеристик, гарантирующих выполнение его функций в различных условиях [2]. Ключевыми факторами, обеспечивающими высокое качество определяется физико-химическими свойствами обрабатываемых материалов и деталей, эффективностью и точностью технологических процессов, а также строгостью обработки и контроля качества. Например, при изготовлении деталей для авиационных двигателей выбор материала, такого как жаропрочные никелевые сплавы, необходимо учитывать их способность выдерживать высокие температуры и коррозионные воздействия, в то время как для массового производства автомобильных компонентов, таких как шасси, предпочтение может быть отдано углеродистым сталям, которые обеспечивают баланс между прочностью и экономичностью. Таким образом, одной из центральных задач на поэтапном выборе конструкции предполагает рациональный выбор материалов и технологий обработки, соответствующих целевому продукту.

Экспериментальная часть

Процесс выбора материала начинается с комплексного анализа конструктивных характеристик детали, включая геометрические параметры (форму и размеры), а также условия эксплуатации. Особое внимание уделяется механическим нагрузкам, действующим на детали, и потенциально агрессивным факторам окружающей среды, таким как коррозия, высокая влажность или экстремальные температуры. Например, при проектировании валов для судовых двигателей, работающих в морской воде, требуется учитывать не только механическую прочность, но и коррозионную стойкость, что может привести к выбору нержавеющей стали с дополнительной защитной обработкой. Эти факторы определяют требования к конструктивной прочности изделия, технологичности процессов механической, термической или химико-термической обработки, а также к экономическим аспектам, включая доступность материала, его стоимость и затраты на упрочняющую обработку. Кроме того, учитывается объем производства: для мелкосерийного выпуска высокотехнологичных компонентов, таких как элементы турбин, могут использоваться дорогостоящие легированные стали, тогда как для крупносерийного производства предпочтительны более доступные материалы с оптимизированными технологиями обработки.

На рисунке 1 представлена схема уровня служебных свойств и этапов анализа для решения задачи выбора материала. Процесс представляет следующие этапы: определение химического состава, технологические параметры, эксплуатационные условия, производство материала и определение некоторых параметров свойств, как физический, химический и механический, а также анализ экономической целесообразности. Такой подход позволяет не только обеспечить высокое качество машиностроительной продукции, но и оптимизировать производственные затраты, что имеет решающее значение в условиях глобальной конкуренции. Например, при производстве деталей для сельскохозяйственной техники, таких как плуги, выбор углеродистой стали с последующей закалкой позволяет достичь необходимой износостойкости при минимальных затратах, тогда как для высоконагруженных компонентов, таких как зубчатые колеса в редукторах, может потребоваться использование легированных сталей с цементацией для повышения усталостной прочности.

Эффективный выбор материалов и технологий также требует учета современных тенденций в машиностроении, таких как минимизация экологического воздействия и повышение энергоэффективности производства. Например, использование материалов с высокой перерабатываемостью или технологий, снижающих энергопотребление, может быть важным фактором для компаний, стремящихся соответствовать международным стандартам устойчивого развития. Кроме того, на этапе проектирования важно учитывать возможность автоматизации производственных процессов, что особенно актуально для крупносерийного производства, где оптимизация технологий обработки может значительно снизить себестоимость продукции. Такой комплексный подход позволяет машиностроительным предприятиям не только обеспечивать высокое качество изделий, но и укреплять свои позиции на глобальном рынке.

Анализ предложенной схемы демонстрирует, что подбор материала и обработки по технологии на первом этапе выполняется с учетом точного назначения изделия и условий его эксплуатации. На основе этих факторов подбирается материал с определенным химическим составом и соответствующей технологией обработки, которые обеспечивают формирование необходимой структуры материала. В данном случае первоочередная задача сосредотачивается на разработке требований к материалу, в которые входят такие показатели качества, обеспечивающие надежную и долговечную работу изделия [3]. Эти показатели охватывают следующие аспекты:

1. Классификация внешнего воздействия: устанавливается тип нагрузки (статическая или динамическая) и схема напряженно-деформированного состояния. Например, для вала двигателя внутреннего сгорания важно учитывать циклические нагрузки, вызывающие усталость материала;

2. Расчет допустимых деформаций: определяются пределы упругих деформаций и нагрузок, которые могут привести к недопустимым изменениям формы или разрушению детали. Например, при проектировании мостовых балок рассчитываются нагрузки, обеспечивающие устойчивость без пластических деформаций;

3. Оценка нагрева в процессе эксплуатации: анализируется возможность повышения температуры детали и её допустимый уровень. Например, для турбинных лопаток, работающих в условиях высоких температур, требуется материал с высокой жаропрочностью, такой как никелевые сплавы;

4. Анализ разупрочнения: оценивается потенциальная потеря прочности материала в течение заданного ресурса эксплуатации. Например, для зубчатых колес редукторов важно учитывать износ при длительной работе под нагрузкой;

5. Установление порога хладноломкости: определяется минимальная температура, при которой материал сохраняет пластичность и не становится хрупким. Это особенно важно для конструкций, эксплуатируемых в условиях низких температур, таких как трубопроводы в арктических регионах;

6. Оценка знакопеременных и истирающих нагрузок: изучаются циклические нагрузки и износ, которые могут привести к преждевременному разрушению детали. Например, для подшипников в машиностроении требуется высокая износостойкость, достигаемая за счёт термообработки или нанесения покрытий;



Рисунок 1 - Аналитические процедуры выбора материалов и алгоритмы технологий производства и переработки материалов

7. Анализ агрессивного воздействия внешней среды: определяется характер и степень влияния рабочей среды, например, коррозии или эрозии, и необходимость обеспечения устойчивости материала к этим факторам. Для судовых деталей, работающих в морской воде, применяются коррозионностойкие стали или защитные покрытия;

8. Оценка физических воздействий: рассматриваются возможные воздействия, такие как радиация, электромагнитные поля или термические эффекты, и устанавливаются их допустимые уровни. Например, в ядерной энергетике материалы для реакторов должны быть устойчивы к радиационному воздействию.

Эти шаги позволяют разработать материал, который соответствует эксплуатационным требованиям, обеспечивая высокую надёжность и долговечность изделия. Например, при проектировании компонентов для авиационной промышленности, таких как шасси самолёта, выбор высокопрочных алюминиевых сплавов с последующей термообработкой позволяет достичь оптимального баланса между прочностью и весом, минимизируя риск разрушения под нагрузкой. Такой подход к инжинирингу материалов не только гарантирует качество продукции, но и оптимизирует производственные процессы, снижая затраты и повышая конкурентоспособность на рынке.

На основе анализа заданных показателей качества, с учётом возможных дефектов кристаллической структуры и сплошности материала, проводится сравнение требуемых эксплуатационных характеристик с результатами лабораторных и натурных испытаний. Это позволяет сделать вывод о правильности выбора конструкционного материала, обеспечивающего стабильные и воспроизводимые свойства, необходимые для

надёжной и долговечной работы изделия [3]. Такой подход гарантирует, что материал будет соответствовать условиям эксплуатации, включая воздействие внешней среды и механические нагрузки.

Конструкционные материалы и их назначение

Конструкционные материалы должны иметь высокие механические свойства. т.е. сочетать высокую прочность ($\sigma_b = 80 - 130 \text{ кг/мм}^2$), хорошую пластичность ($\delta=50\%$, $\psi=13-17\%$), ударную вязкость ($a_k=10-14 \text{ кгм/см}^2$) и обладать высоким пределом усталости ($\sigma_{0,2} = 50-55 \text{ кг/мм}^2$). Конструкционные материалы отвечающие вышеуказанным требованиям, содержат от 0,1 до 0,55% С и не выше 6% в сумме легирующих элементов, так как при большом содержании углерода и легирующих элементов резко падают вязкость и пластичность металла.

Конструкционные материалы используют для получения некоторых деталей машин, механизмов и конструкций, которые в процессе эксплуатации подаются разным наружным нагрузкам. Такие машиностроительные детали отличаются по многообразным формам, размерам и условиям работы, таких как статические, циклические или ударные нагрузки, высокие или низкие температуры, а также воздействие сред различной природы (жидких, газообразных, агрессивных). Например, валы турбин в энергетическом машиностроении должны выдерживать циклические нагрузки, а детали судовых конструкций — воздействие морской воды.

Эксплуатационные требования

Эксплуатационные свойства металлов является основным характеристикам, так как они определяют выносливость материала которое обеспечивает способность детали в машиностроение. Основным требованием это высокое конструктивная прочность, которое является механических характеристики обеспечивающихся надёжности и длительное использование детали.

Увеличение прочность металла повышает надёжность и долговечность машин (конструкции) и понижает расход металла на их изготовление вследствие уменьшения сечение деталей машин, что имеет важное народнохозяйственное значение. К основным параметрам механического свойства по ГОСТу 1497-84 относится текучесть ($\sigma_{0,2}$), сопротивление при временное разрыв (σ_b), относительное удлинение (δ) и сужение металла (ψ). К этому примеру можно указывать получение внутренние детали редукторов, которые изготовлено из сталей с высоким прочностью, что обеспечивает устойчивость к усталостным нагрузкам. Указание параметры в некоторых случаях не может обеспечивать работоспособности основных деталей связи тем, что их свойства зависят от его условия использование, включая зависимости от используемой среды и температуры. Интервалы нагрева используемых материалов начинается от самых низких температур (-269°C , например, для криогенных установок) до высших точек нагрева (до 1000°C , а в некоторых деталях авиастроению до 2500°C). Деталей работающих на высоких температурах выбирается жаропрочные сталь, а при низких температурах — хладостойкие стали [4].

Обеспечение надёжности и долговечности деталей не рассчитывается на увеличения запаса прочности, примером, уменьшение формальных напряжений или увеличения сечения. Обязательно используется деталей с высокой устойчивостью к внешним воздействиям и совершенствовать технологии производства.

Основным критериями технологичности материала охватывает уменьшение трудоёмкости направленного на снижение трудоёмкости производства деталей и конструкций. К этим относится обрабатываемость резанием, способность к обработке давлением, свариваемость, литейные свойства, а также поведение материала при термической обработке (прокаливаемость, склонность к деформациям или короблению). Примером этих материалов можно привести, углеродистые стали, широко используемые в машиностроении для получения корпусов машин, обладают хорошей свариваемостью и обрабатываемостью, что повышает производительность и качество изготовления. Технологичность напрямую влияет на эффективность производственного процесса и конечное качество продукции.

Экономические аспекты подразумевают выбор материала, который обеспечивает минимальные затраты с учётом всех этапов — от стоимости сырья до эксплуатации готового изделия. Приоритет отдаётся более доступным материалам, таким как углеродистые или низколегированные стали, которые обеспечивают достаточные эксплуатационные характеристики при меньших затратах. Например, для массового производства автомобильных компонентов, таких как рамы, углеродистые стали предпочтительны из-за их низкой стоимости. Например, применение легированных сталей с цементацией для зубчатых колёс увеличивает их срок службы, снижая затраты на ремонт и замену.

Таблица 1 отражает ключевые показатели качества, упомянутые в тексте (конструктивная прочность, коррозионная стойкость, технологичность, экономичность), и включает примеры применения материалов в машиностроении, что соответствует обсуждаемым требованиям.

Таблица 1 - Ключевые показатели качества конструкционных материалов в машиностроении

| Показатель качества | Описание | Пример применения | Тип материала | Условия эксплуатации |
|---------------------------------|---|---|---|---|
| Конструктивная прочность | Совокупность механических характеристик ($\sigma_{0.2}$, σ_B , δ , ψ), обеспечивающих устойчивость к нагрузкам. | Зубчатые колёса редукторов, выдерживающие циклические нагрузки. | Легированная сталь (40X, 30XГСА) с термообработкой. | Высокие циклические нагрузки, температуры до 200°C. |
| Коррозионная стойкость | Способность материала противостоять разрушению от воздействия агрессивной среды (например, морской воды). | Детали судовых конструкций (валы, винты). | Нержавеющая сталь (12X18H10T). | Морская вода, влажность, температура 0–50 °C. |
| Жаропрочность | Устойчивость к высоким температурам без потери прочности. | Лопатки турбин в авиационных двигателях. | Никелевые сплавы (ХН77ТЮР). | Температуры до 1000°C, высокие нагрузки. |
| Хладостойкость | Сохранение пластичности при низких температурах. | Трубопроводы в арктических условиях. | Хладостойкая сталь (09Г2С). | Температуры до –60°C, статические нагрузки. |
| Износостойкость | Способность противостоять истиранию и усталостным нагрузкам. | Подшипники в машиностроении. | Высокоуглеродистая сталь (ШХ15) с цементацией. | Циклические нагрузки, трение, температуры до 150°C. |
| Технологичность (свариваемость) | Лёгкость обработки сваркой без дефектов. | Корпуса машин в автомобилестроении. | Углеродистая сталь (Ст3). | Сварка, умеренные нагрузки, температура 0–100°C. |
| Экономичность | Минимизация затрат на материал и обработку при сохранении свойств. | Рамы автомобилей в массовом производстве. | Низкоуглеродистая сталь (08кп). | Умеренные нагрузки, низкая стоимость. |

Требования, предъявляемые к конструкционным материалам, часто вступают в противоречие друг с другом. Например, материалы с высокой прочностью, как правило, обладают меньшей технологичностью, что затрудняет их обработку методами резания, холодной штамповки или сварки. При выборе материала в машиностроении приходится искать компромисс между различными характеристиками. В массовом производстве приоритет часто отдается упрощению технологических процессов и снижению трудоёмкости изготовления деталей, даже если это связано с некоторым снижением эксплуатационных свойств или увеличением массы изделия. Например, для автомобильных рам могут использоваться углеродистые стали, которые проще в обработке, несмотря на их меньшую прочность по сравнению с легированными сталями.

В специализированных отраслях машиностроения, таких как авиастроение или энергетика, где ключевое значение имеет конструктивная прочность или удельная прочность (отношение прочности к массе), выбор материала и технологии его упрочнения ориентирован исключительно на достижение максимальных эксплуатационных характеристик. Например, для лопаток турбин применяются жаропрочные никелевые сплавы, подвергаемые сложной термической обработке для обеспечения работы при температурах до 1000°C. Однако при этом важно избегать избыточной долговечности отдельных компонентов, если она превышает срок службы всего изделия в сборе, чтобы не увеличивать затраты без необходимости [5].

При выборе стали для достижения требуемых механических и других свойств особое внимание уделяется подбору оптимального вида упрочняющей обработки — объёмной термической или поверхностной химико-термической. Решение о выборе материала и технологии упрочнения должно учитывать конкретные производственные условия, поскольку один и тот же процесс обработки, например закалка, может давать разные экономические результаты в зависимости от оборудования, масштаба производства и доступных ресурсов. Экономическая эффективность зависит от таких факторов, как тип продукции, выбор заготовок, энергопотребление, возможность применения специализированного оборудования и организационные особенности. Например, в массовом производстве автомобильных деталей использование автоматизированных линий для термообработки может существенно снизить затраты, тогда как в мелкосерийном производстве уникальных компонентов, таких как детали для аэрокосмической отрасли, требуется дорогостоящее оборудование для прецизионной обработки [5].

Как правило, рассматривается несколько вариантов марок стали и методов упрочнения, чтобы определить оптимальное сочетание, которое обеспечивает высокие эксплуатационные свойства и технологичность на всех этапах производственного процесса в соответствии с чертежами изделия. Этот подход отражает принцип сочетания необходимого и достаточного, когда требуется достичь заданного уровня ключевого свойства (например, прочности) при сохранении приемлемого уровня других характеристик, таких как свариваемость или обрабатываемость. Например, для производства зубчатых колёс редукторов может быть выбрана легированная сталь 40X с цементацией, обеспечивающая высокую износостойкость поверхности при сохранении пластичности сердцевины, что отвечает требованиям как эксплуатации, так и технологичности.

Перечень основных физико-механических, эксплуатационных, технологических и экономических характеристик, обеспечивающих соответствие деталей и узлов машин требованиям эксплуатации, представлен в виде схемы (см. рисунок 2). Эта схема иллюстрирует взаимосвязь между различными свойствами материала и их влиянием на качество готового изделия, подчеркивая необходимость комплексного подхода к выбору материала и технологии его обработки. Например, для деталей, работающих в условиях агрессивной среды, таких как судовые валы, схема может включать требования к коррозионной стойкости, достигаемой за счёт нанесения защитных покрытий, и одновременно учитывать экономическую целесообразность выбранного решения.



Рисунок 2 – Ключевые факторы для обоснованного подбора материала в машиностроительной отрасли

Заключение

Таким образом, после установления конструктивных характеристик детали (ее формы и размеров) и анализа условий эксплуатации, включая основные нагрузки, воздействующие на деталь, оптимальный выбор материала должен проводиться специалистами по материаловедению, опирающимися на принцип баланса между необходимым и достаточным. Этот подход предполагает глубокое понимание взаимосвязей между химическим составом материала, технологией его производства и обработки, а также его структурой и свойствами. Эти взаимосвязи, подтвержденные экспериментальными исследованиями, служат основой металловедческих принципов, лежащих в основе инженерных критериев подбора материалов и технологий, которые формируют эксплуатационные характеристики деталей через процессы упрочняющей обработки.

Рецензент: А.Э. Бердиев — д.т.н., профессор кафедры «Химии и биологии» РПИСУ.

Литература

1. Гузанов, Б. Н. Методология выбора конструкционных материалов для обеспечения качества машиностроительной продукции / Б. Н. Гузанов, В. В. Бухаленков // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 23 мая 2019 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. – С. 116-123. – EDN KAWXWS.

2. Витязя, П. А. Выбор и применение материалов: учебное пособие / П. А. Витязя, Н. А. Свидуновича и др. – Минск : Изд-во “Беларуская навука”, 2018.- с. 28-39. – 100экз.-Том 1,2,3,4 - ISBN:978-985-08-2204-8; 978-985-08-2531-5 (т.4),

3. Чудина, О.В. Выбор материалов и методов упрочнения деталей транспортного машиностроения: учеб. пособие / О.В. Чудина, Г.В. Гладова. – М.: Изд-во МАДИ, 2015. – 120 с.-100экз - ISBN: 978-5-7962-0209-8

4. Протасов, В. Н. Качество машиностроительной продукции на различных стадиях уе жизненного цикла / В. Н. Протасов, О. А. Новиков, Москва: Недра, 2012.- 229 с.- ISBN 978-5-8365-0389-5

5. Филиппов, М. А. Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебное пособие для студентов / М. А. Филиппов, В. Р. Бараз, М. А. Гервасьев. 2-е изд., испр. Екатеринбург: Изд-во УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Т. 1: Стали и чугуны. 2013.- 228 с.- ISBN 978-5-7996-0917-7

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

| TJ | RU | EN |
|---|--|--|
| Гулов Саломидин Садридинович | Гулов Саломидин Садридинович | Gulov Salomidin Sadridinovich |
| н.н.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: gulovsalomidin@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Алиев Ҷамшед Насридинович | Алиев Джамшед Насридинович | Aliev Jamshed Nasridinovich |
| 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: Jamshdaliev0672@gmail.com | | |

ТАДҚИҚИ ОКСИДШАВИИ БАББИТИ СУРБӢ Б(PbSb15Sn10) БО ИНДИЙ, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

Х.М. Хочаназаров., И.Н. Ғаниев, Ш.Х. Саидов, Р.Д. Исмонзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқи кинетикаи оксидшавии баббити сурбӣ Б(PbSb15Sn10) бо индий дар ҳудуди ҳарорати 373–473K, маҳсулоти оксидшавии ҳулаҳо ва микросохтори онҳо баррасӣ шудааст. Тадқиқотҳо бо усули термогравиметрӣ дар ҳаво бо фишори атмосферӣ дар ҳудуди ҳарорати 373–473 K гузаронида шуданд. Муайян карда шуд, ки раванди оксидшавиро дар тамоми ҳудуди ҳарорати тадқиқшуда бо дақиқии баланд бо полиномии дараҷаи чорум тавсиф кардан мумкин аст. Дар раванди гузаронидани таҷриба, тағйирёбии даврии суръати оксидшавиро вобаста аз вақт қайд карда шуд. Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ҳулаҳо муайян карда шуданд. Муайян карда шуд, ки иловаҳои индий оксидшавии ҳулаи ибтидоӣ Б(PbSb15Sn10)-ро зиёд мекунанд. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои компоненти ҷавҳаронӣ микросохтори онро ба таври назаррас тағйир медиҳанд. Усули таҳлили рентгенофазавӣ маълум кард, ки маҳсулоти оксидшавии ҳулаҳо аз оксидҳо зерин иборатанд: PbO, Pb_{0.828}O₂, Pb₂(SnSb)O_{6.5}, Sb₂O₄, Pb₂SnO₄, PbSb₂O₆, In₂O₃. (Pb₃Sb₂O_{8.47})_{6.4}.

Калимаҳои калидӣ: кинетикаи оксидшавӣ, баббит Б(PbSb15Sn10), индий, энергияи фаъолишавӣ, константаи суръати оксидшавӣ, микросохтор, ТРФ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ СВИНЦОВОГО БАББИТА Б(PbSb15Sn10) С ИНДИЕМ, В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Х.М. Ходжаназаров, И.Н. Ғаниев, Ш.Х. Саидов, Р.Д. Исмонзода

В работе рассмотрены результаты исследования кинетики окисления свинцового баббита Б(PbSb15Sn10) с индием в диапазоне температур 373–473K, образующиеся продукты окисления сплавов и их микроструктуры. Исследования проводили термогравиметрическим методом в воздухе при атмосферном давлении в интервале температур 373–473K. Обнаружено, что процесс окисления во всем исследованном диапазоне температур с высокой точностью может быть описан полиномом четвёртой степени. В экспериментах отмечено периодическое изменение скорости окисления от времени. Определены кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов. Установлено, что добавки индия увеличивает окисляемость исходного сплава Б(PbSb15Sn10). Показано, что добавки легирующего компонента существенно изменяют его микроструктуру. Методом РФА выявлено, что продукты окисления сплавов, состоят из оксидов: PbO, Pb₃O₄, Pb₂(SnSb)O_{6.5}, Sb₂O₅, PbSb₂O₆, Pb₂SnO₄, Ga₂O₃.

Ключевые слова: кинетика окисления, баббит Б(PbSb15Sn10), индий энергия активации, константа скорости окисления, микроструктура, РФА.

STUDY OF OXIDATION OF LEAD BABBITTE B(PbSb15Sn10) WITH GALLIUM IN THE SOLID STATE

Kh.M. Khojanazarov, I.N. Ganiev, Sh.Kh. Saidov, R.D. Ismonzoda

The paper considers the results of studying the oxidation kinetics of lead babbitt B(PbSb15Sn10) with gallium in the temperature range of 373–473 K, the resulting oxidation products of the alloys and their microstructure. The studies were carried out by the thermogravimetric method in air at atmospheric pressure in the temperature range of 373–473 K. It was found that the oxidation process in the entire studied temperature range can be described with high accuracy by a fourth-degree polynomial. The experiments noted a periodic change in the oxidation rate over time. The kinetic and energy parameters of the oxidation process of the alloys were determined. It was found that gallium additives increase the oxidizability of the original alloy B(PbSb15Sn10). It is shown that additives of the alloying component significantly change its microstructure. The X-ray diffraction method revealed that the oxidation products of the alloys consist of oxides: PbO, Pb₃O₄, Pb₂(SnSb)O_{6.5}, Sb₂O₅, PbSb₂O₆, Pb₂SnO₄, Ga₂O₃.

Keywords: oxidation kinetics, babbitt B(PbSb15Sn10), gallium activation energy, oxidation rate constant, microstructure, X-ray diffraction.

Муқаддима

Сурб ва ҳулаҳои асосёфтаи он имрӯзҳо яке аз панҷумин металл мебошанд, ки дар истеҳсолоти ҷаҳон бештар истифода мешаванд. Самтҳои калидии истифодаи сурб — истеҳсоли батареяҳои сурбӣ, таҷҳизоти низомӣ, ғилофҳои муҳофизатии кабелҳо ва намудҳои гуногуни масолеҳи сохтмонӣ ба шумор мераванд. Инчунин, ҳулаҳои сурбӣ дар механизмҳои подшипникӣ, прокладкаҳо, маҳсулоти рехтагарӣ ва фолга низ васеъ татбиқ ёфтаанд [1].

Дар солҳои охир сурб дар шаклҳои гуногун ҳамчун маводди хомӯшкунандаи садо ва ларзиш аҳамияти бештар касб мекунад. Ғайр аз ин, қобилияти баланди он ба худгирии эндатсионӣ имкон медиҳад, ки ҳамчун сипари муҳофизатӣ аз рентген ва дар соҳаи энергетикаи атомӣ бар зидди нурҳои гамма истифода шавад. Сурбро ҳамчунин ба ҳайси унсури ҷавҳаронӣ ба ҳулаҳои асоси пӯлод ва мис илова мекунанд, то коркарди онҳо беҳтар ва хосиятҳои механикӣ тақмил дода шаванд; инчунин ҳулаҳои пастгудоз барои системаҳои зиддисӯхторӣ ба он таъя доранд [2–4].

Таваҷҷуҳи олимони ба равандҳои оксидшавии металлҳо ва ҳулаҳо дар чанд соли охир ба таври назаррас афзоиш ёфтааст. Ин ҳолат пеш аз ҳама бо аҳамияти амалӣ доштан ва нақши калидии реаксияҳои оксидшавӣ дар технологияи муосир вобаста мебошад. Бе дарки механизмҳои оксидшавии металлӣ ғайриимкон аст, ки маводҳои дорои муқовимати баланд ба ҳароратро, ки барои сохтани гармунақҳо, печҳо, унсурҳои гармидиҳӣ

ва дигар таҷҳизоти техникӣ заруранд, интиҳоб ё тарҳрезӣ намуд. Бо рушди соҳаҳои нав — аз кайҳоннавардӣ то металлургияи хока, нанотехнология ва истеҳсоли маводи нимоқил — масъалаи интиҳоби дурусти маводди коркарда дар ҳарорати баланд боз ҳам муҳимтар гардид [5, 6].

Талаботи технологияи муосир нисбат ба масолеҳи сохторие, ки дар шароити ҳарорати баланд, сарбории зиёд ва муҳити химиявии фаъол фаъолият мекунад, рӯз ба рӯз ҷиддитар мешавад [7]. Бо назардошти он ки металли тоза дар амал ҳамчун масолеҳи конструктивӣ кам истифода мешавад, омӯзиши раванди оксидшавии ҳулаҳо ва роҳҳои баланд бардоштани устувории онҳо аҳамияти хоса дорад [8].

Ҳулаҳои асоси сурб дар истеҳсоли масолеҳи нав дорои потенциали калон мебошанд. Барои таъмини коркарди самараноки онҳо дар ҳарорати баланд, донишмандони параметрҳои кинетикии оксидшавӣ зарур аст, зеро маҳз ин маълумот имкони муайян кардани шароити оптималии ҳар коркардро фароҳам меорад. Бо вучуди ин, маълумоти назариявӣ ва таҷрибӣ оид ба ҷунин равандҳо дар адабиёти илмӣ хеле маҳдуд аст [9, 10].

Мақсади ин тадқиқот омӯзиши таъсири иловаи индий ба кинетикаи оксидшавӣ ва хусусиятҳои микросохтори баббита сурбии тамғаи Б (PbSb15Sn10) дар ҳолати саҳт мебошад. Барои иҷрои тадқиқот усули термогравиметрӣ бо тарозуи пайвастаи сабти массаи намунаҳо ба кор бурда шуд.

Мавод ва усулҳои тадқиқот

Барои омӯзиши таъсири иловаҳои индий ба кинетикаи оксидшавии баббита сурбӣ Б (PbSb15Sn10) дар печи муқовимати вакууми навъи СНВЭ - 1.3.1/16ИЗ дар атмосфераи гази инертӣ дар зери фишори изофаи оксиди алюминий ва фишори изофии оксиди 0,15 МПа ҳулаҳои саҳти дорои 10 г индий гирифта шуданд. Ҳулаҳо барои тадқиқот аз сурб тамғаи С1 (99,985% Pb) (ГОСТ 3778-77), сурмаи металли тамғаи Су00 (99,9% Sb) (ГОСТ 1089-82), навъи ОВЧ-000 (99,999% Sn) ва индий тамғаи Ин00 (99,9995 % In) (ГОСТ 10297-94) гирифта шуданд..

Кинетикаи оксидшавии ҳулаҳо бо усули термогравиметрӣ дар шароити ғайриизотермикӣ дар атмосфераи ҳаво бо истифода аз таҷрибаи кори муаллифони [11-15] омӯхта шуд.

Ҳатоҳии таҷрибавӣ аз рӯи формулаи аслии барои доимии суръати оксидшавӣ ҳисоб карда мешавад

$$k = m/(s \cdot t),$$

дар инҷо: m - массаи намуна; s — сатҳи таҳқиқшаванда; t - вақт.

Ҳатоҳии нисбии ҳисобшудаи таҷриба аз ҷамъи ҳатоҳои иборат аст: $\Delta k/k = (\Delta m/m)^2 + (\Delta s/s)^2 + \Delta t/t = (2,71)^2 + (1,5)^2 + 0,027 = 9,62$ дар мисоли ҳулаи аввалия Б (PbSb15Sn10).

Омӯзиши микросохтор яке аз усулҳои асосии тадқиқи ҳулаҳо ба ҳисоб рафта, имконият медиҳад, ки таъсири шаклдигарнамоӣ, речаҳои гуногуни коркарди гармӣ ва омилҳои технологӣ ба хусусиятҳои маҳсулоти ниҳии баббит дақиқ арзёбӣ карда шаванд. Ин раванд ҳамчунин барои таҳлил ва муайян намудани сабабҳои ба вучуд омадани нуқсонҳо дар соҳт ва сохтори ҳула аҳамияти калон дорад.

Микросохтори баббита тамғаи Б (PbSb15Sn10), ки бо индий легиронида шудааст, бо истифода аз микроскопи оптикӣ БИОМЕД-1 (Истеҳсоли Украина) таҳқиқ гардид. Барои омӯختани сохтори дохилии намунаҳо аз ғудохтаи тайёршуда устувночаҳои дорои диаметри 10–16 мм ва дарозии 5–10 мм рехта шуданд.

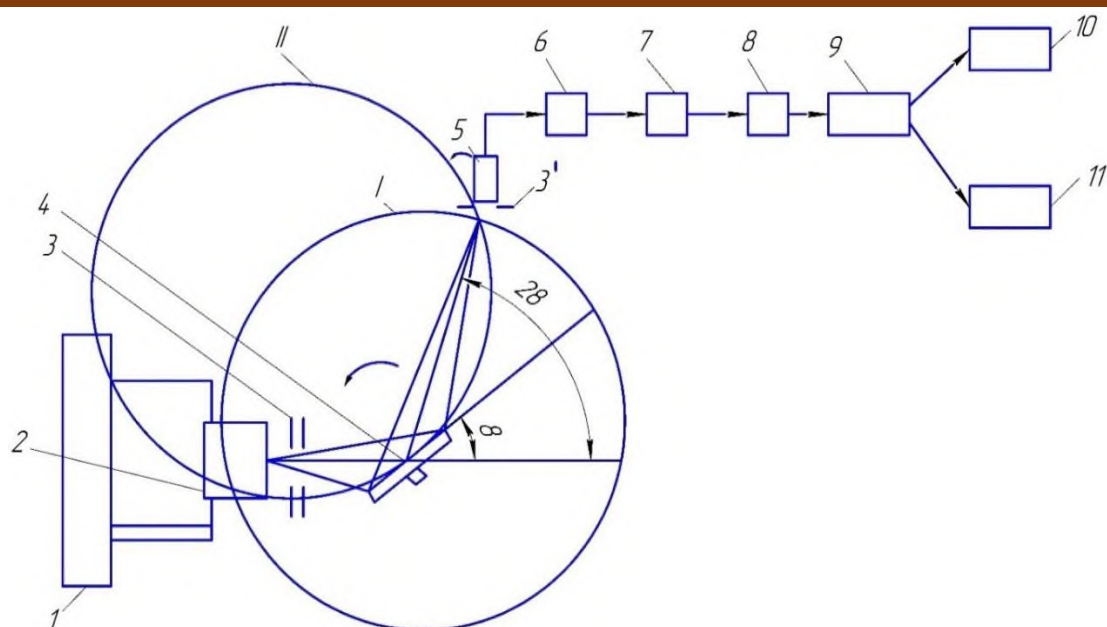
Пеш аз таҳлил ҳар як намуна бодикқат сайқал дода шуда, бо спирти этилӣ тоза карда мешуд. Пас аз ин микрошлифҳо ба маҳлули оби 20%-и кислотаи нитрат барои тезобнамоӣ гузошта шуданд. Давомнокии ин марҳила вобаста ба андоза ва сифати рӯйи намуна аз 10 то 20 сонияро ташкил медод. Баъди анҷоми тезобнамоӣ, микрошлифҳо дар оби равон шуста шуда, сипас бо қоғази филтри пок бо диққат хушк карда шуданд.

Тадқиқоти таркиби фазавии маҳсулоти оксидшавии ҳулаҳо

Таҳлили рентгенофазавӣ бо истифода аз дифрактометри ДРОН-3, ки бо компютер мучаҳҳаз шудааст, гузаронида шуд. Таркиби фазавии сифатии бо роҳи муқоисаи штрих-кодҳо, d_{hkl} масофаи дахлдори байниҳамвории хусусиятҳои якхелаи моддаҳои маълум муайян карда мешавад. Тадқиқот дар радиатсияи $\text{CoK}\alpha$ ($\lambda = 1,7902 \text{ \AA}$), дар шиддати анодии 30 кВ, ҷараёни 30 мА ва диапозони кунҷи 2θ аз 5 то 150° гузаронида шуд. Таркиби фазавии маҳсулоти оксидшавиро бо истифода аз дасгоҳ, ки нақшаи присипиалии он дар расми 1 нишон дода шудааст, омӯхта шуд.

Мақсади усули дифраксионӣ ба даст овардани тасвири дифраксия тавассути тағйир додани самти кристал, самти шуои афтанда ё истифода бурдани спектри доимии шуоъ мебошад. Дар тадқиқоти мазкур усули классикии хокакунӣ истифода шуд. Намунаҳои ба ҳок табдилёфта пешаки дар маҳлули агатӣ осеб карда шуда, то андозаи зарраҳои якхела омода гардиданд.

Барои сабти нақши дифраксионӣ, хока ба рӯйи вагон дар шакли қабати тунуки ҳамвор ҷой дода мешуд, то ки парокандашавии шуоъ бо дақиқии баланд таъмин гардад. Таркиби фазавии маҳсулоти оксидшавӣ дар асоси муқоисаи арзишҳои таҷрибавии масофаҳои байниҳамворӣ (d), кунҷҳои шиддатнокии хоси хатҳои дифраксионӣ ва параметрҳои индекси Береговский бо маълумоти назариявӣ муайян карда шуд.



Расми 1 – Нақшаи принципили дифрактометри намуни ДРОН-3

1 – генератор; 2 – лампаи рентгенӣ; 3 ва 3* – диафрагма; 4 – намунаи таҳқиқшаванда; 5 – ҳисобкунак; 6 – фотомултипликатор; 7 – қувватфизо; 8 – дискриминатор; 9 – нақшаи ҳисобкунӣ; 10 – компьютер; 11 – интенсиметр;
I – Доираи ҷойгиришави намуна; II – Доираи фокалӣ (фокусӣ);

Натиҷаҳои таҷрибавӣ ва муҳокимаи онҳо

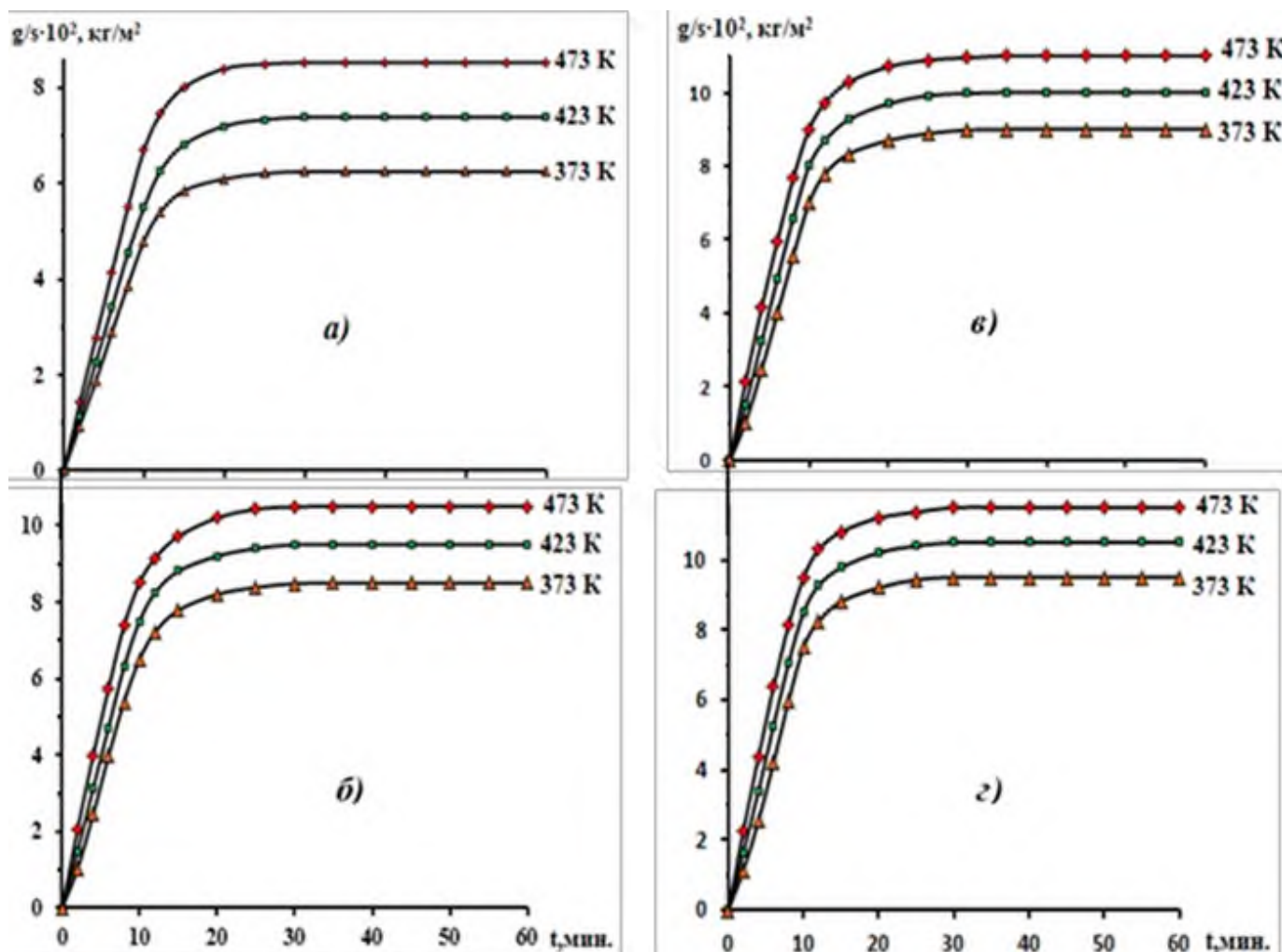
Натиҷаҳои таҷқиқи раванди кинетикии оксидшавии баббити сурбӣи тамғаи Б (PbSb15Sn10), ки бо индӣи легиронида шудааст, дар расмҳои 2–4 ва ҷадвали 1 ва 2 ифода ёфтаанд. Дар ҷадвали 1 арзишҳои ҳисобшудаи параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ҳулаи мазкур, ки ба таъсири индӣи вобастаанд, оварда шудаанд.

Ҷадвали 1 – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии баббит сурбӣи Б (PbSb15Sn10), ки бо индӣи ҷавҳаронида шудааст дар ҳолати саҳт омӯхта шудааст.

| Миқдори индӣи дар баббит, % мас. | Ҳарорати оксиднамоӣ, К | Суръати воқеии оксиднамоӣ $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$ | Энергияи намоёни фаъолсозӣ, кҶ/мол |
|-------------------------------------|---------------------------|---|--|
| 0.0 | 373 | 2.48 | 58.30 |
| | 423 | 2.53 | |
| | 473 | 2.60 | |
| 0.01 | 373 | 2.85 | 43.50 |
| | 423 | 2.84 | |
| | 473 | 3.55 | |
| 0.1 | 373 | 3.00 | 39.99 |
| | 423 | 2.90 | |
| | 473 | 3.72 | |
| 0.5 | 373 | 3.15 | 35.90 |
| | 423 | 2.95 | |
| | 473 | 3.92 | |
| 1.0 | 373 | 3.28 | 32.00 |
| | 423 | 2.99 | |
| | 473 | 4.17 | |

Хатти оксидшавии ҳулаҳо бо афзоиши массаи намунаҳо дар 15-20 дақиқаи аввал аз оғози оксидшавӣ хос аст. Баъд аз ин муддат раванд муътадил мешавад, ки ин бо пайдо шудани пардаи оксиди муҳофизатӣ дар сатҳи намунаи таҷқиқшаванда алоқаманд аст (расми 3). Маълум аст, ки иловаҳои индӣи ба баббити сурбӣ

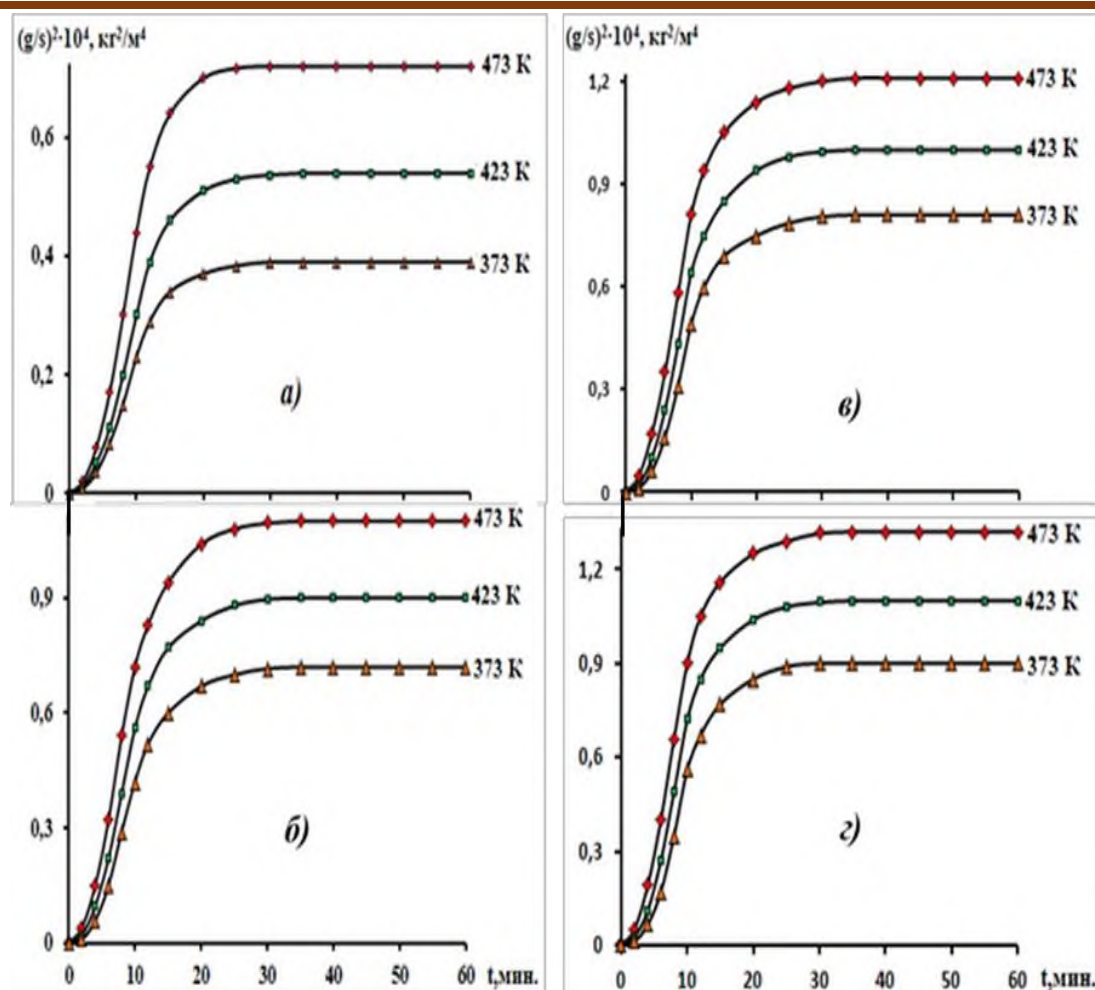
Б(PbSb15Sn10) суръати воқеии оксидшавии онро каме зиёд мекунад. Ҳамин тариқ, агар суръати оксидшавии ҳақиқии ҳулаи ибтидоӣ дар 373 К ва 473 К мутаносибан $2,48 \cdot 10^{-4}$ ва $2,60 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ баробар бошад, пас барои баббита сурбӣ Б(PbSb15Sn10), ки 1,0 % мас. индӣ дорад, дар ҳарорати 373 К ва 473 К суръати оксидшавӣ $3,28 \cdot 10^{-4}$ ва $4,17 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг м}^{-2} \text{с}^{-1}$ баробар гардид. Дар ин маврид энергияи намоёни фаъолшавии оксидшавӣ барои ҳулаи ибтидоӣ ба 58,30 кҶ/мол ва барои баббита Б(PbSb15Sn10), ки 1,0 % мас. индӣ дорад, бузургии энергияи фаъолгардонӣ ба 32 кҶ/мол баробар аст.



Расми 2 – Қачхаттаҳои оксидшавии кинетикии баббита сурбӣ Б(PbSb15Sn10) (а), ки дорои индӣ, % мас.: 0,1 (б); 0,5 (в); 1,0 (г)

Қачхаттаҳои квадрати кинетикии раванди оксидшавии баббита сурбии Б (PbSb15Sn10), ки бо индӣ легиронида шудааст, хусусияти хаттӣ надоранд. Ин ҳолат ба табиати ғайрипараболии раванди оксидшавии ҳулаҳо ишора мекунад (расми 3). Дар қадвали 2 полиномҳои тавсифкунандаи қачхаттаҳои кинетикии оксидшавӣ оварда шудаанд, ки ба муодилаи умумии $y = k \cdot x^n$ иттифот мекунад; дар ин ҷо нишондиҳандаи дараҷа дар ҳудуди $n = 1 \dots 4$ тағйир меёбад. Аз натиҷаҳо бармеояд, ки қачхаттаҳои квадрати кинетикии раванд ба полиномҳои дараҷаи чорум мувофиқанд.

Изохронҳои оксидшавии баббита сурбии Б(PbSb15Sn10), ки бо индӣ ҷавҳаронида шудааст, дар расми 4 нишон дода шудаанд. Аз таҳлил бармеояд, ки бо афзоиши миқдори индӣ суръати оксидшавӣ — ҳам барои интервали 10-дақиқаи таъсири муҳити оксидкунанда ва ҳам барои давраи 20-дақиқаи оксидшавӣ — афзоиш меёбад. Ин таъсир дар ҳарорати 473 К равшантар зоҳир мегардад, ки ин ба кам шудани энергияи намоёни фаъолшавии раванди оксидшавӣ бо зиёд шудани консентратсияи индӣ дар ҳула ишора мекунад.



Расми 3 – Қаҷхаттаҳои квадратики кинетикии оксидшавии баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) (а), бо индӣй ҷавҳаронидашуда, % мас.: 0,1 (б); 0,5 (в); 1,0 (г), дар ҳолати сахт

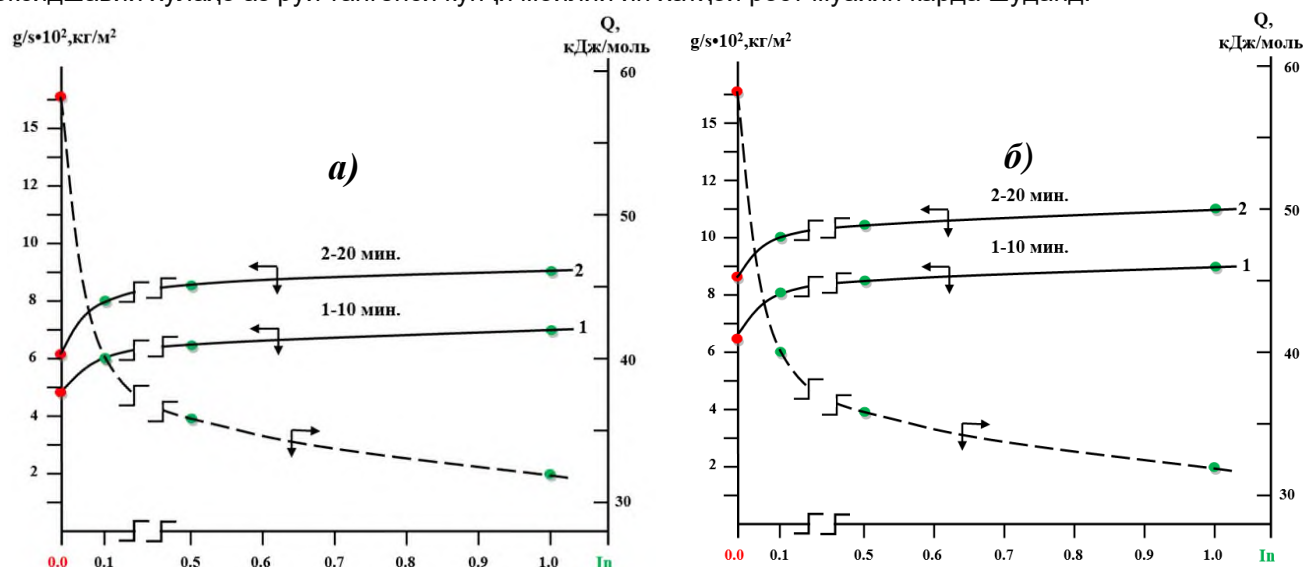
Ҷадвали 2 - Полиномҳои дараҷаи чорум барои хатти кинетикии оксидшавии баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) бо индӣй, дар ҳолати сахт

| Миқдори индӣй дар баббит, мас. % | Ҳарорати оксидшавӣ, К | Полиномҳои дараҷаи чорум барои хатҳои кинетикии оксидшавии ҳула | Зарриби регрессия, R |
|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------|
| 0.0 | 373 | $y^* = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,52 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,6701x^{**}$ | 0,990 |
| | 423 | $y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,88 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,7769x$ | 0,992 |
| | 473 | $y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,75 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,9551x$ | 0,993 |
| 0.01 | 373 | $y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,72 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,8024x$ | 0,988 |
| | 423 | $y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,86 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0038x$ | 0,995 |
| | 473 | $y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,84 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1825x$ | 0,998 |
| 0.1 | 373 | $y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,07 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,8776x$ | 0,986 |
| | 423 | $y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,03 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0538x$ | 0,995 |
| | 473 | $y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,32 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,272x$ | 0,998 |
| 0.5 | 373 | $y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,23 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,9321x$ | 0,986 |
| | 423 | $y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,47 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1413x$ | 0,994 |
| | 473 | $y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 1,1 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,92 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3743x$ | 0,998 |
| 1.0 | 373 | $y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,57 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0045x$ | 0,984 |
| | 423 | $y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,85 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2174x$ | 0,993 |
| | 473 | $y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,1 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,27 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4393x$ | 0,997 |

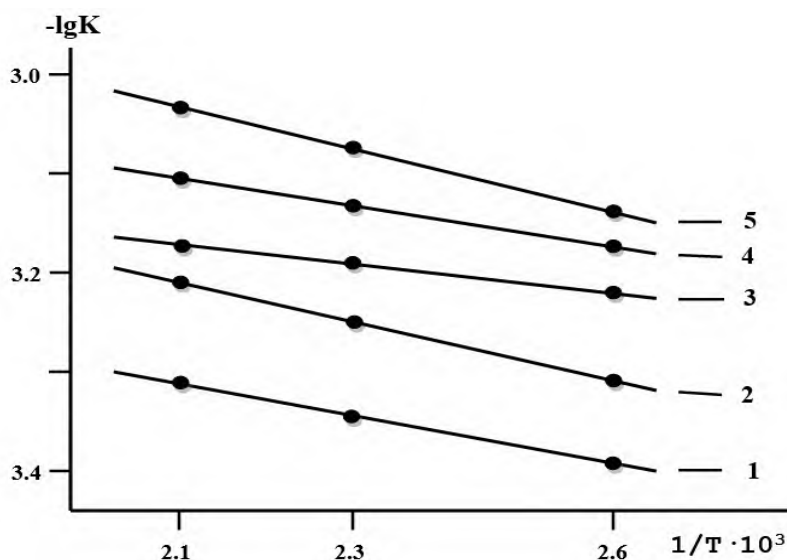
Эзоҳ: y^* - афзоиши массаи намунаҳо ($кг/м^2$)

x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t , дақ.).

Дар расми 5 вобастагии $-\lg K = f(1/T)$ барои баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10), ки дорои 0,01 – 1,0 % мас. Индий мебошад, нишон дода шудааст ки хусусияти хаттӣ доранд. Қиматҳои энергияи фаъолгардонии раванди оксидшавии ҳулаҳо аз рӯи тангенси кунҷи моилии ин хатҳои рост муайян карда шуданд.



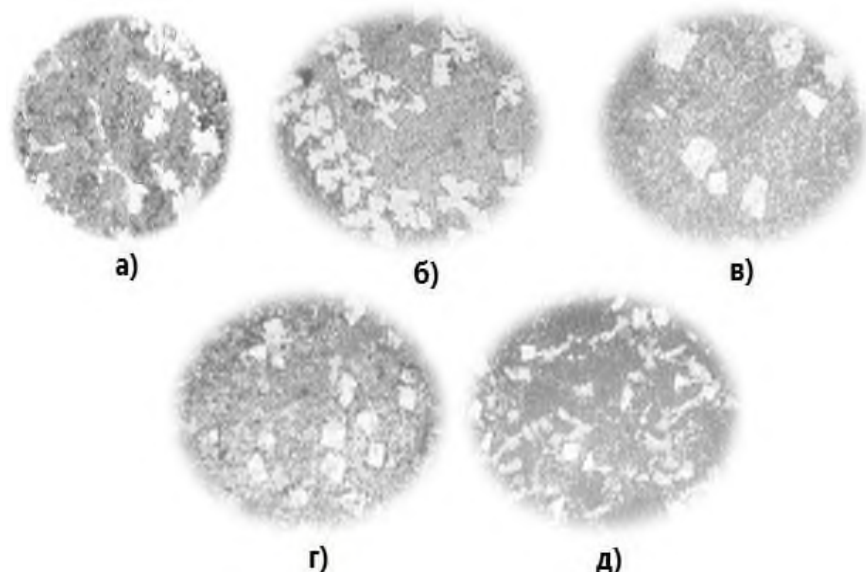
Расми 4 – Изохронҳои оксидшавии баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) бо индий ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 373 K (а) ва 473 K (б)



Расми 5 – Вобастагии $-\lg K = f(1/T)$ барои баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) (1) бо индий ҷавҳаронидашуда, % мас.: 0,01(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5)

Таркиб ва микросохтори ҳулаҳо ҳамчунин бо истифода аз микроскопи БИОМЕД-1 таҳлили иловагӣ гардиданд. Мувофиқи диаграммаи фазавии системаи Sn–Pb–Sb, сохтори баббит аз чанд ҷузъи асосии фазавӣ иборат аст: кристаллҳои ибтидоии фазаи SnSb, омехтаи эвтектикӣ (ё қисман перитектикӣ) ва кристаллҳои системаи Pb–Sb–Sn. Сохтори баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) аз ҷиҳати таркиб ва морфология ба баббиту навъи БН наздик аст, фарқиаш дар он аст, ки дар ин ҳула ҷузъи арсен мавҷуд нест.

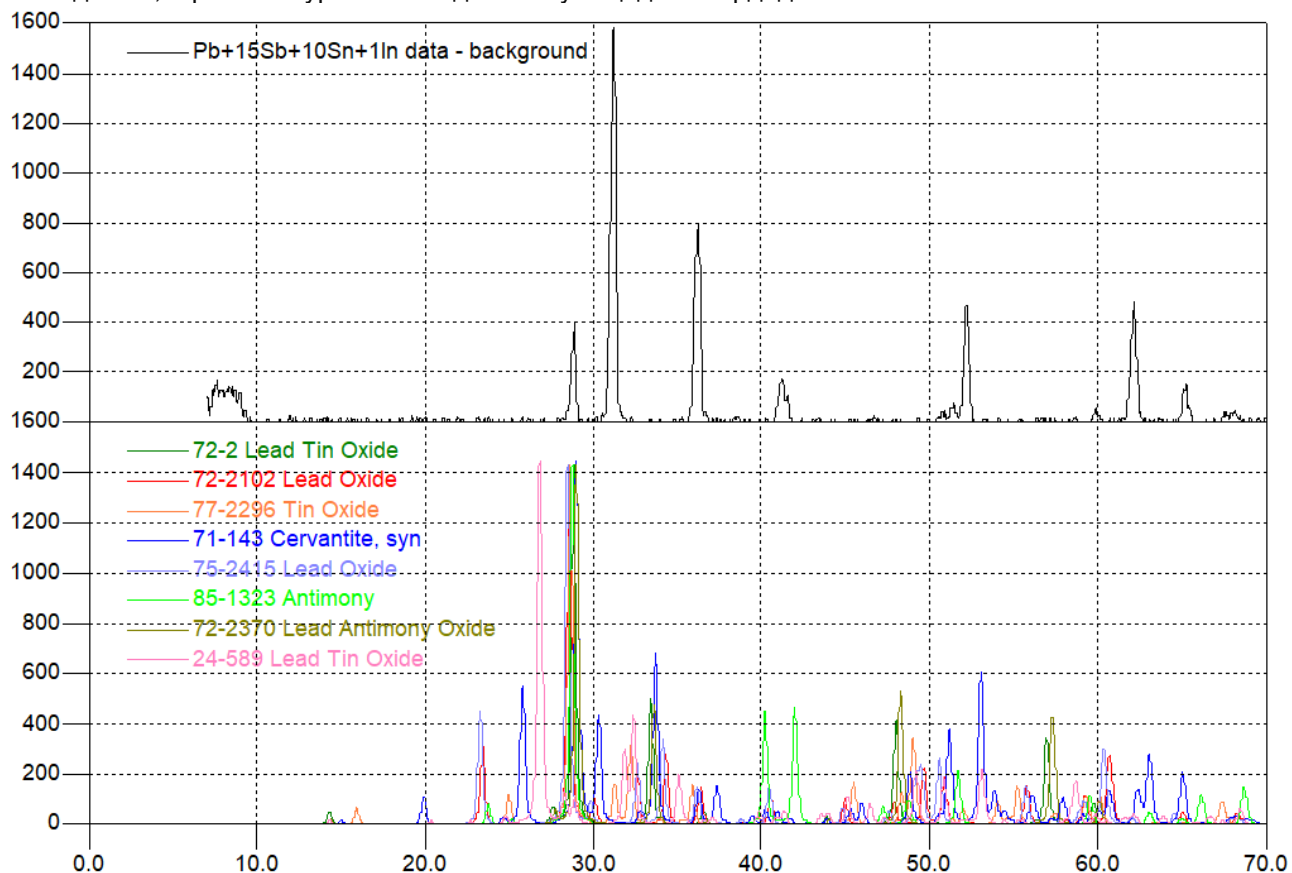
Азбаски баббиту Б(PbSb15Sn10) дар хатти фазавии Pb–SnSb ҷойгир мебошад, раванди кристаллизатсияи он бо ташаккули эвтектикии дукомпонентии $\alpha(\text{Pb}) + \beta(\text{SnSb})$ анҷом меёбад. Илова намудани индий, махсусан дар консентратсияи 0,5 то 1,0 % мас. (расми 6), ба майда шудани ҷузъҳои сохтори таркиби ибтидоии ҳула таъсири назаррас менамояд ва ба ташаккули микросохтори зичтар ва мунтазамтар мусоидат мекунад.



Расми 6 – Микросохтори ($\times 500$) баббиту сурбӣ Б(PbSb15Sn10) (а), бо индӣй ҷавҳаронидашуда, % мас.: 0,01 (б); 0,1 (в); 0,5 (г); 1,0 (д)

Аз натиҷаҳои таҳлили рентгенофазавӣ муайян карда шуд, ки маҳсулоти оксидшавии баббиту сурбии Б (PbSb15Sn10), ки бо индӣй легиронид шудааст, аз як қатор фазаҳои оксидӣ иборат аст (расми 7). Ба онҳо ин таркибҳо дохил мешаванд: PbO, Pb_{0.828}O₂, Pb₂(SnSb)O₆₋₅, Sb₂O₄, Pb₂SnO₄, PbSb₂O₆, In₂O₃ ва (Pb₃Sb₂O₈·47)₆₋₄.

Ҳангоми оксидшавии баббиту Б(PbSb15Sn10), ки дорои иловаи индӣй мебошад, ҳам оксидҳои содаи элементӣ ва ҳам оксидҳои навъи шпинелӣ ба вуҷуд меоянд. Чунин омехтаи фазаҳо одатан қабатҳои муҳофизати устувор ба вуҷуд намеоранд. Аз ин рӯ, вобаста ба таркиби элементи легирунанда ва ҳарорати раванди оксидшавӣ, афзоиши суръати оксидшавӣ мушоҳида мегардад.



Расми 7 – Дифрактограммаи маҳсулоти оксидшавии баббит сурбӣ Б(PbSb15Sn10) бо индӣй ҷавҳаронидашуда

Умуман, иловаҳои индий дар ҳудуди 0,01 - 1,0 % мас. ба баббити сурбӣ $B(PbSb15Sn10)$ оксидшавии онро зиёд мекунад. Чузъҳое, ки аз чунин хӯлаҳо сохта шудаанд, ҳангоми аз онҳо сохтани конструксияҳо, маснуот ва чузъҳо барои истифода дар ҳарорати баланд тавсия дода намешавад.

Хулоса

Ҳалли бисёр масъалаҳои техникаи ҳозиразамон бо истифодаи маводде, ки ба оксидшавӣ тобоваранд, алоқаманд аст. Равандҳои ҷавҳаронӣ барои ба вуҷуд овардани маводи нави ба коррозия тобовар ва беҳтар намудани хусусиятҳои коррозии маводҳои мавҷуда нақши калон мебозанд. Дар робита ба аҳамияти истисноии маълумот дар бораи рафтори металлҳо ва хӯлаҳо дар муҳити оксидкунанда, зарурати ба таври кофӣ пурра ба низом даровардани ин маълумот равшан аст.

Дар кори мазкур натиҷаҳои таҷрибавӣ вобаста ба рафтори баббит сурбӣ $B(PbSb15Sn10)$ дар атмосфераи газ ҳангоми ҳарорати баланд оварда шудааст. Тадқиқоти таъсири индий ба оксидшавии баббити сурбӣ $B(PbSb15Sn10)$ нишон медиҳад, ки иловаҳои намудани индий то 1,0 % мас. зиёд кардани оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ бо механизми пайдоиши оксидҳои бисёркомпонентии навъи шпинел, ки хосиятҳои кофии муҳофизатӣ надоранд сабаб мешавад. Ба шарте, ки концентратсияи иловаи индий дар баббит $B(PbSb15Sn10)$ боиси ночиз афзудани оксидшавии хӯлаҳо гардад, чунин таносубро барои кори нисбии маҳсулоти аз онҳо тайёршуда дар ҳарорати паст мувофиқ доништан мумкин аст.

Муқаррир: Сафаров А.Ф. – д.и.т., дотсент, қорманди илмӣ Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение, Архангельск: Северный (Арктический) Федеральный университет, 2015. – 327 с.
2. Лужникова Л.П. Материалы в машиностроении, Т. 1., Цветные металлы и сплавы, - М.: 1967. - 287 с.
3. Кубашевский О.Я., Гопкинс Б.Э. Окисление металлов и сплавов / Перевод с англ. В.А. Алексеева. 2-е изд.-М: Металлургия, 1965. -428с.
4. Зиновьев В.Е. Кинетические свойства металлов при высоких температурах: справочник. - М.: Металлургия, 1984. - 200 с.
5. Лепинских Б.М., Кисилёв В. Об окислении жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы // Изв. АН СССР. Металлы. - 1974. - № 5. - С. 51-54.
6. Талашманова Ю.С. Окисление жидких сплавов на основе кремния, германия, олова и свинца. - Красноярск. - 2007. -130 с.
7. Ганиев И.Н., Джайллоев Д. Х., Ходжаназаров Х. М., Холов Е. Д. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава $e-AlMgSi$ ("алдрей") с кальцием, кадмием и сурьмой в твердом состоянии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2024. – № 2. – С. 72-85. – DOI 10.15593/2224-9400/2024.2.06.
8. Ходжаназаров Х.М. Кинетика окисления свинцового баббита $B(PbSb15Sn10)$, легированного калием, в твердом состоянии // Заготовительные производства в машиностроении. – 2023. – Т. 21, № 12. – С. 562-568. – DOI 10.36652/1684-1107-2023-21-12-562-568.
9. Ганиев И.Н., Махмадуллоев Р.З., Ходжаназаров Х.М., Махмудзода М. Кинетика окисления свинцового баббита $B(PbSb15Sn10)$, с бериллием, в твердом состоянии // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2025. – № 1. – С. 110-121.
10. Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К. Влияние добавок натрия на кинетику окисления свинцового баббита $PbSb15Sn10Na$ в твердом состоянии // Журнал физической химии. -2023. -№2. -С. 216-222.
11. Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Одиназода Х.О., Ходжаев Ф.К. Кинетика окисления свинцового баббита $B(PbSb15Sn10Li)$, модифицированного литием, в твердом состоянии // Металлы. – 2023. - №2. С.93-99.
12. Элмурод А., Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Абдуллоҷонов С.Х. Таъсири кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu4.5Mg1$, бо иловаи калий дар 0,05 то 1% дар ҳолати саҳт // Вестник Дангаринского государственного университета. – 2024. – No. 2(28). – С. 104-110.
13. Ходжаназаров Х.М., Ганиев И.Н., Ходжаев Ф.К. Особенности окисления свинцового баббита $B(PbSb15Sn10)$ с натрием // XIII Ломоносовские чтения: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 115-летию академика Бободжона Гафурова, Душанбе, 28–29 апреля 2023 года. – Душанбе: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2023. – С. 223-227.

14. Ходжаназаров Х.М., Ганиев И. Н., Шарипов Ф.Б., Джумъева М.Б. Микроструктура и механические свойства свинцового баббита 6(PbSb15Sn10) с кадмием // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2024. – № 2/3-2(126). – С. 61-66.

15. Ganiev I.N., Khodzhanazarov Kh.M., Odinzoda Kh.O., Khodzhaev F.K. Oxidation Kinetics of Lead Babbit BLi (PbSb15Sn10Li) Modified by Lithium in the Solid State // Russian Metallurgy (Metally). – 2023. – Vol. 2023, No. 3. – P. 347-353. – DOI 10.1134/s0036029523030059.

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

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Хочаназаров Хайрулло Махмудхонович | Ходжаназаров Хайрулло Махмудхонович | Khojanazarov Khayrullo Mahmudkhonovich |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| н.и.т., и.в. дотсент | к.т.н., и.о. доцента | Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor |
| E-mail: khayrullo.khodzhanazarov@bk.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 |
| Саидов Шохин Худойдодович | Саидов Шохин Худойдодович | Saidov Shohin Khudoydodovich |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| Унвонҷӯ | Соискатель | Applicant |
| TJ | RU | EN |
| Исмонов Рустам Довудович | Исмонов Рустам Довудович | Ismonov Rustam Dovudovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | Ph.D., associate professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: ird-78@mail.ru | | |

ТЕХНОЛОГИИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК: 669.849.3

DOI: 10.65599/WLMF4181

ПЕРЕРАБОТКА СУЛЬФИДНЫХ МЕДНЫХ МЫШЬЯКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ХЛОРИРУЮЩИМ ОБЖИГОМ

¹Х. Ш. Рахимзода, ¹Б.Б. Эшов, ²А. Бадалов, ³О. Оқил, ³А.А. Кадиоров

¹ Горно-металлургический институт Таджикистана

² Центр исследования инновационных технологий НАН Таджикистана

³ Таджикский технический университет имени М.С. Осими

Целью работы является разработка эффективного и экологически рационального способа извлечения меди и удаления мышьяка из медных мышьяковых концентратов путём хлорирующего обжига хлоридом натрия. Изучено влияние основных факторов – температуры, времени выдержки обжига и соотношения массы хлорирующего реагента хлорида натрия к массе концентрата на скорость процесса окислительно-хлорирующего обжига концентратов. Процесс обжига концентрата проведён в двух режимах - с подачей и без доступа воздуха. Исследование влияния отдельного фактора из вышеуказанных на процесс хлорирующего обжига проведено при постоянстве других. Определены оптимальные условия проведения процесса, обеспечивающие высокий выход целевого продукта

Ключевые слова: сульфидно-медно-мышьяковый концентрат, хлорирующий обжиг, хлорид натрия, перспективы производства медного концентрата.

КОРКАРДИ КОНЦЕНТРАТҲОИ СУЛФИДИИ МИСУ АРСЕНДОР БО МАВОДИ ХЛОРДОР ДАР ҲАРОРАТИ ПАСТ

Х.Ш. Раҳимзода, Б.Б. Эшов, А.Б. Бадалов, Осими Оқил, А.А. Кадиоров

Ҳадафи кор аз таҳияи усули босамар ва аз ҷиҳати экологӣ муфиди ҷудокунии мис ва бартаарафсозии арсеникум аз концентратҳои сулфидии мисдор-арсендор бо сӯзиши хлоркунонӣ бо воситаи хлориди натрий. Таъсири омилҳои асосӣ — ҳарорат, вақти нигоҳдорӣ раванди сӯзонидан ва таносуби массаи реагенти хлоркунонанди хлориди натрий ба массаи концентрат — ба суръати раванди сӯзонидани концентратҳо бо оксидунондаи хлордор омӯхта шудаанд. Сӯзонидани хлорронии концентрат бо ду тарз - додани ҳаво ва бидуни дастрасии ҳаво гузаронида шуд. Омӯзиши таъсири ҳар як омил аз зумраи омилҳои зикршуда, бо собит нигоҳ доштани дигарон иҷро гардид. Шароити оптималии гузаронидани раванди мазкур, ки ҳосили баланди маҳсулоти мақсаднокро таъмин мекунад, муайян карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: концентрати сулфидии мису-арсендор, сӯзонидани хлорронӣ, хлориди натрий, дурнамоҳои истеҳсоли концентрати мис.

PROCESSING OF SULFIDE COPPER ARSENIC CONCENTRATES BY LOW-TEMPERATURE CHLORINATION ROASTING

Kh. Sh. Rahimzoda, B. B. Eshov, A. B. Badalov, Osimi Okil, A.A. Kadyrov

The aim of the work is to develop an effective and environmentally sound method for extracting copper and removing arsenic from copper arsenic concentrates by chlorinating firing with sodium chloride. The influence of the main factors – temperature, roasting holding time and the ratio of the mass of the chlorinating reagent sodium chloride to the mass of the concentrate on the rate of the oxidizing-chlorinating roasting of concentrates has been studied. The concentrate firing process was carried out in two modes - with and without air supply. The study of the influence of a single factor from the above on the chlorination firing process was carried out with the consistency of others. Optimal process conditions have been determined to ensure a high yield of the target product.

Keywords: copper-arsenic sulfide concentrate, chlorination roasting, sodium chloride, copper concentrate production prospects.

Введение

Мировой рынок меди в последние годы продолжал ориентироваться на китайский спрос, рост которого замедлился, но все же продолжал оставаться значительно выше общемирового.

Согласно Отчету на мировом рынке меди за 2024 год, подготовленному The Business Research Company, потребность рынка на медь за последние годы сильно возросла. Согласно имеющимся сведениям потребность рынка на медь составила со 166,25 млрд долларов в 2023 году до 179,84 млрд долларов в 2024 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 8,2%. Рост в исторический период обусловлен развитием электротехнической и электронной промышленности, строительного сектора, производства промышленного оборудования, автомобилестроения, развитием инфраструктуры [1].

В настоящее время основными сырьевыми источниками для производства меди являются руды, концентраты и штейны, огарки, металлическое вторичное сырье. В зависимости от формы нахождения меди в рудах их разделяют на сульфидные, окисленные и смешанные. По характеру пустой породы руды делят на основные, содержащие оксиды кальция, магния и других металлов, и кислые, включающие глинозем, кремнезем. При содержании меди менее 0,4-43,5% руды считаются забалансовыми [3]. Переработка и

производство меди в условиях Республики Таджикистан являются одним из основных и актуальных вопросов, поскольку на территории страны имеется большое количество месторождений меди.

Самый распространенный тип золотосодержащих руд - медистые руды. Этот вид минерала сейчас добывается на рудниках ООО «Зарафшан» (Таджикистан). Присутствие минералов меди сильно осложняет процесс цианирования, повышая расход цианида и снижая извлечение золота. Однако при выборе технологической схемы переработки медистой золотосодержащей руды следует учитывать также и то, что в определенных случаях попутное извлечение меди может представлять практический интерес [4].

При разработке технологии попутного извлечения благородных и цветных металлов из отходов медно-обогадательной фабрики рассмотрены два варианта: во-первых – это выщелачивание тяжелых и благородных металлов непосредственно из хвостов; второй – это выщелачивание золота, серебра и меди из кеков путем бактериального выщелачивания.

Отходы (хвосты) представляют собой побочные продукты, образующиеся при производстве основных видов продукции и характеризуются определенными физико-химическими свойствами [5-6].

В процессе флотационного обогащения руд вместе с извлечением металлов в их составе остается определенное количество ценных элементов. Извлечение продуктов из хвостов путём обжига и гидрометаллургическим способом решает экономические и экологические проблемы [7-9].

Один из недостатков окислительного обжига сульфидного сырья кислородом воздуха заключается в выделении диоксида серы в атмосферу. Авторами многих работ [10-15] показано, что низкотемпературный обжиг сульфидов меди с NaCl или KCl исключает выброс вредных газов в атмосферу. Полученный после обжига огарок подвергают гидрометаллургической переработке с получением медного купороса и сульфата натрия или калия [10, 11]. Известен способ вскрытия золотосодержащего сурьмяного концентрата, в основе которого лежит хлорирующий обжиг с хлоридом натрия [16-19].

В данной работе использовался концентрат из рудников «Зарафшон», полученный после флотационного процесса. Для снижения расхода цианида и получения медного концентрата на данном предприятии внедрен процесс флотации.

Медь из сложных сульфидных соединений переходит в хлоридную растворимую форму, из которой легко выделяется.

По результатам химического анализа концентрата имеет следующий химический состав: Ag г/т-125,14; Cu %- 5,04; As %-16,95; S%-33,59; Fe%-33; Bi% - 0,11.

Для установления закономерностей хлорирующего обжига сульфидных мышьяковистых медных концентратов процесс проводили в муфельной печи (СНОЛ) ПЛ 5/12,5, позволяющая достичь температуру до 1400 °С.

Методика эксперимента

Для окислительно-хлорирующего обжига сульфидных-мышьяковистых медных концентратов была разработана установка для окислительно-хлорирующего обжига (см. рис.1), с помощью которой возможно улавливать газообразные соединения меди, образующиеся в процессе обжига.

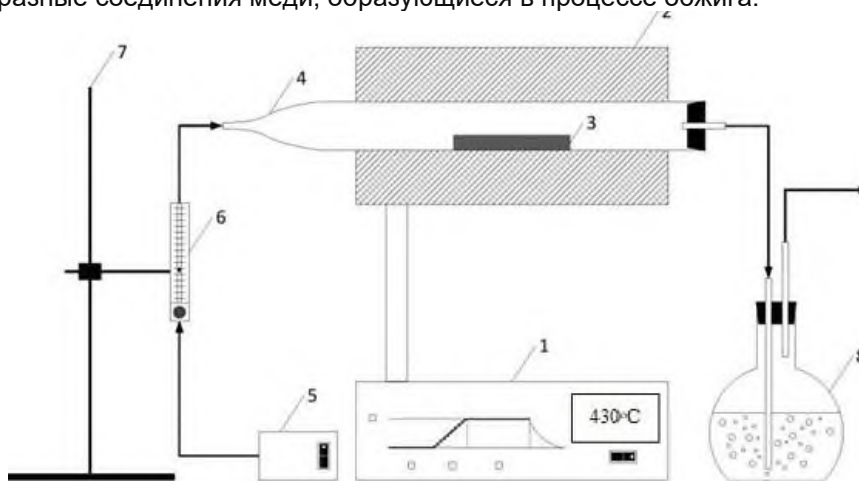


Рисунок 1-Установка для хлорирующего обжига медных руд:

1 - блок управления печи, 2 - трубчатая печь, 3 - лодочка с материалом, 4 - кварцевый реактор, 5 - компрессор, 6 - ротаметр, 7 - штатив, 8 - газопромывная колба

Экспериментальная технология состоит из трубчатой печи, реактора, помещенного в него, в которой помещена лодочка конденсатора и абсорберов. Кварцевую лодочку с исследуемой смесью помещали в кварцевую трубку, обогреваемую трубчатой печью. Через трубку с определенной скоростью 1л/час пропусклся воздух.

Сульфидный мышьяковистый концентрат перемешали с хлоридом натрия при соответствующих соотношениях. Полученная смесь, равномерно распределённая на керамической тарелке, помещается в муфельную печь. Процесс обжига полученной смеси проведен при следующих условиях:

- при разных температурах обжига образца (в интервале $T=325\div550^{\circ}\text{C}$ с варьированием температуры $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$) и постоянстве соотношения массы концентрата (m_1 , г) и хлорида натрия (m_2 , г), равное $m_1/m_2=3/1$ и одинакового времени ($\tau=120$ мин.) выдержки (таблица (а));

-при одинаковой температуре ($T=430^{\circ}\text{C}$) и постоянстве соотношений компонентов смеси ($m_1/m_2=3/1$), при разном времени (τ , минут, с шагом $\Delta\tau=25$ мин) выдержки обжига образца (таблица (б));

-при разных соотношениях компонентов смеси (m_1/m_2) и постоянстве температуры ($T=430^{\circ}\text{C}$) и времени выдержки ($\tau=90$ мин.) образцов (таблица (в)).

Таблица -Условия опытов обжига смеси при разных факторах

| Серия | Факторы | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---------------------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | постоянные | переменные | | | | | | | | | | |
| (а) | $m_1/m_2=10\text{гр}/2,5\text{гр}$ $\tau=120$ мин | Температура, $^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | | | |
| | | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 425 | 450 | 475 | 500 | 525 | 550 |
| (б) | $m_1/m_2=10\text{гр}/2,5\text{гр}$ $T=430^{\circ}\text{C}$ | Время (τ), в минутах | | | | | | | | | | |
| | | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | | | | |
| (в) | $\tau=120$ мин., $T=430^{\circ}\text{C}$ | Состав смеси (m_1/m_2), в граммах | | | | | | | | | | |
| | | 10/0,625 | 10/1,25 | 10/2,5 | 10/5,0 | 10/10,0 | 10/15,0 | | | | | |

Зависимость образования основного продукта обжига хлорида меди (α , %) от температуры процесса обжига концентрата (рисунок 2) при одинаковом времени (120 минут) выдержки и исходного состава шихты ($m_1/m_2=3/1$) показывает, что до температуры 425-430 $^{\circ}\text{C}$ наблюдается заметный рост образования хлорида сурьмы ($\alpha=53,5\%$), который замедляется при более высоких температурах. Возможно, что при 425-430 $^{\circ}\text{C}$ начинаются процессы спекания концентрата и окисления сернистых соединений.

После проведения хлорирующего обжига в зависимости от условий проведения процесса (температуры, времени, доступа кислорода, примеси, соотношения реагентов) взаимодействия сульфида меди мышьяковистого с хлоридом натрия (NaCl) были получены легко перерабатываемые соединения. Эти соединения являются технологически удобными.

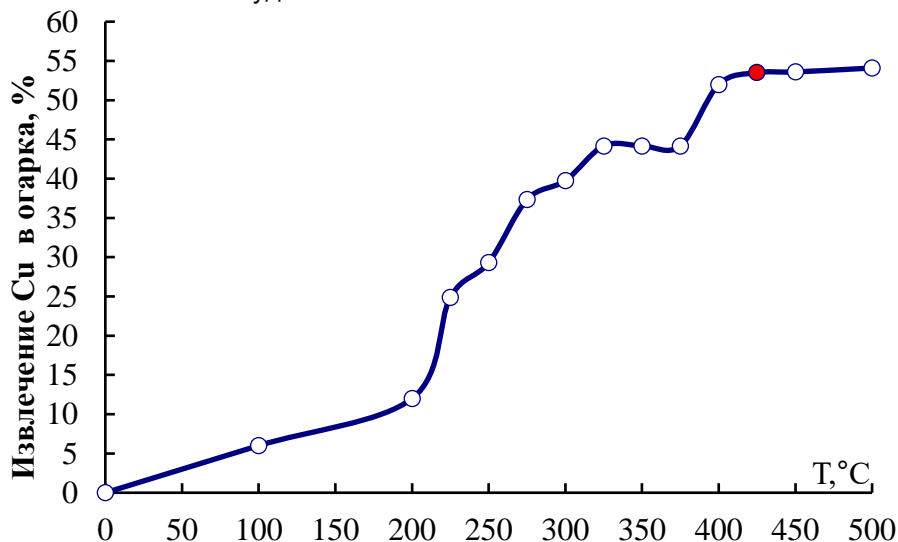


Рисунок 2- График зависимости образования CuCl_2 от температуры обжига концентрата при одинаковом времени выдержки и состава шихты.

При соблюдении отмеченных условий процесс окислительно-хлорирующего обжига происходит при значительно низких температурах с удалением серы и мышьяка практически полностью из системы (как и состава так и из технологии). Основная часть меди путём хлорирования переходит в хлоридную форму, из которой легко можно извлечь медь, а другая - в оксидную форму, которая тоже технологически извлекаемая.

В каждом опыте определяли количество прореагировавших веществ. Хлориды и газообразные оксихлориды осаждаются в конденсаторе и абсорберах. В результате образуются медьсодержащие продукты в виде огарок, испарившиеся оксихлориды и хлориды в конденсаторе, и растворы, через которые проводили испарившиеся газы для улавливания их (абсорбция).

Наблюдается выделение меди в виде возгона, состоящего из хлоридов, оксидов, оксохлоридов, которые осаждаются на холодный участок трубки конденсатора. Конденсат, образующийся в виде золотистых кристаллов, при остывании приобретает темно-зеленый цвет.

В сравнении с технологией, используемой в производстве, температура снижается существенно с 900 °С до 430 °С. В прототипе при 900 °С образуется оксид меди, который, во-первых, спекается и требует дальнейшей дополнительной переработки путём восстановления углеродом при высоких температурах 1200-1300 °С.

При предлагаемой технологии хлорирования при 430 °С образуется водорастворимый хлорид меди, который растворяется при 55 °С, что существенно снижает себестоимость производства меди.

Результат опытов показывает химический состав элементов после проведения хлорирующего опыта Ag г/т-124; Cu %- 4,99; As % -1; S-10%.

Разработанная принципиальная технологическая схема процесса хлорирующего обжига сульфидных медных мышьяковых концентратов приведена на рисунке 3.

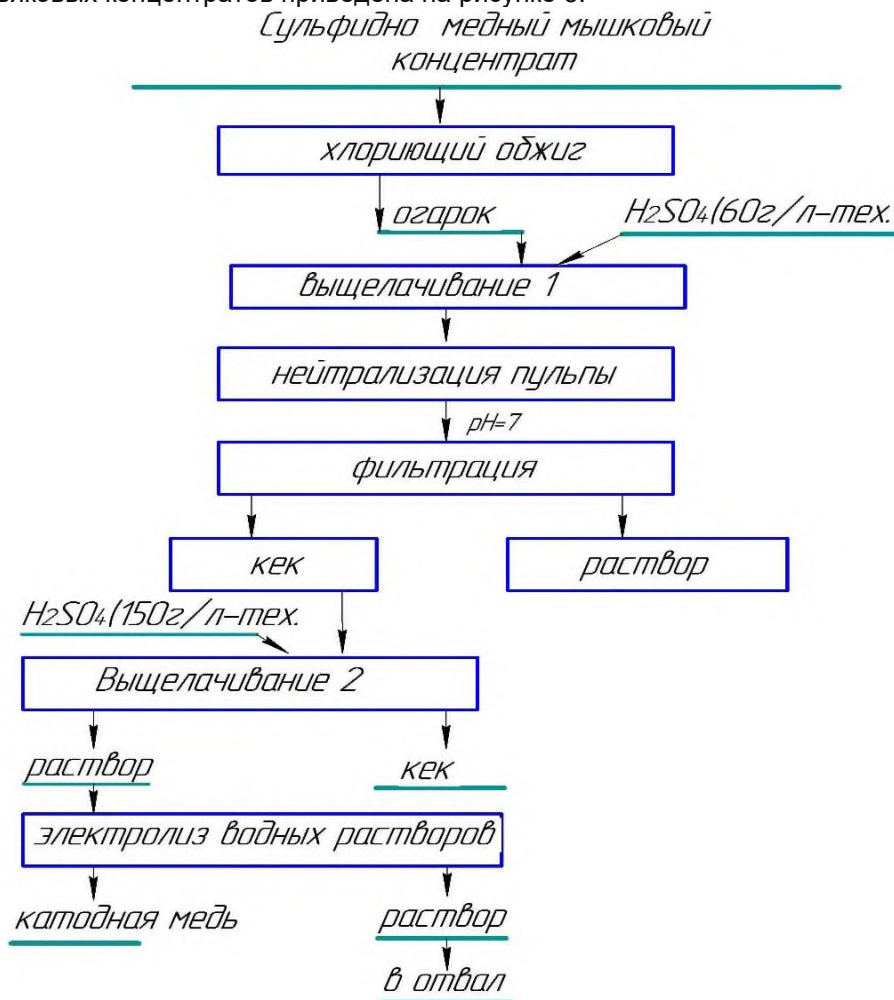


Рисунок 3- Разработанная принципиальная технологическая схема

Заключение

Сущность работы заключается в том, что в результате низкотемпературного хлорирования сульфидных медных мышьяковых концентратов в присутствии хлорида натрия удаляется сера и мышьяк при определённых оптимальных условиях и достигаются следующие приемлемые результаты:

- мышьяк из 17 % в составе концентрата остаётся 1% в продукте переработки, что является рациональным способом удаления мышьяка, из которого технологически можно получить мышьяк;
- достижение низкой температуры процесса обжига до 400-450С°;
- отпадает необходимость высокотемпературного процесса восстановления меди углём;
- медь извлекается от сульфурного и мышьякового соединений, полностью выходит из формы CuFeS_2 и FeAsS переходит в хлоридную (водорастворимую) и оксидную форму.

Настоящее исследование посвящено интенсификации выщелачивания сульфидного концентрата процесса путём повышения реакционной способности исходного сырья за счёт предварительного хлорирующего обжига.

Рецензент: Муминов Усмонджон Абдунабиевич — к.х.н., доцент кафедры металлургии Горно-металлургического института Таджикистана.

Литература

1. Мировой рынок меди: добыча руды, производство, потребление, мировые цены на медь [Электронный ресурс] // EXPORT.RU мировая экономика [сайт]. - Режим доступа: <http://www.ereport.ru/articles/commod/copper.htm> / (дата обращения: 10.08.2025). – Текст. : электронные.
2. Ермолов, В. А. Месторождения полезных ископаемых: учеб. пособ. / В. А. Ермолов, Г. Б. Попова, В. В. Мосейкин и др. – М.: Горная книга, 2017. – 571 с
3. Бодуэн, А.Я. Попутное извлечение редких микроэлементов при комплексной переработке сульфидных медных руд / А.Я. Бодуэн, Г.В. Петров, А.Ю. Спыну, И.И. Мардарь // Металлург. - 2014. - №1. - С. 83-85
4. Стрижко Л.С., Бобохонов Б.А., Бобоев И.Р. Исследование и разработка технологии извлечения золота из окисленных руд одного из крупнейших месторождений Таджикистана // Цветные металлы. – 2012 – № 7. – С. 41-44.
5. Koymatcik, C.; Ozkaymak, M.; Selimli, S. Recovery of iron particles from waste water treatment plant of an iron and steel factory. Eng. Sci. Technol. Int. J. 2018, 21, 284–288.
6. Yuan, S.; Zhang, Q.; Yin, H.; Li, Y.J. Efficient iron recovery from iron tailings using advanced suspension reduction technology: A study of reaction kinetics, phase transformation, and structure evolution. J. Hazard. Mater. 2021, 404, 124067.
7. Mao, K.X.; Li, L.; Xu, M. Iron and copper recovery from copper slags through smelting with waste cathode carbon from aluminium electrolysis. J. Cent. South Univ. 2021, 28, 2010–2021.
8. Khaki, J.V.; Shalchian, H.; Rafsanjani-Abbasi, A.; Alavifard, N. Recovery of iron from a high-sulfur and low-grade iron ore. Thermochim. Acta 2018, 662, 47–54.
9. С. В. Азарова, Е. В. Перегудина, В. С. Бучельников. // Комплексное использование техногенных минеральных образований - Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. - № 11 (91). - С. 530 – 532. - URL: <https://moluch.ru/archive/91/19627/> (дата обращения: 24.06.2022).
10. Вариант переработки сульфидного медного концентрата комбинированным способом / Медведев А.С., Со Ту, Хамхаш А., Птицын А.М.// «Цветные металлы» - 2010.- № 1.- С. 33-36.
11. Комбинированный вариант переработки сульфидного медного концентрата Удоканского месторождения / Медведев А.С., Со Ту, Птицын А.М.// «Известия вузов. Цветная металлургия»,- 2012.- № 2.- С. 17-20.
12. Kinetics of salt roasting of chalcopyrite using KCl / M. Chakravortty, S. Srikanth // Thermochimica Acta, 2000, Vol. 362, No. 1–2, P. 25-35.
13. Non-isothermal thermoanalytical studies on the salt roasting of chalcopyrite using KCl / S. Srikanth, M. Chakravortty // Thermochimica Acta, 2001, Vol. 370, No. 1–2, P. 141–148
14. Thermal analysis of chalcopyrite roasting reactions / Thermochimica Acta, 1992, Vol. 198, No. 2, P. 303–312.
15. Salt roasting of an off-grade copper concentrate / N.V. Ngoc, M. Shamsuddin, P.M. Prasad // Hydrometallurgy, 1989, Vol. 21, No. 3, P. 359–372.
16. Mechanical Activation of Antimony Sulfide Concentrates Combined with Pyrometallurgical Chlorination / H. Sh. Rakhimov, C.G. Anderson, A. B. Badalov [et al.] // J. Miner. Sci. Materials – 2023. - № 4. – P. 107135.
17. A Hydro-pyrometallurgical Process for Antimony Recovery From Stibnite Concentrate/ Rakhimov Kh.Sh; Hossein Shalchian; Soroush Rahmati; Svetlana B. Zueva; Badalov A. B.; Francesco Vegliò/ Received: 27 July 2024 / Accepted: 8 March 2025 © Society for Mining, Metallurgy & Exploration Inc. 202
18. Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата / Х. Ш. Рахимов, Б.Б. Эшов, А.А. Кодиров, А.Б. Бадалов / Горный журнал. Известия высших учебных заведений. –Екатеринбург. - 2023. - № 2. – С. 43-51.

19. Малый патент № TJ 1109. Способ переработки сульфидных концентратов / Х. Ш. Рахимов, А. А. Кодиров, А. Бадалов. - 2021. - 8 с.

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

| TJ | RU | EN |
|---|---|--|
| Раҳимзода Ҳаёт Шифоқул | Рахимзода Хаёт Шифакул | Rahimzoda Hayot Shifoqul |
| Номзади илмҳои техникӣ | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон | Горно-металлургический институт Таджикистана | Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan |
| E-mail: hayotrahimi95@mail.ru ; | | |
| TJ | RU | EN |
| Эшов Бахтиер Бадалович | Эшов Бахтиер Бадалович | Eshov Bakhtier Badalovich |
| Доктори илмҳои техникӣ | Доктор технических наук | Doctor of Technical Sciences |
| Маркази тадқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИТ | Центр исследования инновационных технологий при НАНТ | Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| E-mail: ishov1967@mail.ru ; | | |
| TJ | RU | EN |
| Бадалов Абдулхайр Бадалович | Бадалов Абдулхайр Бадалович | Badalov Abdulkhair Badalovich |
| Узви вобастаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор | Член-корреспондент Национальной академии наук Таджикистана, доктор химических наук, профессор | Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. М. С. Осими | Tajik Technical University named after M. S. Osimi |
| E-mail: badalovab@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Осими Оқил | Осими Оқил | Osimi Okil |
| Номзади илмҳои техникӣ | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон | Горно-металлургический институт Таджикистана | Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan |
| E-mail: osimiokil@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қодиров Абдурашид | Кодиров Абдурашид | Kodirov Abdurashid |
| Номзади илмҳои техникӣ | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон | Горно-металлургический институт Таджикистана | Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan |
| E-mail: abdushka2021@mail.ru | | |

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ВОДНО-СУЛЬФАТНОЙ СИСТЕМЫ $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ НА ОСНОВЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

П.А. Мухторов, М.Б. Усмонов, С. Умарали, Х. Курбонова, Х.И. Холов

Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни

В данной работе разработана принципиальная технологическая схема разделения многокомпонентной водно-солевой системы, содержащей ионы калия, алюминия, кальция и сульфат-ионы. Схема основана на селективной кристаллизации целевых компонентов – гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и алюмокалиевых квасцов ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) – за счет использования разницы в их растворимости при температурах 25 и 0 °С соответственно. Маточный раствор после выделения квасцов, содержащий в основном сульфат калия, предлагается рециклировать в процесс для повышения общего выхода продуктов. Схема обеспечивает получение отдельных целевых продуктов с минимальными потерями.

Ключевые слова: технологическая схема, сульфат калия, сульфат алюминия, гипс, алюмокалиевые квасцы, кристаллизация, растворимость, температурная зависимость, многокомпонентная система, разделение.

ТАРҲИ ТЕХНОЛОГИЯИ ЭНЕРГОСАМАРАНOK БАРОИ ҶУДОКУНИИ СИСТЕМАИ ОБИ-СУЛФАТИИ БИСЁРКОМПОНЕНТА $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ ДАР АСОСИ КРИСТАЛЛИЗАТСИЯИ ТАЪСИРИ ҲАРОРАТ

П.А. Мухторов, М.Б. Усмонов, С. Умарали, Х. Курбонова, Х.И. Холов

Дар кори мазкур нақшаи технологияи ҷудокунӣ системаи обӣ-намакии бисёркомпонента, ки ионҳои калий, алюминий, кальсий ва сульфатро дар бар мегирад, таҳия шудааст. Нақша ба кристаллизатсияи интихобии маҳсулоти мақсаднок – гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ва зоки алюмокалигӣ ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) – асос ёфтааст, ки аз ҳисоби фарқи ҳалшавии онҳо дар ҳароратҳои 25 ва 0 °С амалӣ мегардад. Пас аз ҷудо кардани зок, маҳлули модарӣ, ки асосан сульфати калийро дар бар мегирад, барои такроран ворид кардан ба раванди аввала пешниҳод мешавад, то ҳосили умумии маҳсулот зиёд гардад. Ин нақша имкон медиҳад, ки маҳсулоти мақсаднок бо талафоти ками ҳадди ақал ба даст оварда шавад.

Калидвожаҳо: нақшаи технологӣ, сульфати калий, сульфати алюминий, гипс, зоки алюмокалигӣ, кристаллизатсия, ҳалшавӣ, вобастагии ҳароратӣ, системаҳои бисёркомпонента, ҷудокунӣ моддаҳо.

DEVELOPMENT OF AN ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGY FOR SEPARATION OF THE MULTICOMPONENT AQUEOUS SULFATE SYSTEM $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ BASED ON TEMPERATURE-INDUCED CRYSTALLIZATION

P.A. Mukhtorov, M.B. Usmonov, S. Umarali, H. Kurbonova, Kh.I. Kholov

In this work, a basic technological scheme for the separation of a multicomponent water-salt system containing potassium, aluminum, calcium, and sulfate ions has been developed. The scheme is based on the selective crystallization of the target components – gypsum ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) and aluminum-potassium alum ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) - by using the difference in their solubility at temperatures of 25 and 0 °C, respectively. The mother liquor after alum extraction, containing mainly potassium sulfate, is proposed to be recycled into the process to increase the overall yield of products. The scheme ensures the production of individual target products with minimal losses.

Keywords: technological scheme, potassium sulfate, aluminum sulfate, gypsum, aluminum-potassium alum, crystallization, solubility, temperature dependence, multicomponent system, separation.

Введение

Современная химическая технология сталкивается с необходимостью переработки отходов сложных многокомпонентных систем, образующихся в различных отраслях промышленности: при переработке минерального сырья, в гидрометаллургических процессах, в химической промышленности и переработке самих отходов. Одна из таких актуальных задач для решения данной проблемы — это использование простого метода разделения водно-солевых систем, содержащих ионы калия, алюминия, кальция и сульфат-ионы из смесей.

Интерес к данной системе обусловлен ценностью каждого из компонентов. Сульфат калия (K_2SO_4) относится к ценным бесхлорным калийным удобрениям [1]. Сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) и алюмокалиевые квасцы ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) широко применяются в качестве коагулянтов для очистки воды, протравы при крашении тканей, компонента в производстве бумаги и огнеупоров [2-3]. Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) находит применение в строительной промышленности, медицине и в сельском хозяйстве [4-5].

Традиционные методы разделения таких многокомпонентных систем включают экстракцию, ионный обмен, мембранные методы и кристаллизацию [6]. Однако первые три метода зачастую связаны с высокими энергозатратами, использованием дорогостоящих реагентов и образованием вторичных отходов. Кристаллизация, как процесс разделения, основанный на разности растворимости компонентов, представляет собой наиболее экономичный и экологически предпочтительный метод, особенно, когда движущей силой процесса служит изменение температуры среды, а не упаривание раствора [7-8].

Ключевой проблемой при разделении системы K^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} // SO_4^{2-} - H_2O является близость физико-химических свойств ионов и возможность образования двойных солей и твердых растворов. Наиболее важным фактором, позволяющим осуществить эффективное разделение слоя, является резкая зависимость растворимости алюмокалиевых квасцов от температуры, в то время как растворимость сульфата кальция (гипса) в том же температурном интервале изменяется незначительно [9]. Это фундаментальное свойство системы и легло в основу данной разработки.

Целью настоящей работы является разработка принципиальной технологической схемы разделения системы $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$, использующей температурный режим 0 и 25 °C в качестве ключевых параметров управления процессом. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать физико-химические свойства системы, в особенности зависимость растворимости ее компонентов от температуры.
2. На основе анализа предложить последовательность технологических операций (цепочку аппаратов), обеспечивающую селективное выделение целевых продуктов.
3. Разработать принципиальную технологическую схему процесса.
4. Обосновать выбор температурных режимов и возможные варианты утилизации маточных растворов для создания малоотходной или безотходной технологии.

Физико-химические основы процесса

Разработка любой технологической схемы требует глубокого понимания термодинамики и кинетики процесса. В основе предлагаемой технологии лежит анализ диаграмм растворимости и термодинамических свойств системы K^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} // SO_4^{2-} - H_2O .

- **Сульфат кальция ($CaSO_4$).** В водных растворах при умеренных температурах существует преимущественно в виде дигидрата – гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) [15]. Его отличительной особенностью является низкая и практически не зависящая от температуры растворимости. При 25 °C он составляет около 0,3 г/100 г воды, а при 0 °C – около 0,2 г/100 г воды [7]. Эта незначительная разница не позволяет эффективно использовать температурную кристаллизацию для гипса, но делает возможным его стабильное выделение в определенном температурном интервале без риска значительного растворения или повторного выпадения в осадок.

- **Алюмокалиевые квасцы ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$).** Данное соединение представляет собой двойную соль, образующую устойчивый кристаллогидрат. Растворимость квасцов демонстрирует выраженную температурную зависимость, что является ключевым фактором для процесса разделения. При температуре 25 °C его растворимость составляет примерно 5,0 г на 100 г воды, тогда как при 0 °C уменьшается до приблизительно 3,0 г на 100 г воды [8]. Относительное снижение растворимости достигает около 40%, что создает значительную движущую силу для процесса кристаллизации при охлаждении раствора, предварительно насыщенного при более высокой температуре.

- **Сульфат калия (K_2SO_4).** Обладает хорошей растворимостью, которая возрастает с повышением температуры (например, ~7 г/100 г H_2O при 0 °C и ~12 г/100 г H_2O при 25 °C) [9-10, 14]. Это свойство позволяет удерживать его в растворе на стадии кристаллизации квасцов при низкой температуре, концентрируя в маточном растворе после удаления алюминия.

- **Сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$).** Его растворы имеют сильно кислую реакцию ($pH < 3$), что обусловлено гидролизом катиона алюминия. Это накладывает ограничения на выбор конструкционных материалов для аппаратуры, которые должны быть коррозионностойкими [11-12].

Указанные свойства позволяют предложить следующую последовательность стадий разделения, основанную на температурном цикле "нагрев-охлаждение": осаждение плохо растворимого гипса при умеренной температуре с последующим охлаждением раствора для кристаллизации квасцов.

Принципиальная технологическая схема и ее описание

На основании анализа физико-химических свойств системы была разработана принципиальная технологическая схема, представленная на рисунке 1. Схема включает в себя следующие основные стадии и аппараты:

- Т-1: Реактор-смеситель с термостатированием (~25–30 °C).

- Т-2: Кристаллизатор-осадитель гипса (~25 °С).
- Т-3: Кристаллизатор алюмокалиевых квасцов (~0 °С).
- Ф-1, Ф-2: Фильтры (например, нутч-фильтры или центрифуги).
- Н-1: Теплообменник-охладитель.
- Е-1: Испаритель (Специально для упаривания маточного раствора).

Стадия I: Подготовка раствора и осаждение гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) при 25 °С

Исходные соли или их растворы (K_2SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и CaSO_4) загружаются в реактор-смеситель (Т-1), где при постоянном перемешивании происходит их растворение при температуре 25–30 °С. В отличие от систем с хлоридом кальция в данном случае не протекают реакции обмена, так как все компоненты уже представлены в сульфатной форме. Основной задачей данной стадии является создание перенасыщенного раствора относительно гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) при минимальной растворимости алюмокалиевых квасцов.

Образующаяся суспензия, содержащая твердую фазу гипса, перекачивается в кристаллизатор (Т-2), где выдерживается при температуре 25 °С для завершения процесса кристаллизации и укрупнения кристаллов гипса. Далее суспензия поступает на фильтр (Ф-1). Твердая фаза (продукт 1 – гипс) промывается горячей водой для удаления адсорбированных примесей и выводится из процесса, то есть из аппарата.

Фильтрат с Ф-1 представляет собой раствор, обогащенный ионами K^+ , Al^{3+} и SO_4^{2-} , с минимальным остаточным содержанием Ca^{2+} , определяемым растворимостью гипса при данной температуре. Этот фильтрат является исходным раствором для следующей стадии процесса. Важным преимуществом использования исключительно сульфатных соединений является отсутствие в системе посторонних анионов (например, хлоридов), что упрощает дальнейшую переработку и повышает чистоту конечных продуктов.

Стадия II: Кристаллизация алюмокалиевых квасцов ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) при 0 °С

Горячий фильтрат (~25 °С) с Ф-1 направляется в теплообменник-охладитель (Н-1), где охлаждается до температуры, близкой к 0 °С. Охлажденный раствор поступает в кристаллизатор (Т-3), где в изотермических условиях при 0 °С проводится его выдержка для индукции кристаллизации и роста кристаллов квасцов. Резкое снижение растворимости квасцов приводит к их эффективному выпадению в осадок. Образовавшаяся суспензия подается на фильтр (Ф-2). Кристаллы квасцов (продукт 2) отделяются от маточного раствора и промываются небольшим количеством ледяной воды (во избежание растворения), после чего выводятся на сушку.

Стадия III: Обработка маточного раствора

Маточный раствор с фильтра Ф-2, охлажденный до 0 °С, имеет повышенную концентрацию сульфата калия (K_2SO_4), так как большая часть алюминия была выделена в виде квасцов. Далее возможны два варианта:

- **Вариант А (Рецикл):** Маточный раствор возвращается в начало процесса, в реактор Т-1. Это позволяет повысить общий выход по калию и сократить расход свежей воды, делая процесс более экономичным и экологичным.
- **Вариант Б (Дополнительная продукция):** Маточный раствор направляется в испаритель (Е-1) для концентрирования с последующей кристаллизацией и выделением чистого сульфата калия (K_2SO_4) в качестве третьего целевого продукта.

Обсуждение и особенности реализации

- **Температурный режим:** Поддержание температур 25 °С (Стадия I) и 0 °С (Стадия II) является критически важным для селективности процесса и высокого выхода целевых продуктов. Нагрев на первой стадии предотвращает преждевременную кристаллизацию квасцов, а глубокое охлаждение на второй – обеспечивает максимальный выход по ним.
- **Кинетика и оборудование:** Для получения хорошо фильтруемых осадков с крупными кристаллами необходимо обеспечить плавное охлаждение в Н-1 и достаточное время выдержки в кристаллизаторах Т-2 и Т-3 для их "выращивания". Кристаллизаторы могут быть оснащены мешалками и рубашками для термостатирования.
- **Коррозионная стойкость:** Рабочие среды, особенно растворы сульфата алюминия, имеют кислую реакцию ($\text{pH} < 3\text{--}4$). Все аппараты, контактирующие с раствором (реакторы, теплообменники, фильтры),

должны быть изготовлены из коррозионностойких материалов (нержавеющая сталь AISI 316L [13], керамика, полипропилен, резиновая футеровка).

- **Водный и энергетический баланс:** Вариант с рециклом маточного раствора (Вариант А) позволяет минимизировать сброс сточных вод и сократить расход свежей воды, повышающие экологическую и экономическую эффективность процесса. Однако он требует дополнительных капитальных затрат на оборудование для перекачки и контроля. Охлаждение до 0 °С является энергоемкой операцией, однако использование эффективных хладагентов и теплообменников может снизить эти затраты.

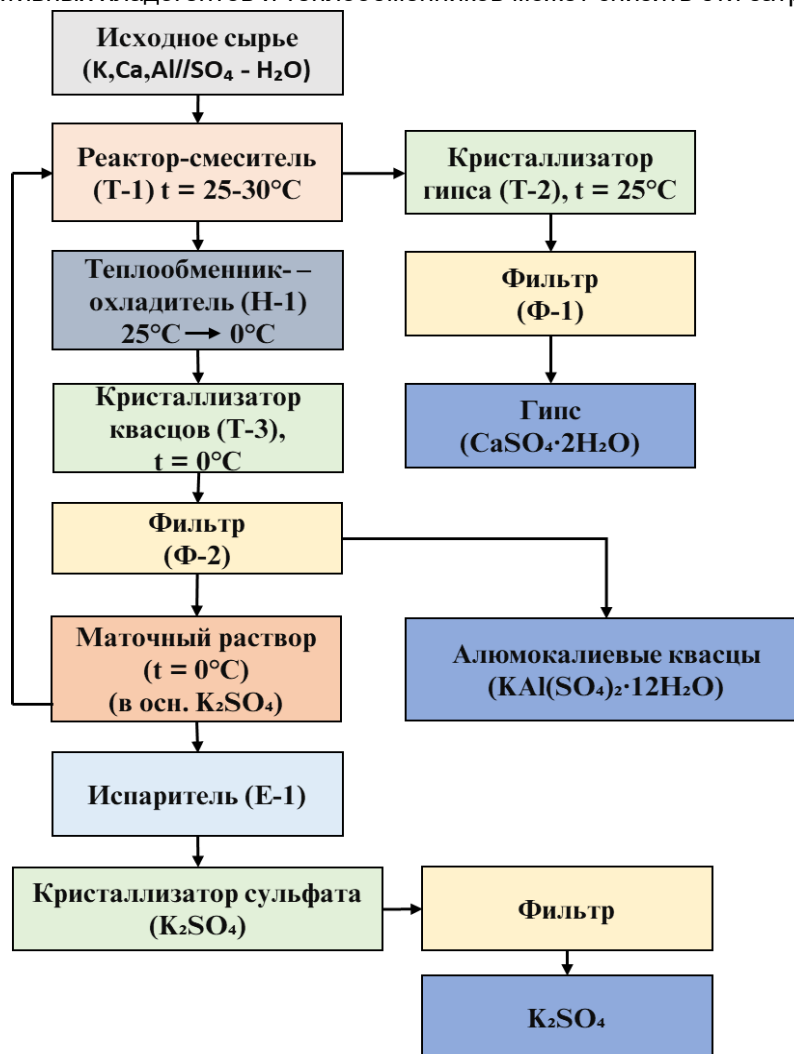


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема цепи аппаратов для разделения системы $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$

- **Качество продукции:** Для получения чистых продуктов необходима тщательная промывка осадков на фильтрах. Гипс промывается горячей водой для удаления примесей раствора. Квасцы промываются обильной ледяной водой, чтобы минимизировать потери продукта из-за растворения.

Заключение

Разработана принципиальная технологическая схема разделения системы $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$, которая эффективно использует зависимость растворимости алюмокалиевых квасцов от температуры. В основе процесса лежит последовательное выделение гипса при 25 °С и квасцов при 0 °С, с возможностью рецикла маточного раствора или выделения сульфата калия в качестве дополнительного продукта.

Предложенная схема характеризуется рядом преимуществ. Прежде всего, она обеспечивает высокую селективность за счет фундаментальных различий в физико-химических свойствах компонентов, что

позволяет эффективно разделять систему. Существенным достоинством является энергоэффективность: движущей силой процесса выступает охлаждение, исключая необходимость энергоемкого упаривания.

Особое внимание уделяется малоотходности технологии: возможность организации рецикла воды и солей способствует снижению нагрузки на окружающую среду. Замкнутый цикл переработки материальных потоков позволяет минимизировать потребление свежей воды и химических реагентов, сократить объем сбросов сточных вод и уменьшить экологический след производства.

Еще одним важным свойством схемы является универсальность. Она может быть адаптирована для переработки исходных растворов различного состава, включая растворы, образующиеся в качестве отходов других производств.

Предложенная схема способна служить основой для дальнейших исследований. В их число входят детальные материальные и тепловые расчеты, изучение кинетики кристаллизации, а также проектирование опытно-промышленной установки, позволяющие перейти от лабораторных решений к промышленному применению.

Рецензент: Ш.Ф. Самихов — д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории обогащения руд Института химии им. В.И. Никутина Национальной академии наук Таджикистана.

Литература

1. Хамизов, Р.Х. Способ получения растворимых бесхлорных калийных удобрений : пат. 2674029 Рос. Федерация : МПК C05D 1/04 / Р. Х. Хамизов, Н. С. Власовских, В. Г. Егоров и др. ; патентообладатель ООО «НИИ Гипрохим». — № 2018142544 ; заявл. 04.12.2018 ; опубл. 04.12.2018, Бюл. № 34. — 9 с.
2. Коагулянт на основе сульфата алюминия и полиалюминийхлорида при очистке воды // ZBSENLOS. — URL: <https://www.zbsenlos.com/info/aluminium-sulphate-and-poly-aluminium-chloride-49000688.html> (дата обращения: 25.06.2025).
3. Матвиенко, В.Г. Крупнотоннажные отходы производства - дешевое сырье для получения соединений алюминия / В. Г. Матвиенко // Инновационные перспективы Донбасса : материалы конф. — Горловка, 2019. — С. 83–87.
4. Пуценко К.Н. Перспективы развития и применения сухих строительных смесей на основе гипса / К. Н. Пуценко, В. Б. Балабанов // iPolytech Journal. — 2015. — № 7 (102). — С. 148–154.
5. Азизов Б.С. Конверсия сульфатов, полученных из растворов шламовых полей производства алюминия / Б. С. Азизов, М. М. Абдуллоев, Х. С. Сафиев, Д. Р. Рузиев, Д. С. Лангариев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. — 2000. — Т. 43, № 1. — С. 31–35.
6. Свитцов А.А. Реагентно-мембранное разделение многокомпонентных водных растворов : монография / А. А. Свитцов. — М. : [б.и.], 2019. — 150 с. — ISBN (указать, если есть).
7. Soliev L. Solubility in the Quaternary $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-CaF}_2\text{-H}_2\text{O}$ System at 50°C / L. Soliev, P. Mukhtorov, Sh. Tursunbadalov, M. Usmonov, M. T. Jumaev // Inorganic Chemistry an Indian Journal. — 2018. — Vol. 13, No. 1. — Pp. 124–128.
8. Гудилин Е.А. Процессы кристаллизации в химическом материаловедении : учеб. пособие / Е. А. Гудилин, А. А. Елисеев. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 2006. — 8 с.
9. Мухторов П.А. Мувозінатҳои фазагии системаи $\text{K, Ca, Al // SO}_4, \text{F-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0°C / П. А. Мухторов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. — 2023. — № 3. — С. 226–234. — EDN HEDXTP.
10. Сафиев Х.С. Конверсия сульфатных растворов шламовых полей производства алюминия / Х. С. Сафиев, Б. С. Азизов, М. М. Абдуллоев, Д. Р. Рузиев, Д. С. Лангариева // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. — 2000. — Т. XLIII, № 1. — С. 31–34.
11. Мухторов П.А. Исследование фазовых равновесий в системе $\text{K, Al // SO}_4, \text{F - H}_2\text{O}$ при 25°C с использованием метода трансляции / П. А. Мухторов, С. Умаралии, М. Б. Усмонов // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. — 2025. — № 1(198). — С. 78–85. — EDN OZSGHY.
12. Мухторов П.А. Фазовые равновесия системы $\text{K, Al // SO}_4, \text{F-H}_2\text{O}$ при 0°C / П. А. Мухторов, М. Б. Усмонов // XXII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, посвященный 190-летию Д. И. Менделеева и 300-летию основания Российской академии наук : сб. тезисов : в 7 т. — Сириус, 2024. — Т. 6. — С. 213.
13. Грабко Д. Сходство и различие специфики деформирования стали AISI 316L в условиях трения и ударной нагрузки / Д. Грабко [и др.] // Integrare prin cercetare și inovare: сб. ст. — 2024. — С. 835–842.

14. Кудина Е.Ф. Растворы. учеб.-метод. пособие / Е. Ф. Кудина, Л. В. Чернышева; Министерство транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель : БелГУТ, 2024. — 122 с. — ISBN 978-985-891-162-1.

15. Родионова А. Ю. Химическая очистка сточных вод от сульфатов / А. Ю. Родионова, Л. А. Иванова, И. М. Угарова, В. В. Барабаш // Холодильная техника и биотехнологии. — 2023. — С. 219–221.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Мухторов Парвиз Алимаҳмадович | Мухторов Парвиз Алимахмадович | Mukhtorov Parviz Alimahmadovich |
| ассистент | ассистент | assistant |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни | Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни | Tajik State Pedagogical University named after S. Aini |
| E-mail: parvizm1993@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Усмонов Муҳаммадсалим Бозорович | Усмонов Мухаммадсалим Бозорович | Usmonov Muhammadsalim Bozorovich |
| н.и.х. | к.х.н. | Candidate of Chemical Sciences |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни | Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни | Tajik State Pedagogical University named after S. Aini |
| E-mail: usmonov.86@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Умарали Сафаралӣ | Умарали Сафарали | Umarali Safarali |
| Муаллими калон | старший преподаватель | Senior lecturer |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни | Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни | Tajik State Pedagogical University named after S. Aini |
| E-mail: safarali.umarali91@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Қурбонова Ҳанифа | Курбонова Ханифа | Kurbonova Hanifa |
| н.и.х. | к.х.н. | Candidate of Chemical Sciences |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни | Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни | Tajik State Pedagogical University named after S. Aini |
| TJ | RU | EN |
| Холов Холмаҳмад Исроилович | Холов Холмахмад Исроилович | Kholov Kholmahmad Isroilovich |
| н.и.т. | к.т.н. | Candidate of Technical Sciences |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни | Таджикский государственный педагогический университет им. Садриддина Айни | Tajik State Pedagogical University named after S. Aini |
| E-mail: Kholmahmad90@mail.ru | | |

ТАШАККУЛИ ТАРКИБИ ХИМИЯВИИ ОБҲОИ ЗЕРИЗАМИНӢ ВА ТЕХНОЛОГИЯИ БЕЗАРАРГАРДОНӢ ТАВАССУТИ КОАГУЛЯНТҲО

¹А.С. Қодиров, ²У.О. Толибзода, ¹Ф.И. Наҷмудинова, ²Ф.И. Шаймурадов, ³И.М. Раҳимов

¹Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ

²Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ

³Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ

Тадқиқоти гузаронидашуда ба арзёбии таркиби химиявии обҳои зеризаминӣ ва таҳияи технологияи самараноки безараргардонии он равона шудааст. Муайян карда шуд, ки дар аксар ҷойҳо нишондодҳои сифати об ба меъёр мувофиқанд, вале дар баъзе ҷойҳо аз меъёр зиёд будани як қатор параметрҳо ба қайд гирифта шудааст. Ҳамчун ҳалли технологияи тозакунии об истифода аз коагулянтҳо ва гилҳои бентонитӣ пешниҳод карда шуд, ки коҳиши концентратсияи моддаҳои ифлоскунанда ва бехтар шудани хусусияти санитарии обро таъмин мекунад. Ин усул барои истифода осон, аз ҷиҳати экологӣ бехатар аст ва мумкин аст барои татбиқ дар нуктаҳои асосии обкашӣ тавсия дода шавад. Истифодаи он таъминоти устувори об, кам кардани хатарҳои экологӣ ва баланд бардоштани самаранокии мониторинг ва идоракунии захираҳои обҳои зеризаминиро дар минтақаи тадқиқотӣ таъмин менамояд.

Калидвожаҳо: об, обҳои зеризаминӣ, гидрохимия, гидрология, коагулянтҳо, бентонит, безараргардонӣ, тозакунии, экология, обгирӣ, мониторинг.

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОАГУЛЯНТОВ

А.С. Кодиров, У.О. Толибзода, Ф.И. Наҷмудинова, Ф.И. Шаймурадов, И.М. Раҳимов

Проведённое исследование направлено на оценку химического состава подземных вод и разработку эффективной технологии их обеззараживания. Установлено, что в большинстве точек показатели качества воды соответствуют нормативам, однако в отдельных местах зафиксированы превышения по ряду параметров. В качестве решения предложена технология очистки с использованием коагулянтов и бентонитовых глин, обеспечивающая снижение концентрации загрязняющих веществ и повышение санитарных характеристик воды. Метод прост в применении, экологически безопасен и может быть рекомендован для внедрения в основных точках водозабора. Его использование позволит обеспечить устойчивое водоснабжение, снизить экологические риски и повысить эффективность мониторинга и управления подземными водными ресурсами на исследуемой территории.

Ключевые слова: вода, подземные воды, гидрохимия, гидрология, коагулянты, бентонит, обеззараживание, очистка, экология, водозабор, мониторинг.

FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF UNDERGROUND WATER AND TECHNOLOGY OF DISINFECTION USING COAGULANTS

A.S.Kodirov, U.O. Tolibzoda, F.I. Nazhmudinova, F.I. Shaymuradov, I.M. Rakhimov

The conducted research is aimed at assessing the chemical composition of groundwater and developing an effective technology for its disinfection. It was found that in most points the water quality indicators comply with the standards, however, in some places there were recorded exceedances in a number of parameters. As a solution, a purification technology using coagulants and bentonite clays is proposed, which reduces the concentration of pollutants and improves the sanitary characteristics of water. The method is easy to use, environmentally friendly and can be recommended for implementation at the main points of water intake. Its use will ensure a sustainable water supply, reduce environmental risks, and improve the effectiveness of monitoring and management of groundwater resources in the study area.

Keywords: water, groundwater, hydrochemistry, hydrology, coagulants, bentonite, disinfection, purification, ecology, water intake, monitoring.

Ташаккули таркиби химиявии обҳои зеризаминӣ дар шароити зиёдшавии таъсири омилҳои табиӣ ва антропогенӣ яке аз масъалаҳои калидии амнияти экологии на танҳо Тоҷикистон, балки минтақаи Осиёи Марказӣ ба шумор меравад. Дар бисёр ноҳияҳои Тоҷикистон ифлосшавии обҳои зеризаминӣ бо моддаҳои ҳалшаванда, металлҳои вазнин ва бактерияҳо мушоҳида мешавад, ки саломатии аҳоли ва устувории экосистемаҳоро зери хатар мегузорад. Аз ин рӯ, тадқиқи равандҳои ташаккули химиявӣ ва интиҳоби технологияҳои самараноки безараргардонӣ, аз ҷумла истифодаи коагулянтҳо, дорои аҳамияти амалии баланд мебошад. Ин тадқиқот имкон медиҳад, ки усулҳои тозакунии об такмил дода шуда, таъмини оби ободон ва бехатар таъмин гардад.

Дар раванди тадқиқот маҷмуи усулҳои замонавӣ ва дақиқ истифода шуданд, ки ба дарёфти маълумоти бозётимод мусоидат менамоянд. Барои коркарди маълумоти фазой ва муайян кардани минтақаҳои хавфнок аз технологияи низоми иттилоотӣ географӣ (НИГ) истифода гардид. Ин технология имкон дод, ки хусусиятҳои ҳудудӣ, ҷойгиршавии манбаъҳои ифлосшавӣ ва динамикаи тағйирёбии таркиби обҳои зеризаминӣ таҳлил карда шаванд.

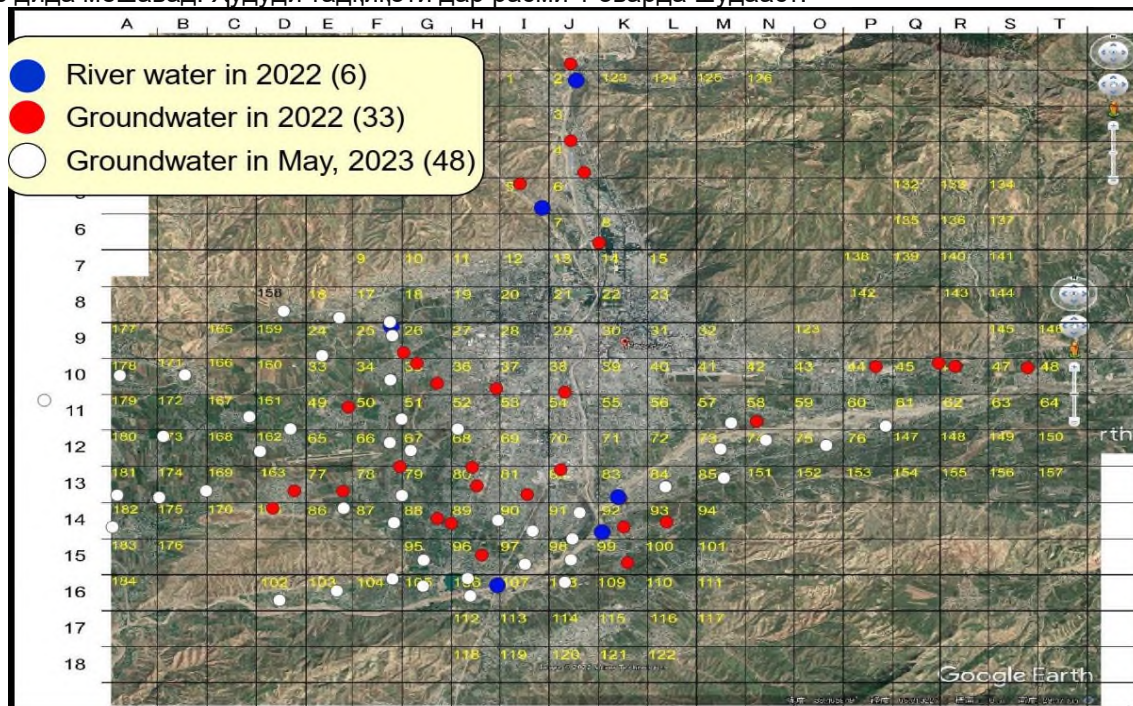
Илова бар ин, барои муайян намудани концентратсияи ионҳо, элементҳо ва компонентҳои асосии таркиби об аз анализатори хроматографияи ионӣ истифода шуд. Ин усул имконияти медиҳад, ки анионҳо ва катионҳо бо дақиқии баланд чен карда шуда, ҳолати гидрохимиявии обҳо бо нишондиҳандаҳои илмӣ арзёбӣ гардад.

Чи тавре, ки дар тадқиқоти алоҳидаи муаллифони қайдкарда шуд, на ҳамаи аҳолии Ҷумҳурии Тоҷикистон бо оби ба меъёрҳои муқарраргардида ҷавобгӯӣ таъмин мебошанд. Вобаста ба ин, арзёбӣ ва коркарди технологияи обтозакунии то ҳол аҳамияти ҳудро гум накардааст ва барои дар сатҳи зарурӣ

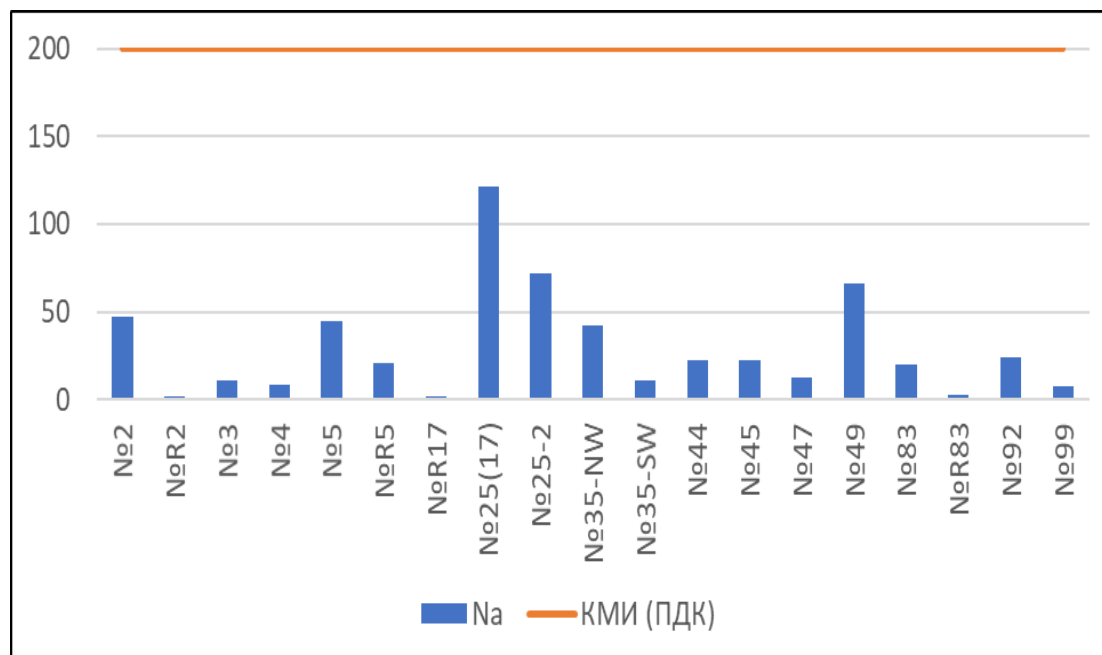
безаргардони об дар вақти муайян маълумоти асосноку беҳошия лозим мебошад. Маълумот бояд хусусиятҳои химиявӣ, биологӣ ва микробиологиро дар бар гиранд [1].

Ҳамин тавр, маълумоти физикию химиявӣ, биологӣ ва микробиологӣ барои мониторинги сарчашмаҳои обӣ заруранд. Барои арзёбии моро зарур шуд, ки обҳоро аз минтақаҳои гуногун ҷамъоварӣ намуда, ҳулосаи муфид барорем. Сабаби асосӣ дар он аст, ки арзёбии ва тадқиқоти обҳои гуногун имконият медиҳанд, ки ҳулосаи мушаххаси илмӣ бароварда шавад. Дар баробари ин, ҳудуди шаҳри Душанбе ба пуррагӣ омӯхта шудааст [2].

Тадқиқи обҳои зеризаминӣ низ яке аз масъалаҳои муҳим дар илми гидрология махсуб меёбад. Таркиби обҳои сатҳӣ бешубҳа аз обҳои зеризаминӣ низ вобастагӣ доранд [3]. Вобаста ба ин, барои арзёбии обҳои зеризаминӣ мо тадқиқотро солҳои 2022-2023 ба таври қорҳои саҳроӣ ва санҷидани обҳо дар озмоишгоҳ анҷом додем. Ҳарчанд ҳудуди шаҳри Душанбе қалон ҳам набошад, вале дар таркиби обҳои ҳудуди он тағйироти назаррас дида мешавад. Ҳудуди тадқиқотӣ дар расми 1 оварда шудааст.

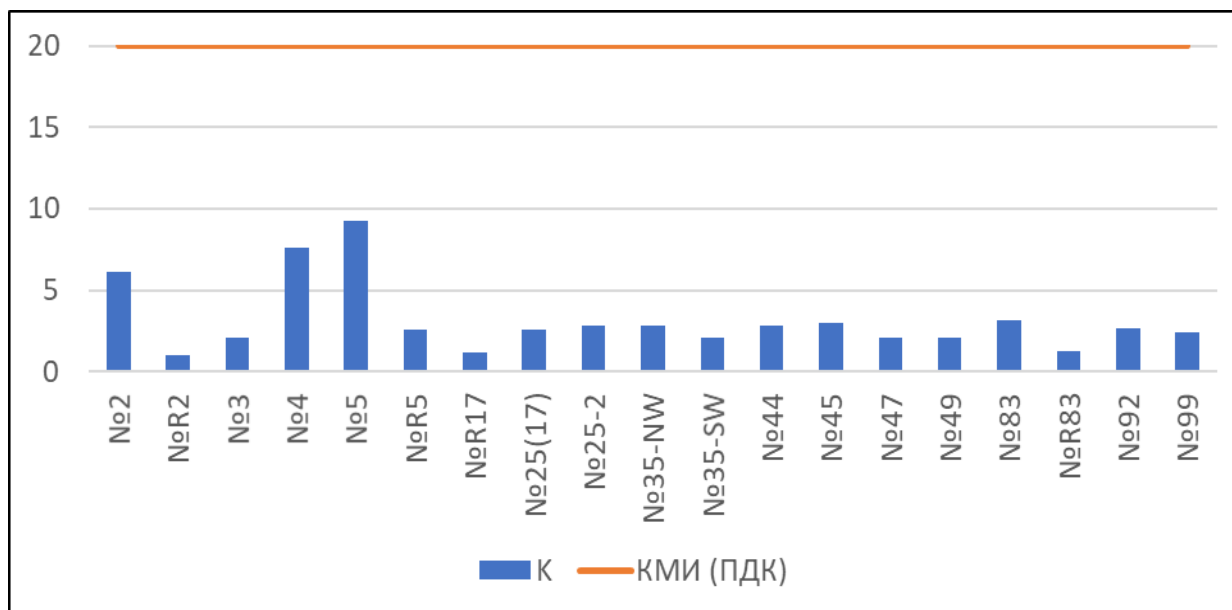


Расми 1 - Ҳудуди тадқиқотии шаҳри Душанбе



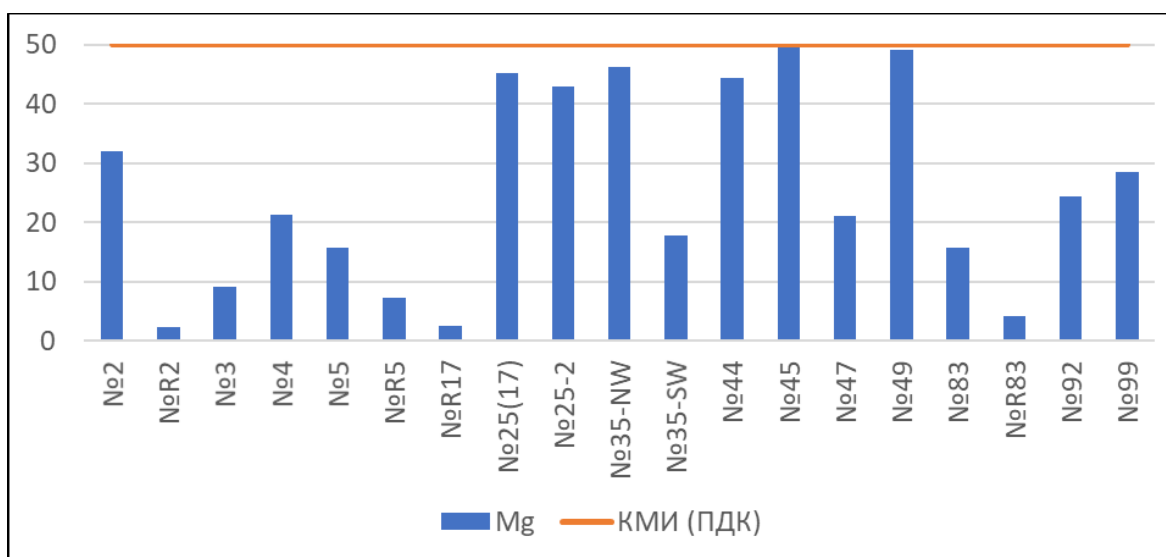
Расми 2 - Миқдори натрий дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

Натрий дар об ба сифати ионҳои қувваи мусбатдошта мавҷуд аст. Натрий дар натиҷаи диссоциатсияи электролитии намакҳо ё асосҳо ташаккул меёбад [4]. Сарчашмаҳои натрийро дар обҳои зеризаминӣ ба табиӣ ва антропогенӣ тақсим кардан мумкин аст. Хлориди натрий яке аз намакҳои маъмултарин дар рӯи замин мебошад, ки дар шакли табиӣ дучор шуда метавонад. Натрий дар консентратсияи баланд дар баҳрҳо, уқёнусҳо ва кӯлҳои бе қараён пайдо мешавад. Дигар намакҳои ҳалшавандаи натрий дар чинсҳои магматӣ ва таҳшинҳо мавҷуданд. Ҳолати пайдоиши антропогенӣ бошад ба нуриҳои маъданӣ (нитрати натрий), реактивҳои зидди яхбандӣ ва партовҳои корхонаҳои саноатӣ ба обанборҳои кушод дохил мешаванд, ки аз онҳо об гирифта мешавад. Ин раванд боиси ба манбаъҳои зеризаминӣ ворид шудани ионҳои натрий мегарданд.



Расми 3 - Миқдори калий дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

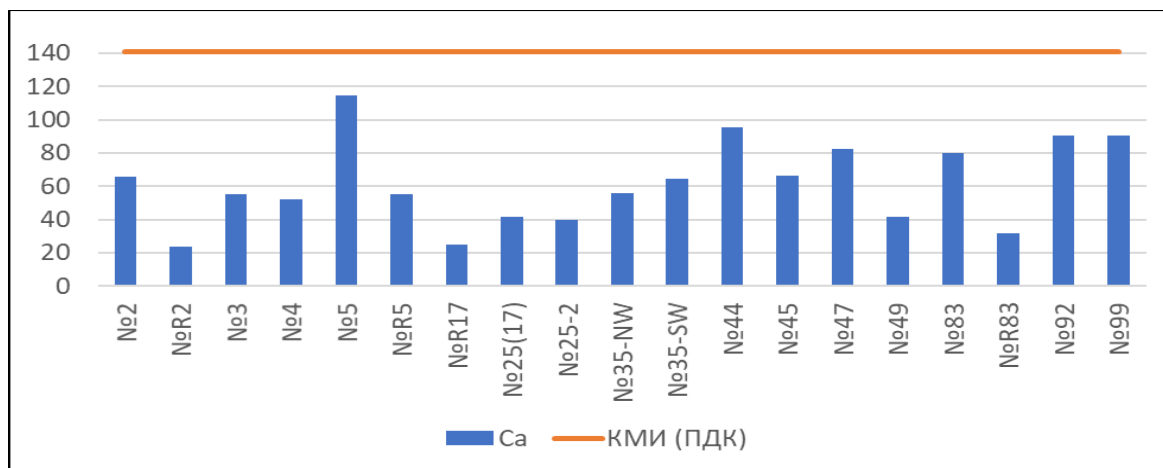
Калий ба обҳои зеризаминӣ ҳангоми обшавии чинсҳои зеризаминӣ ворид мешавад. Калий дар об камтар ба назар мерасад, зеро он дар ҳок беҳтар ҷаббида мешавад ва тавассути растаниҳо ҳангоми бухоршавӣ ихроҷ мешавад [2]. Хусусияти дигари калий дар он аст, ки аз организми одам обро бештар мебарорад.



Расми 4 - Миқдори магний дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

Дар ин нишондод танҳо нуқтаи №45 ба консентратсияи ҳадди ҷоизи ғилзат (ҲҶҒ) (барои Ҷумҳурии Тоҷикистон) баробар мебошад, аммо қайд кардан ба маврид аст, ки мувофиқи талаботи Ташкилоти умумиҷаҳонии тандурустӣ аз 30 то 80 мг/л иҷозат дода шудааст.

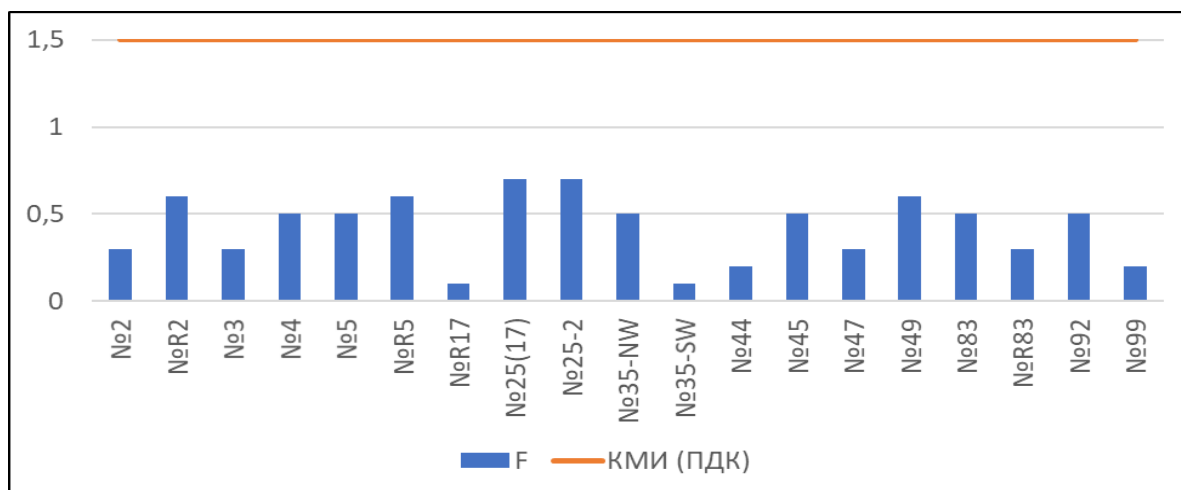
Магний яке аз металлҳои ишқозаминӣ дар об ба ҳисоб меравад. Аксарияти захираи магний ба обанборҳо ҳангоми шамол ва шусташавии конҳои маъдан ворид мешавад. Бахрҳо ва кӯлҳои шӯр аз ин модда бой буда, ҳоки маконҳое, ки пештар воқеъ буданд, низ дорои миқдори зиёди он мебошад. Магний аксар вақт тавассути партовҳои корхонаҳои саноатӣ ба об ворид мешавад.



Расми 5 - Миқдори калсий дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

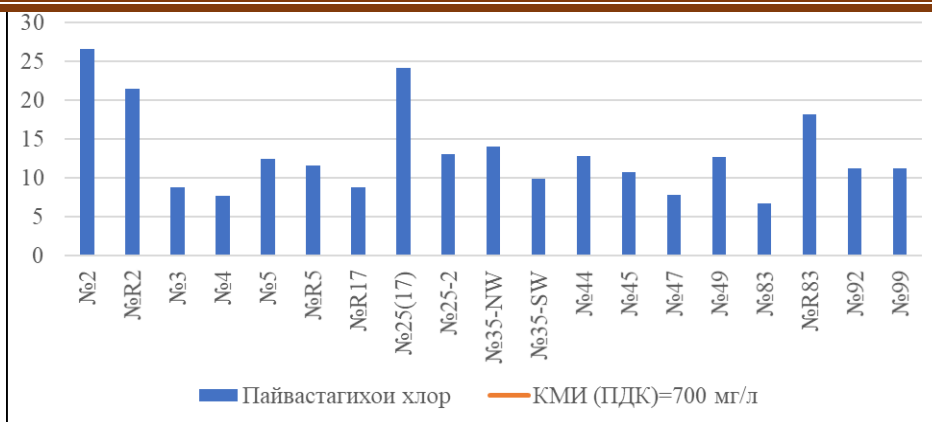
Дар табиат калсий ба таври ҳолис дида намешавад, аммо як қисми маҷмуи пайвастагӣҳо мебошад. Масалан, дар таркиби гач, флюорит ё оҳаксанг ба таври баръало дида мешавад. Асосан калсий ҳангоми аз силикатҳои чинсҳои гуногун ва чинсҳои таҳшиншуда, инчунин бо партовҳои корхонаҳои саноатӣ ва кишоварзӣ шуста шуданаш ба обҳо дохил мешавад [5].

Миқдори зиёди калсий дар об яке аз нишонаҳои дуруштии об ба ҳисоб меравад. Сарфи назар аз манфиатҳои он ва ҳатто эҳтиёҷ ба кори бадани мо, хӯрдани об бо калсий таъми онро бадтар мекунад ва метавонад боиси мушкilotи саломатӣ гардад.

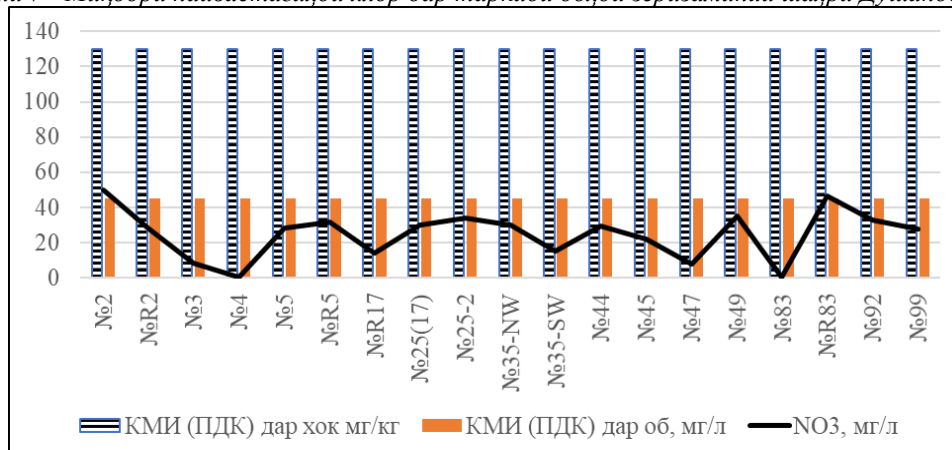


Расми 6 - Миқдори фтор дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

Оксиди нитроген (NO_3) яке аз ҷузъҳои асосии сатҳи замин махсуб меёбад, барои рушди флора таъсири ҳудро мерасонад. Дар баробари ин, зиёд будани он дар табиат низ зарари ҷиддӣ дорад. Миқдори зиёди он дар нуқтаҳои 2 ва R83 ба назар мерасад (расми 8).



Расми 7 - Миқдори пайвастагиҳои хлор дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л



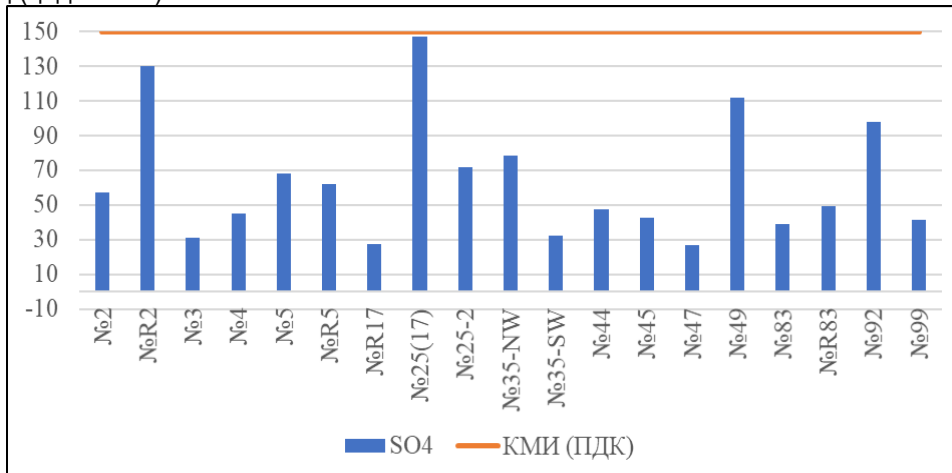
Расми 8 - Миқдори оксиди нитроген дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе

Нишондиҳандаи оксиди сулфур (SO_4) бошад, дар нуқтаҳои R2, 25 (17) ва 49 нисбати дигар нуқтаҳо зиёд буда, ба HCF наздик мебошад (расми 9).

Бояд иқрор шуд, ки тамоми моддаҳои санҷидашуда дар нуқтаҳои тадқиқотӣ дар меъёри иҷозатдодашуда мебошанд. Аз ин бармеояд, ки дар ҳудуди сарчашмаҳои обии шаҳри Душанбе таъсири техногенӣ ба об ва муҳит ба дараҷаи хатарзо намебошад. Аммо бояд қайд намоем, ки маълумоти ҳозира нисбати солҳои қаблӣ то 0,1-0,5% зиёд мебошанд [5].

Вобаста ба ин, мониторинги ҳамешагии захираҳои обии сатҳию зеризаминӣ яке аз масъалаҳои муҳим боқӣ мемонад.

Барои муқоиса мо тадқиқотро дар қисмати шимолу ғарбии шаҳри Кӯлоб гузаронидем. Тадқиқот дар сарчашмаҳои обии деҳаи Ғелот анҷом дода шуд. Тадқиқот нишон дод, ки таркиби обҳои минтақаи Ғелот аз ионҳои S_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ иборат мебошад. Ин нишондодҳо дар таркиби обҳои деҳаи Ғелот аз ҳадди ақали ҷоиш (ҳамчун оби нӯшокӣ) зиёд мебошад. Қайд кардан зарур аст, ки танҳо нишондоди нитратҳо аз HCF зиёд намебошад (ҷадвали 1).



Расми 9 - Миқдори оксиди сулфур дар таркиби обҳои зеризаминии шаҳри Душанбе, мг/л

Ҷадвали 1 - Таркиби химиявии сарчашмаи оби деҳаи Ғелот, ш.Кӯлоб

| Нишондиҳанда ва воҳиди ченак | Микдор | ҲҚҒ |
|------------------------------|---------|-------|
| Дурушӣ, мг экв/л | 9,90 | <7 |
| Сулфатҳо, мг экв/л | 134,52 | <500 |
| Хлоридҳо, мг/л | 2100,60 | <350 |
| Боқимондаи хушкӣ | 4028 | <1000 |
| Нитратҳо, мг/л | 11,05 | <45 |
| Натрий, мг/л | 8,55 | - |
| Магний, мг/л | 1,35 | - |
| Калсий, мг/л | 57,22 | - |

Барои дар сатҳи зарурӣ собит намудани таркиби химиявии сарчашмаҳои обӣ намунаҳоро то хушк шудан нигоҳ дошта шуда, боқимондаи он тавассути таҳлили рентгенофазӣ сабт карда шуд. Натиҷаи таҳлилҳо нишон доданд [6-8], ки дар таркиби сарчашмаҳои оби деҳаи Ғелот дорои намакҳои металлҳои ишқорӣ ва ишқорзаминӣ, ба монанди: CaSO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4 , CaCl_2 ва ба таври камтар намакҳои NaCl , KCl , MgSO_4 , KNO_3 , NaNO_3 , MgCl_2 мебошанд. Ҳамчунин дар таркиби оби деҳаи Ғелот боқимондаи намакҳои NaCl , KCl , CaCl_2 ба микдори то 40% дида мешавад.

Гилҳои бентонитӣ хусусияти адсорбсионӣ доранд, баъди намнок шудан оби бисёреро дар худ ҷазб мекунанд. Вобаста ба ин, дар тадқиқоти худ мо барои тоза намудани об аз баъзе моддаҳои гили бентонитиро истифода бурдем. Гили бентонитӣ барои кам кардани микдори ионҳои истифода бурда шуд. Дар тадқиқот барои тоза намудан мо аз гилҳои бентонитии фаъолгардонидашуда истифода бурдем. Дар натиҷаи санҷиш микдори ионҳои ба таври назаррас кам шуданд (ҷадвали 2).

Ҷадвали 2 - Натиҷаи истифодаи гилҳои бентонитӣ барои тозакунии об

| Нишондиҳанда ва воҳиди ченак | Нишондод то тозакунии | Нишондод баъди тозакунии |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Дурушӣ, мг экв/л | 9,90 | 4,45 |
| Сулфатҳо, мг экв/л | 134,52 | 37,49 |
| Хлоридҳо, мг/л | 2100,60 | 98,50 |
| Боқимондаи хушкӣ | 4028 | 412 |
| Нитратҳо, мг/л | 11,05 | 8,92 |
| Натрий, мг/л | 8,55 | 3,30 |
| Магний, мг/л | 1,35 | 1,15 |
| Калсий, мг/л | 57,22 | 2,91 |

Хулоса

Ҷиҳати таҳлили сифати об ва самаранокии тозакунии бо истифодаи гилҳои бентонитии фаъолгардонидашудаи ҲҚҒ, маълумот нишон доданд, ки нишондиҳандаҳои ионҳои ҳалшуда то истифодаи гилҳо хело баланд буд. Пас аз истифодаи гилҳои бентонитӣ коҳиши назаррас дар микдори ионҳои Cl^- ба қайд гирифта шуд. Мушаххас қайд кунем, тозашиви ионҳои Cl^- то 95% ва коҳиши дурушӣ умумии об бошад то 55% расид, ки ин нишондиҳандагон шаҳодати самаранокии баланди бентонитӣ дар равандҳои тозакунии мебошад.

Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки истифодаи гилҳои бентонитии фаъолгардонидашуда на танҳо микдори ионҳои зарароварро дар об кам мекунад, балки сифати умумии обро низ ба дараҷаи зарури мебардорад. Аз ин рӯ, татбиқи ин технология метавонад ҳамчун роҳи муассир ва иқтисоди барои тозакунии об дар соҳаҳои саноат пешниҳод гардад.

Ҳамзамон, таҳлилҳо нишон дод, ки гилҳои бентонитӣ дар барқарорсозии сифати об таъсири мусбат расонида ва метавонад барои пешгирии ифлосшавии об истифода шаванд. Вобаста ба ин, истифодаи ин технология имкон медиҳад, ки сифати об ба дараҷаи зарурӣ тоза карда шавад.

Тадқиқоти мазкур дар доираи лоиҳаи ITAG-SATREPS (Соҳтмони низомии гармидиҳии декарбонатӣ бо истифода аз захираҳои оби зеризаминӣ) иҷро шудааст.

Муқаррир: Носиров Наби — д.и.т., Сарҳодими илмӣ Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Кодиров, А. С. Влияние изменения климата на сельское хозяйство и возможности адаптации / А.С. Кодиров, А.И. Саидов, И.М. Рахимов // Материалы международной НПК «Пути направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана» – Душанбе, – 2018. – С. 180–186.

2. Амиров, О. Х. Теоретико-прикладные аспекты использования гидрологических данных речного бассейна Республики Таджикистан / О. Х. Амиров // Вестник КГУСТА. 2013. – № 1 (39). – С. 100-106.
3. Классификация природных вод // Интернет-портал www.water2you.ru. — Режим доступа: <https://www.water2you.ru/articles/prochie-materialy/klassifikatsiya-prirodnikh-vod/>. — (Дата обращения: 30.10.2025).
4. Бассейновый план использования, охраны и развития водных ресурсов реки Кафирниган (Первый проект) // Всемирный Банк. – Душанбе, 2019. – 140 с.
5. Гулаёзов, М. Ш., Кодиров, А. С. Географические особенности руслового режима реки Варзоб / М. Ш. Гулаёзов, А. С. Кодиров // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2021. – № 2 (45). – С. 28–36.
6. Кодиров, А. С., Маджидов, Т. С., Эмомов, К. Ф., Кодиров, Ш. С. Горные экосистемы Таджикистана на фоне изменения климата / А. С. Кодиров, Т. С. Маджидов, К. Ф. Эмомов, Ш. С. Кодиров // Материалы международной научно-практической дистанционной конференции «Развитие инновационной экономики в Таджикистане и Польше», г. Душанбе, 21–22 декабря 2018 г. – С. 85–90.
7. Кодиров, Ш. С., Партобов, А. Ш. Хусусиятҳои умумӣ ва речаи гидрохимиявии ҳавзаи дарёи Кофарниҳон / Ш. С. Кодиров, А. Ш. Партобов // Паёми ДТТ. – 2021. – № 3 (46). – С. 55–63.
8. Hyderabad all set to become India's first city to fully treat its sewage // Internet-portal India expresses. — Режим доступа: <https://www.newindianexpress.com/states/tehran/2022/sep/05/hyderabad-all-set-to-become-indias-first-city-to-fully-treat-its-sewage-2494886.html>. — (Дата обращения: 30.10.2025).

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Кодиров Анвар Саидкулович | Кодиров Анвар Саидкулович | Kodirov Anvar Saidkulovich |
| Доктори илмҳои техники | Доктор технических наук | Doctor of Technical Sciences |
| Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ | Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ | Center for innovative of science and new technologies NAST |
| E-mail: as.kodirov@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Толибзода Умеда Олим | Толибзода Умеда Олим | Tolibzoda Umeda Olim |
| Ходими калони илмӣ | Старший научный сотрудник | Senior Researcher |
| Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ | Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ | Institute of water problems, hydropower and ecology NAST |
| E-mail: u.tolibova@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Назмудинова Фарзона Исмаиловна | Назмудинова Фарзона Исмаиловна | Nazhmudinova Farzona Ismayullovna |
| Ходими калони илмӣ | Старший научный сотрудник | Senior Researcher |
| Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои нави АМИТ | Центр инновационного развития науки и новых технологий НАНТ | Center for innovative of science and new technologies NAST |
| E-mail: ismatullozoda.fn@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Шаймуродов Фирдавс Иноятович | Шаймуродов Фирдавс Иноятович | Shaymuradov Firdavs Inoyatovich |
| Номзади илмҳои техники | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ | Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ | Institute of water problems, hydropower and ecology NAST |
| E-mail: sh.firdavs-80@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Рахимов Илхомиддин Мирзоевич | Рахимов Илхомиддин Мирзоевич | Rakhimov Ilkhomidin Mirzoevich |
| Номзади илмҳои техники | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ | Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ | Institute of chemistry named after V.I. Nikitin of the NAST |
| E-mail: rahimzod_74@mail.ru | | |

УСУЛҲОИ АСОСИИ ИСТЕҲСОЛ ВА ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ КАТАЛИЗАТОРҲОИ БИСЁРЧУЗЪА

М. Идизода, Б.С. Саидзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Кори мазкур ба омӯзиши имконияти ҷудо кардани системаҳои гетерогенӣ ва якхелаи маҳсулоти нимтайёр ва ба даст овардани маҳсулоти тайёр ғангоми тоза кардани газҳо ва партовобҳо бо ёрии катализаторҳои бисёрчӯза бахшида шудааст.

Калимаҳои калидӣ: катализатор, адсорбтсия, ангишти фаёлгардонидашуда, силикагел, хокаи квартсӣ, тозагардоники газҳои саноатӣ, масолеҳҳои тақрибан коркардишаванда.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

М. Идизода, Б.С. Саидзода

Настоящая работа посвящена изысканиям возможности разделения неоднородных и однородных систем полупродуктов и получении готовой продукции с помощью поликомпонентных катализаторов при очистке отходящих газов и сточных вод.

Ключевые слова: катализатор, адсорбция, активированный уголь, силикагель, кварцевый порошок, очистка промышленных газов, вторичные материалы и ресурсы.

BASIC METHODS OF PREPARATION AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYCOMPONENT CATALYSTS

M. Idizoda, B.S. Saidzoda

This work is devoted to the study of the possibility of separating heterogeneous and homogeneous systems of semi-finished products and obtaining finished products using multicomponent catalysts in the purification of exhaust gases and wastewater.

Keywords: catalyst, adsorption, activated carbon, silica gel, quartz powder, industrial gas purification, secondary materials and resources.

Муқаддима

Катализ аз бисёр ҷиҳат тараққиёти техникаю иқтисодии саноати химиявиро муайян мекунад. Бинобар ин тадқиқоти фундаменталӣ ва амалӣ бояд бештар ба ҳама тарафа баҳтар намудани сифати катализаторҳои саноатӣ ва кашф намудани катализаторҳои нав нигаронида шавад. Саноат барои ҷуқуртар фаҳмидани равандҳои каталитикӣ бисёр ҳам ниёз дошта ва барои муайян кардани роҳҳои имконпазирӣ онҳо талаботи ҳудро дорад. Дар айни замон, дар саноат катализи гетерогенӣ бо истифода аз катализаторҳои саҳт бештар истифода мешавад.

Равандҳои ҷудокунӣ марҳилаҳои асосӣ буда ва дар технологияи истеҳсоли химиявӣ зуд-зуд во меҳуранд. Равандҳои ҷудокунӣ системаҳои якҷандчӯза ва якчӯза дар истеҳсоли ашёи хом, ҷудокунӣ маҳсулоти нимтайёр ва истеҳсоли маҳсулоти тайёр, инчунин дар тоза кардани газҳои ихроҷшуда ва партовобҳо ба таври васеъ истифода мешаванд [1].

Сатҳи болоии катализаторҳои саноатӣ одатан якҷинса нестанд, яъне хосияти марказҳои фаёли каталитикӣ гуногунанд. Ин метавонад ба раванди адсорбсияи ғашҳое, ки дар катализатор ҳам тасодуфӣ ва ҳам воридкардашуда таъсир расонад. Ба ин раванд фарқияти хосиятҳои паҳлӯҳои кристалл, нуқсонҳои панҷараҳои кристалл ва дигар омилҳо ҳам таъсири ҳудро мерасонанд. Азбаски ғангоми тайёр кардани катализатор, якҷинса набудан ба вучуд меояд. Ба ин раванд пас аз пешниҳоди С.З. Рочинский, раванди биографӣ ном гузоштан. Самараи таъсири мутақобилаи заррачаҳои адсорбсияшуда низ ҳамин тавр зухур менамоянд ва аз ин рӯ онҳоро ҳамчун раванди биографии сатҳ тавсиф мекунад.

Барои содда кардани тавзеҳот, раванди якҷинсаи биографии сатҳ ва индуктивияти таъсир муттаҳид карда шуда, сатҳ бо функцияи тақсимои дифференсиалии марказҳои фаёли каталитикӣ дар асоси қиматҳои энергияи адсорбсия тавсиф карда мешавад.

Агар дар натиҷаи реаксияи элементарӣ аз заррачаи адсорбсияшуда озод шудани маркази фаёли каталитикӣ ба вучуд ояд, пас дар реаксияи мувофиқаи элементарӣ самти муқобил доштани ишғоли маркази фаёл дида мешавад.

Дар баробари таъсири мутақобилаи заррачаҳо ба сатҳ, ки ҳамчун гетерогенӣ индуктивият ё бо истифода аз коэффисиентҳои фаёл тавсиф карда мешаванд, заррачаҳое, ки дар қабатҳои сатҳи катализатор ҷаббида мешаванд ва дар реаксия иштирок намекунанд, инчунин метавонанд ба хосиятҳои катализатор таъсир расонанд [13].

Зарраҳои моддаҳои бегонае, ки ба катализатор ворид карда мешаванд, метавонанд боиси зиёд ё кам шудани фаёлияти каталитикӣ шаванд. С.З. Рочинский пешниҳод кард, ки ин падида модификасияи катализатор номида шавад.

Боресков Г.К. [14] тағйироти константаҳои суръатро, ки дар натиҷаи автоматизатсия ба амал омадаанд ва тағйироти омилҳои кинетикии фаъолият барои реаксияҳои каталиктикии гетерогенӣ дар мафҳуми «таъсири омехтаи реаксия ба катализатор» муттаҳид менамояд. Тавсифи математикии кинетика аслан ҳамон тавре, ки дар модели сатҳи гетерогенӣ боқӣ мемонад; он то ҳол ба муносибати ҳаттии байни энергияи адсорбсия ва энергияи фаъолшавии реаксияҳои рӯи замин така мекунад. Равандҳои каталиктикии гетерогенӣ барои тоза кардани газҳои ихроҷшуда васеъ истифода мешаванд [15-16].

Масалан, дар кори [17] тоза кардани газҳои ихроҷшуда аз оксидҳои нитроген бо роҳи коҳиш додани метан бо назардошти катализаторҳои гурӯҳи платина дар 700-800°C ва бо оксиди карбон ва гидроген дар ҳарорати паст пешниҳод шудааст.

Барои тоза кардани миқдори зиёди газҳои ихроҷшуда, ки дорои камтар аз 0,1% оксидҳои нитроген мебошанд, дар кори [18] фаъолияти катализаторҳои оксидӣ, ки тавассути санҷиш кардани оксидӣ алюминийи саноатӣ бо маҳлулҳои $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ва ғайра омода карда шудаанд, омӯхта шудааст. Ба фикри муаллиф, ин гуна алоқа доштан нисбат ба катализаторҳои омехтаи оксидӣ бо афзоиши ҳарорат сохтори ковокии худро беҳтар нигоҳ медоранд ва устувортар мебошанд.

Бо мақсади интихоби катализатори фаъолтарин, концентратсияи Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO_2 ва K_2O аз ҷумла низоми воридкунии намак (концентратсияи маҳлули нитрат, ҳарорат ва фосилаи нигоҳдории дар маҳлул, суръати таркиб ва коркарди гармӣ) тағйир дода шуданд. Муайян карда шуд, ки дараҷаи барқароршавии NO бо назардошти Fe_2O_3 дар суръати ҳаҷмии 3000 г^{-1} ва 300°C ба 100% мерасад ва амалан аз миқдори Fe_2O_3 вобастагӣ надорад.

Дар кори [2, 3] нишон доданд, ки истифодаи ишқор ба катализатор ва коркарди минбаъдаи ҳароратӣ, ҳарорати барқароршавиро коҳиш медиҳад.

Умуман, яке аз се усул одатан барои тайёр кардани катализаторҳои бисёрчӯзба (дар асоси оксидҳои металлӣ) ва катализаторҳои дар таркибҳои рӯйпӯшкунанда ҷойгир карда (яъне «гузаронанда») истифода мешавад:

- таҳшоншавии якҷоя;
- ҷойгиршавии таҳшоншавии алоҳидаи тайёршуда;
- таркиби гузаранда бо назардошти хушкунӣ;
- ҷойгиркардан дар рӯйпӯшкунандаҳо, хушкунӣ ва коркарди ҳароратии онҳо.

Дар мақолаи нашршудаи [1] ду варианти дигари ин усулҳо оварда шудааст: таҳшоншавӣ бо назардошти гузаронанда ва коркарди гидротермикии омехтаи таҳшон. Камбудии умумии ин усулҳо он аст, ки дар як амалиёти ягона ба даст овардани шароити оптималӣ ҳам барои тайёр кардани ҳар як ҷузъи алоҳида ва ҳам барои ба даст овардани катализатори дорои хосиятҳои хуби структуравӣ ва механикӣ мебошад. Ҳангоми истифодаи гузаронандаи тайёр, ба даст овардани майдони калони мушаххаси фазаи фаъолро ғайриимкон месозад (аз ҷисоби ҷамъшавии зарраҳои гузаронанда ба кристалҳои нисбатан калон), дар ҳоле ки сохтори гузаронанда дар натиҷаи баста шудани микропораҳо тағйир ёфта, аксар вақт хосиятҳои механикии онро бад мекунад.

Усули тайёр кардани катализаторҳои бисёрчӯзба тавассути адсорбсияи идорашавандаи ҷузъҳо аз марҳилаи газ ба минтақаҳои гуногуни сатҳи дастгирии гетерогенӣ ин камбудихоро бартараф мекунад. Дар ин ҳолат, дар бари катализатор фазаҳои нави ҳаҷми ба вучуд намеоянд, балки дар он минтақаҳои сатҳи гузарандаи гетерогенӣ, ки барои ин мақсад бештар мувофиқанд, сохторҳои марказҳои фаъол ва устувор ба вучуд меоянд. Ин тақсимотро ҳангоми адсорбсияи ҷузъи фаъоли идорашаванда бо роҳи танзими ҳаҷми умумии он, тағйир додани ҳарорати адсорбсия ё бо роҳи пешакӣ бастани як қисми сатҳи маводи гузаранда бо моддаи ғайрифавол назорат кардан мумкин аст, ки баъдан онро хориҷ кардан мумкин аст.

Вобаста ба зиёд шудани миқдори партовҳои диоксидаи сульфат ба атмосфера, ки дар натиҷаи васеъ шудани истеҳсоли металлҳои гуногун ва кислотаи сульфат ба амал омадаанд ва иқтисоди зеристгоҳҳои электрикӣ, ки бо сузишвории дорои сулфур ва оксидҳои он кор мекунанд, кор карда баромадани усулҳои аз газҳо ҳосил кардани SO_2 вазифаи муҳим мебошад [4,5].

Ҳамин тариқ, тозакунии адсорбсияи газҳои саноатӣ аз SO_2 бо истифода аз адсорбентҳои гуногуни дорои карбон ҳамчун адсорбент самаранок истифода мешавад [5]. Дар кори [6] омӯзиши раванди адсорбсияи SO_2 бо нимкокҳои аз ангиштҳои қаҳваранг ва сангӣ гирифташуда муайян карда шудааст, ки ин адсорбентҳоро барои амиқи тоза кардани газҳои ихроҷшуда аз SO_2 ва коркарди омехтаҳои гази дорои миқдори ками диоксидаи сулфур истифода бурдан имконпазир мебошад.

Пешрафти усулҳои синтез ва васеъ намудани минтақаҳои истифодабарии маводҳои сорбсияи ғайриорганикӣ дар боркашонҳо бештар бо ҳалли масъалаҳои радиохимиявии тозакунии об ва маҳлулҳои гуногун алоқаманд аст [7-8].

Дар Донишқадаи политехникии Урал технологияи синтези сорбентҳои қабати тунуки ғайриорганикӣ дар асоси гидроксидҳо, ферросианидҳо, фосфатҳо, сульфидҳо ва дигар маводи сорбсионӣ бо истифода аз партовҳои коркарди тахта, карбони фаъолшуда, силикагелҳо ва хокаи кварс ҳамчун интиқолдиҳанда таҳия

карда шуд [9, 10, 112]. Нишон дода шуд, ки барои як ҷуфти сорбент-сорбат мавҷуд будани таркиби оптималии мушаххаси маводи сорбсия мавҷуд аст.

Маводҳои сорбсионӣ дар гузаронандаҳо бо афзалиятҳои зерин хосанд [13]:

- оддитарин раванди синтез бо истифода аз таҷҳизоти стандартӣ
- реакторҳо бо дастгоҳҳои омехта, полойшҳо;
- омезиши синтези маводи сорбсионӣ бо пайдоиши сорбентҳо (ба гузаронандаи грануладор ба кор андохтани маводҳо) зарурати раванди бисёрзинагиро аз байн мебарад;
- ҳосили фраксияи бор ҳангоми синтези мавод дар маводҳои гузаронанда ба 100% наздик мешавад;
- сарфи ками реагентҳои химиявӣ ҳангоми синтез аз ҳисоби бо қабати тунуки маводи сорбсионӣ пӯшонидани гранулаҳои маводҳои баранда; илова бар ин, реактивҳоро бо партовҳои дахлдори истехсолӣ иваз кардан мумкин аст;
- маводи сорбсионии дастгиришаванда бо кинетикаи хуби сорбсионӣ хос аст, ки он бо диффузияи сорбат ба донаҳои сорбент маҳдуд намешавад.

Хулоса

Аз ифлосшавӣ муҳофизат намудани муҳити зист ва оқилона истифода бурдани ашёи хоми табиӣ, хусусан аз ҳисоби пурратар ҳосил намудани маводҳои пурқимат бо истифодаи катализаторҳои бисёрҷузъа аз ҷумлаи масъалаҳои мубрамest, ки дар назди марҳалаи ҳозираи тараққиёти саноати химия ва металлургия истодаанд. Яке аз вазифаҳои муҳими ин марҳала безарар гардонидан ва нест кардани газҳои партови диоксиди сулфур мебошад.

*Муқаррир: Б.Н. Одиназода — н.и.т., дотсент, мудири қабедраи технологияҳои сарфачуии энергетикӣ ва захиравии
Филиали ДМТНП "МНСИ" дар ш. Душанбе*

Адабиёт

1. Норматов И.Ш., Шерматов Н., Мирсаидов У. Спектроскопическое и рентгенофазовое исследование продуктов взаимодействия атомов водорода с хлоридом олова //Физ. и хим. обраб. м-ов. 1992. №1. С. 75-77.
2. Вурзель Ф., Полак Л.С. Плазмохимия. М.: Наука. 1985. 48 с.
3. Русанов В.Д., Фридман А.А., Шолин Г.В. Физика химически активной плазмы с неравновесным колебательным возбуждением молекул //Успехи Физ. наук. 1981. Т.134. № 2. с. 185-235.
4. Шишкин Ю.А., Корин Н.Е., Зайко Н.Н., Ягжев В.В. Двухреакторная плазмохимическая установка для изучения реакций взаимодействия атомарного водорода с твердыми веществами на основе ВЧЕ - разряда с внешними электродными //Изв. СО АН СССР. Сер. хим. 1985. Вып. 4. С. 105-112.
5. Шоу Т. Применение электрического разряда для получения радикалов. В кн.: Образование и стабилизация свободных радикалов. М.: ИЛ. 1962. С.65-84.
6. Слепнев К.В. Бюро переводов ВИНТИ. Перевод № 6363317. 1967.
7. Гончар Н.И., Званцев А.В. Использование безэлектродного емкостного ВЧ-плазмотрона для нанесения тугоплавких диэлектрических покрытий //Теплофиз. вые. температур. 1976. Т. 14. № 4. С. 853-865.
8. Митин Р.В. Безэлектродные высокочастотные разряды при высоких давлениях. В кн.: Теория электрической дуги в условиях вынужденного теплообмена. Под ред. М.Ф.Жукова. Новосибирск: Наука. 1977. С.289-304.
9. Прошад Дж. Изучение влияние расстояния между пальцевыми электродами на эффект Джоши в высокочастотном разряде в парах йода //Ж. Физ. хим. 1981. Т.14. Вып.2. С.576-592.
10. Звягинцев А.В., Митин Р.В., Прядкин К.К. Безэлектродные емкостные разряды дугового типа //Ж. Тех.физики. 1975. Т.45. Вып.2. С. 278-285.
11. Современное состояние электропечестроения по материалам VII Международного конгресса по электротермии. Дуговой нагрев и новые виды нагрева (Обзорная информация). Под. ред. А.П.Альтгаузена. М.1975.
12. Гордон Е.Б., Пономарев А.Н., Тальрозе В.Д. Изучение вероятности рекомбинации атомарного водорода на различных поверхностях при низких концентрациях атомов в газовой фазе //Кинетика и катализ. 1966. Т.?. № 2. С. 577-582.
13. Лившиц А.И., Гутман Э.И., Мясников И.А., Фурса В.И. и др. Анализатор атомарного кислорода с полупроводниковыми чувствительными элементами для исследований верхней атмосферы земли. //Приборы и тех. экспер-та. 1981. № 3. С. 177-180.
14. Мясников И.А. Исследование гетерогенных химических процессов на границе твердое тело-газ //ДАН СССР. 1958. Т.120. С.1298-1301.
15. Цивенко В.И., Мясников И.А. Исследование промежуточных активных частиц в химически газовых реакциях методом полупроводниковых зондов //Ж.Физ.Хим. 1965. Т.39. С.2376-2379.

16. Поспехова И.Н., Мясников И.А. Исследование рекомбинации атомов зондов //Кинетика и кализ. 1966. Т.7. Вып. 2. С. 195-201.
17. Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неодноразрядных газов. Перевод с англ. М.: ИЛ.1960. 310 с.
18. Волькенштейн Ф.Ф., Горбань А.Н., Соколов В.А. Радикалорекомбинационная люминесценция полупроводников. М.: Наука. 1976. 286 с.

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

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Идизода Маҳмадризвон н.и.т., дотсент | Идизода Маҳмадризвон к.т.н., доцент | Idizoda Makhmadrizvon 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 |
| TJ | RU | EN |
| Саидзода Баҳриддин Саид Номзади илмҳои техники, ичроқунандаи вазифаи дотсент | Саидзода Баҳриддин Саид Кандидат технических наук, и.о. доцент | Saidzoda Bahriddin Said Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E. mail: Baha_1218@mail.ru | | |

НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT

УДК: 629.113

DOI: 10.65599/GCOK1719

**НАДЁЖНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМОБИЛЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА УКЛОНАХ****Р.А. Давлатшоев**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассмотрены вопросы оценки запаса устойчивости и надёжности тормозных систем автомобилей, эксплуатируемых в горных условиях. На примере автомобиля Mercedes-Benz W211 произведены расчёты коэффициента устойчивости к перегреву, рассмотрены вероятностные характеристики надёжности, а также обоснованы конструктивные и эксплуатационные меры, направленные на повышение устойчивости и надёжности тормозной системы в условиях перегрузок и термического воздействия.

Ключевые слова: тормозная система, термонагруженность, коэффициент устойчивости, надёжность, фейдинг, Mercedes-Benz W211, горные условия, тепловой анализ.

**ЭЪТИМОДНОКӢ ВА ҚОБИЛЯТИ КОРИИ СИСТЕМАИ БОЗДОРӢИ АВТОМОБИЛ ҲАНГОМИ
ҲАРАКАТ ДАР РОҲҲОИ НИШЕБ****Р.А. Давлатшоев**

Дар мақола масъалаҳои баҳодиҳии захираи устуворӣ ва эътимоднокии системаи боздории автомобилҳое, ки дар шароити қўҳӣ истифода мешаванд, баррасӣ шудаанд. Дар асоси мисоли автомобили Mercedes-Benz W211 ҳисобҳои коэффициентҳои устуворӣ нисбат ба ҳароратгузаронӣ анҷом дода шуда, нишондиҳандаҳои эҳтимолии эътимодноқӣ таҳлил гардида, инчунин чораҳои конструктивӣ ва истифодабарӣ барои баланд бардоштани устуворӣ ва эътимоднокии системаи боздорӣ дар шароити бори изофӣ ва таъсири ҳароратӣ асоснок карда шудаанд.

Калидвожаҳо: системаи боздорӣ, ҳароратгузаронӣ, коэффициентҳои устуворӣ, эътимодноқӣ, фейдинг, Mercedes-Benz W211, шароити қўҳсор, таҳлили ҳароратӣ.

**RELIABILITY AND OPERABILITY OF THE VEHICLE'S BRAKING SYSTEM WHEN DRIVING ON
INCLINES****R.A. Davlatshoev**

The article addresses the issues of evaluating the stability margin and reliability of automotive braking systems operating in mountainous conditions. Using the Mercedes-Benz W211 as an example, calculations of the thermal stability coefficient were performed, probabilistic reliability characteristics were analyzed, and design and operational measures aimed at improving the system's resistance to overloads and thermal effects were substantiated.

Keywords: brake system, thermal loading, stability coefficient, reliability, fading, Mercedes-Benz W211, mountainous conditions, thermal analysis.

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения в условиях сложного рельефа, особенно на горных участках, остаётся одной из приоритетных задач при проектировании, выборе и эксплуатации автотранспортных средств (АТС). Эксплуатация в горной местности сопровождается резкими перепадами высот, затяжными спусками, многократными торможениями, а также неблагоприятными климатическими условиями, что в совокупности обуславливает повышенные требования к эффективности, надёжности и устойчивости тормозных систем.

Одним из наиболее значимых факторов, ограничивающих работоспособность тормозных механизмов при движении на затяжных спусках, является их термическая нагруженность. Повышенная тепловая энергия, выделяемая при длительном торможении, приводит к перегреву рабочих поверхностей, снижению коэффициента трения, изменению усилий в контуре торможения и увеличению риска отказов. Кроме того, наблюдается ускоренный износ фрикционных элементов, тепловая деформация деталей и ухудшение управляемости автомобиля, особенно при наличии перегруза или в условиях высокой внешней температуры.

Для обеспечения безопасной и надёжной эксплуатации транспортных средств на горных дорогах необходимо обеспечить как термическую устойчивость тормозного процесса — способность системы сохранять работоспособность при термической и эксплуатационной нагрузке, так и надёжность — способность функционировать безотказно в течение заданного ресурса.

В связи с этим актуальной задачей является разработка и применение методов количественной оценки запаса устойчивости и надёжности тормозных систем. В данной статье произведена оценка соответствующих параметров на примере легкового автомобиля Mercedes-Benz W211, находящегося в эксплуатации в условиях горной местности.

Рассматриваются расчётные зависимости, отражающие влияние температуры, режимов нагрузки и характеристик тормозных усилий на устойчивость тормозной системы. Кроме того, выполнена оценка вероятностных характеристик надёжности и предложены конструктивные и эксплуатационные мероприятия,

направленные на повышение тепловой стойкости и общей работоспособности тормозных механизмов при высоких температурах и перегрузках.

Исследовательская часть

1. Оценка устойчивости тормозной системы

Одним из критически значимых факторов, определяющих эффективность и надёжность торможения в горных условиях, является способность тормозной системы противостоять термическому перегрузу. В условиях затяжных спусков тормозные механизмы автомобиля подвергаются значительным тепловым воздействиям, в результате чего возникает риск фэйдинга — снижения коэффициента трения вследствие перегрева. Для оценки термоустойчивости используется коэффициент устойчивости, позволяющий определить, насколько фактические температуры в тормозной системе удалены от предельно допустимых значений [1, 3-4].

Оценка запаса устойчивости тормозной системы к внешним эксплуатационным воздействиям (перегрев, износ, перегрузка) осуществляется на основе количественного показателя — коэффициента устойчивости, который позволяет определить степень приближенности фактических эксплуатационных параметров к их предельным значениям.

Коэффициент устойчивости Куст определяется как отношение максимально допустимого значения рабочего параметра, установленного нормативными документами или производителем, к фактическому значению данного параметра в условиях эксплуатации:

$$K_{уст} = \frac{X_{пред}}{X_{факт}}, \quad (1)$$

где: $X_{пред}$ — предельное значение рабочего параметра, установленное производителем или нормативным документом (температура, давление, износ); $X_{факт}$ — фактическое значение параметра в реальных условиях

Таблица 1 — Исходные параметры для расчёта

| Параметр | Обозначение | Значение |
|------------------------------------|----------------|------------------------|
| Материал диска | СЧ20 или G3000 | Чугун |
| Плотность материала | ρ | 7200 кг/м ³ |
| Удельная теплоёмкость | c_m | 0.447 кДж/кг·°C |
| Масса одного переднего диска | m_t | 5.6 кг |
| Теплота, выделяемая при торможении | Q_t | 145 кДж |
| Начальная температура | $T_{нач.}$ | 320 °C |
| Предельно допустимая температура | $T_{пред.}$ | 500 °C |

1.1. Определение температурного приращения диска

Поскольку тормозной диск аккумулирует значительную часть тепловой энергии, выделяющейся в процессе трения, для оценки температурного воздействия используется базовое уравнение теплового баланса:

$$\Delta T = \frac{Q_t}{c_m \cdot m_t} \quad (2)$$

Подставляя численные значения:

$$\Delta T = \frac{145000}{447000 \cdot 5.6} = \frac{145000}{2503200} = 0.0579 \cdot 10^3 = 57.9^\circ C$$

Таким образом, в результате одного торможения температура тормозного диска увеличивается приблизительно на 58 °C.

1.2. Определение фактической температуры рабочей поверхности

Полагая, что начальная температура диска до начала торможения составляет $T_{нач}=320^\circ C$, можно определить итоговую температуру после одного тормозного цикла:

$$T_{факт.} = T_{нач.} + \Delta T = 320^\circ C + 58^\circ C = 378^\circ C$$

1.3. Оценка коэффициента тепловой устойчивости

Коэффициент устойчивости по температурному критерию рассчитывается следующим образом:

$$K_{уст} = \frac{T_{пред}}{T_{факт}} = \frac{500^\circ C}{378^\circ C} = 1.32$$

1.4. Интерпретация полученного результата:

Полученное значение $K_{уст} \approx 1.32$ свидетельствует о наличии запаса термоустойчивости, что указывает на способность тормозной системы выдерживать текущие режимы нагрева без потери функциональности. Однако при увеличении длительности торможения, частоте тормозных циклов или росте внешней температуры окружающей среды возможно снижение данного коэффициента ниже критического уровня $K_{уст}=1$, за которым возникает термическая нестабильность (фейдинг). Таким образом, уже при $T_{факт} > 500^\circ\text{C}$ тормозная система будет функционировать в режиме перегрузки с риском снижения тормозных свойств.

2. Оценка надёжности тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz W211

Надёжность тормозной системы — это её способность сохранять работоспособность при различных режимах эксплуатации и выполнять заданные функции (замедление, остановка транспортного средства) без отказов на протяжении определённого времени или пробега. В условиях горной эксплуатации, где тормозная система подвергается интенсивным нагрузкам, оценка надёжности становится критически важной для обеспечения безопасности движения [2].

2.1. Вероятностные показатели надёжности

В рамках анализа были использованы методы теории надёжности, основанные на статистической обработке наблюдаемых отказов тормозной системы в автопарке, состоящем из 10 автомобилей марки Mercedes-Benz W211, эксплуатируемых в течение одного сезона.

Исходные данные:

- Общее количество автомобилей: $N=10$
- Время наблюдения: $T=200$ часов
- Число зафиксированных отказов: $n=3$

2.2. Интенсивность отказов λ

Интенсивность отказов показывает среднее количество отказов тормозной системы на единицу времени эксплуатации одного объекта. Она рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{n}{T \cdot N} \quad (3)$$

n — число зафиксированных отказов, T — время наблюдения, N — количество исследуемых объектов.

Подставляя значения:

$$\lambda = \frac{3}{200 \cdot 10} = \frac{3}{2000} = 0.0015 \frac{1}{ч}$$

Это значение отражает устойчиво низкий уровень отказов при условии своевременного обслуживания и корректной эксплуатации.

2.3. Среднее время безотказной работы (MTTF, $T_{ср}$)

Показатель $T_{ср}$ (Mean Time To Failure) определяет среднее время, в течение которого система функционирует безотказно. Он определяется как величина, обратная интенсивности отказов:

$$T_{ср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.0015} = 666,7 \text{ ч.}$$

Таким образом, тормозная система Mercedes-Benz W211 в исследуемых условиях работает без отказов в среднем около **667 часов**, что является удовлетворительным показателем с учётом эксплуатационной нагрузки на горных маршрутах.

Результаты расчётов коэффициента устойчивости $K_{уст}$ в зависимости от температуры при различных массах тормозного диска представлены в таблице 2 [5].

Таблица 2- Изменение коэффициента устойчивости $K_{уст}$ в зависимости от температуры при различных значениях массы тормозного диска

| $T_{факт}, ^\circ\text{C}$ | $K_{уст}$, масса диска 4.5 кг | $K_{уст}$, масса диска 5.6 кг | $K_{уст}$, масса диска 7.0 кг |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 300 | 1,33 | 1,42 | 1,47 |
| 350 | 1,22 | 1,29 | 1,33 |
| 400 | 1,12 | 1,17 | 1,21 |
| 450 | 1,03 | 1,07 | 1,10 |
| 500 | 0,95 | 0,98 | 1 |
| 550 | 0,88 | 0,91 | 0,93 |
| 600 | 0,82 | 0,85 | 0,86 |

В рамках исследования построен график (рис.1), иллюстрирующий поведение тормозной системы при различных режимах эксплуатации.

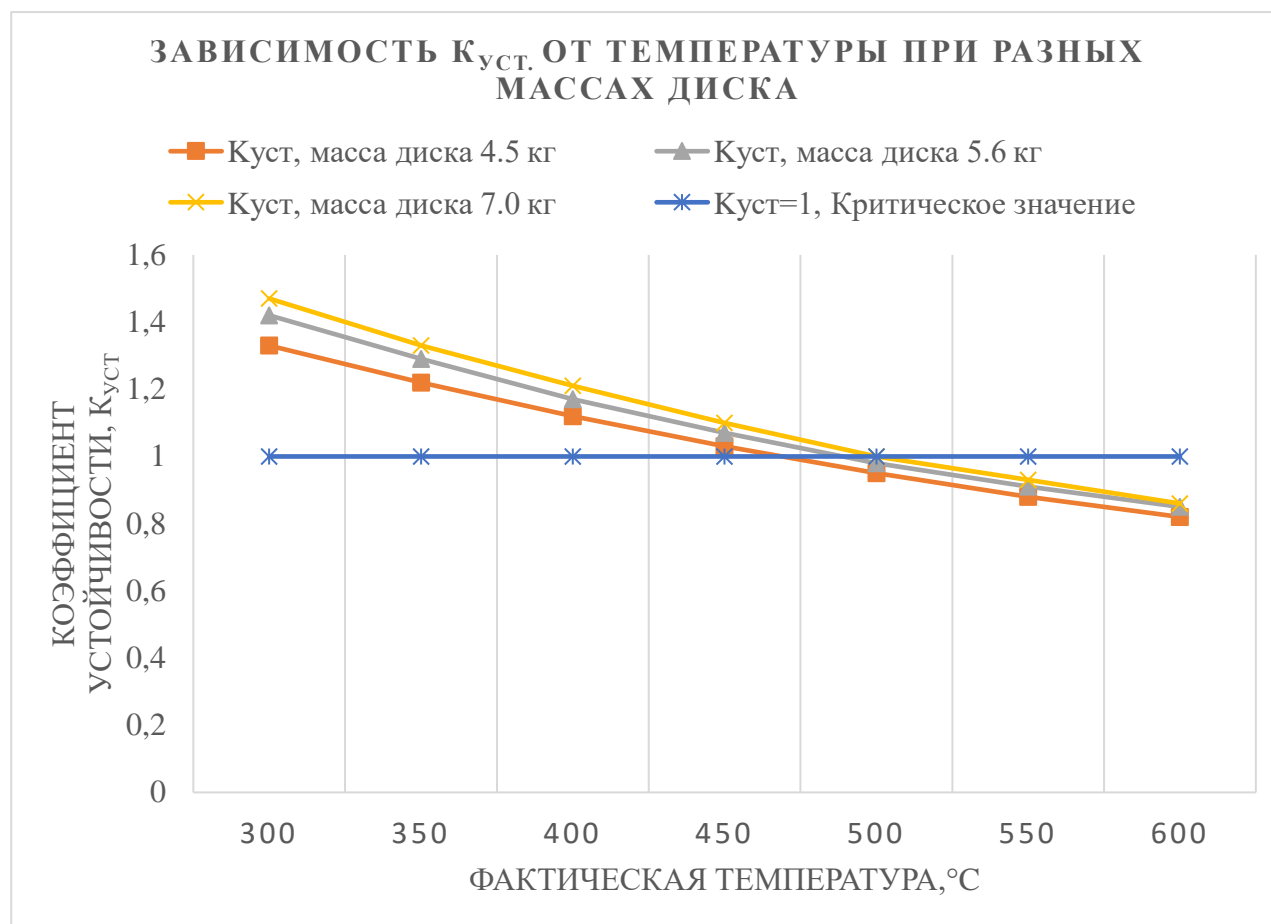


Рисунок 1 – Зависимости коэффициента устойчивости $K_{уст}$ от температуры при различных значениях массы тормозного диска.

Установлено, что увеличение массы диска способствует росту коэффициента устойчивости за счёт большей тепловой инерции.

При $K_{уст} < 1$ система уже работает за пределами допустимого теплового ресурса — это зона потенциального отказа (фейдинг).

По результатам расчётов, приведённых в таблице 2, построен график (рис.2) зависимости интенсивности отказов λ от времени эксплуатации.

Таблица 3- Интенсивность отказов λ в зависимости от времени эксплуатации

| Время наблюдения, ч | Интенсивность отказов λ , 1/ч |
|---------------------|---------------------------------------|
| 50 | 0,006 |
| 100 | 0,003 |
| 150 | 0,002 |
| 200 | 0,0015 |
| 250 | 0,0012 |
| 300 | 0,001 |
| 350 | 0,00086 |
| 400 | 0,00075 |
| 450 | 0,00067 |
| 500 | 0,0006 |

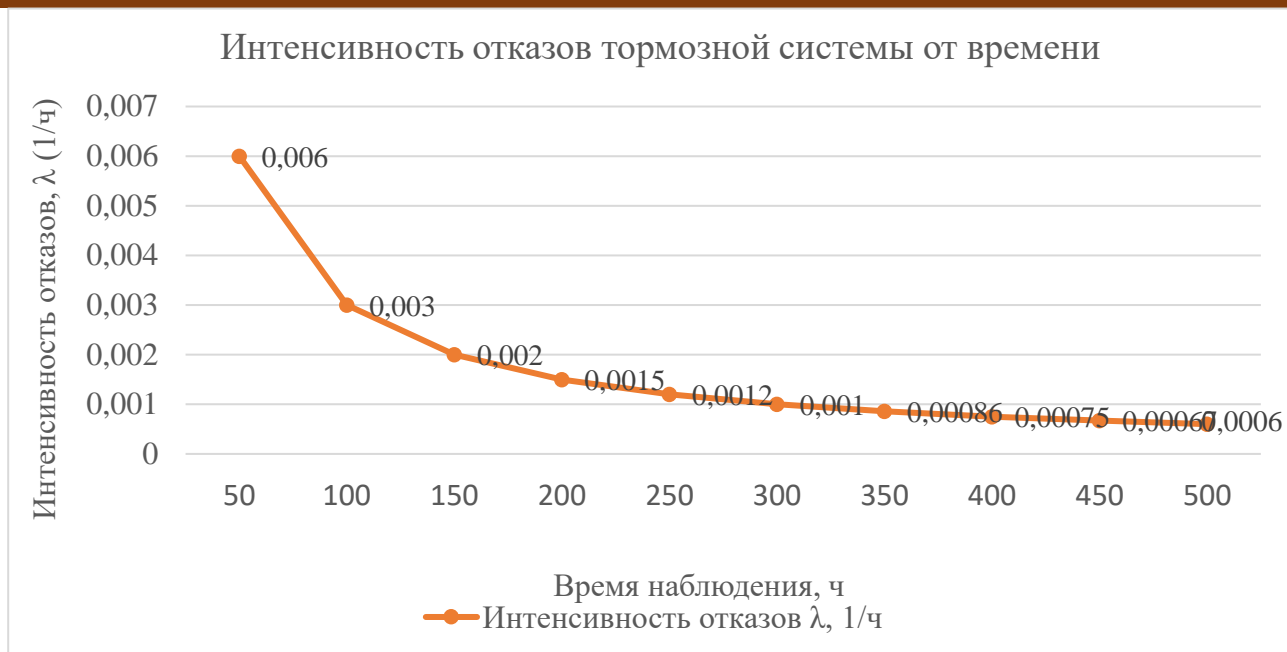


Рисунок 2-Зависимость интенсивности отказов тормозной системы от времени эксплуатации

Показано, что при росте времени наблюдения интенсивность отказов стабилизируется на уровне менее 0.002 1/ч.

2.4. Диаграмма фейдинга: снижение коэффициента трения μ при росте температуры

Диаграмма, отражающая снижение коэффициента трения тормозной системы с ростом температуры поверхности, построена на основе следующей расчётной модели:

$$\mu = 0,45 - 0,0015 \cdot (T - 300)$$

- μ — коэффициент трения между колодкой и тормозным диском;
- T — температура рабочей поверхности тормозного диска (в °C);
- 0,45 — исходное значение коэффициента трения при температуре 300 °C;
- 0,0015 — эмпирический коэффициент снижения трения с повышением температуры [6];
- $(T-300)$ — превышение температуры над базовым уровнем.

Результаты расчётов представлены в таблице 4 и отображены на графике (рис.3).

Таблица 4 - Снижение коэффициента трения тормозной системы при росте температуры поверхности

| Температура, °C | Коэффициент трения μ |
|-----------------|--------------------------|
| 350 | 0,375 |
| 400 | 0,300 |
| 450 | 0,225 |
| 500 | 0,150 |
| 550 | 0,075 |
| 600 | 0 |

Диаграмма, иллюстрирующая снижение коэффициента трения в зависимости от температуры, демонстрирует нарастание эффекта фейдинга при превышении пороговых температур.

Начиная с температуры около **500 °C**, коэффициент трения приближается к критическим значениям (0.3 и ниже), что указывает на наступление **фейдинга** — резкого ухудшения тормозной эффективности.

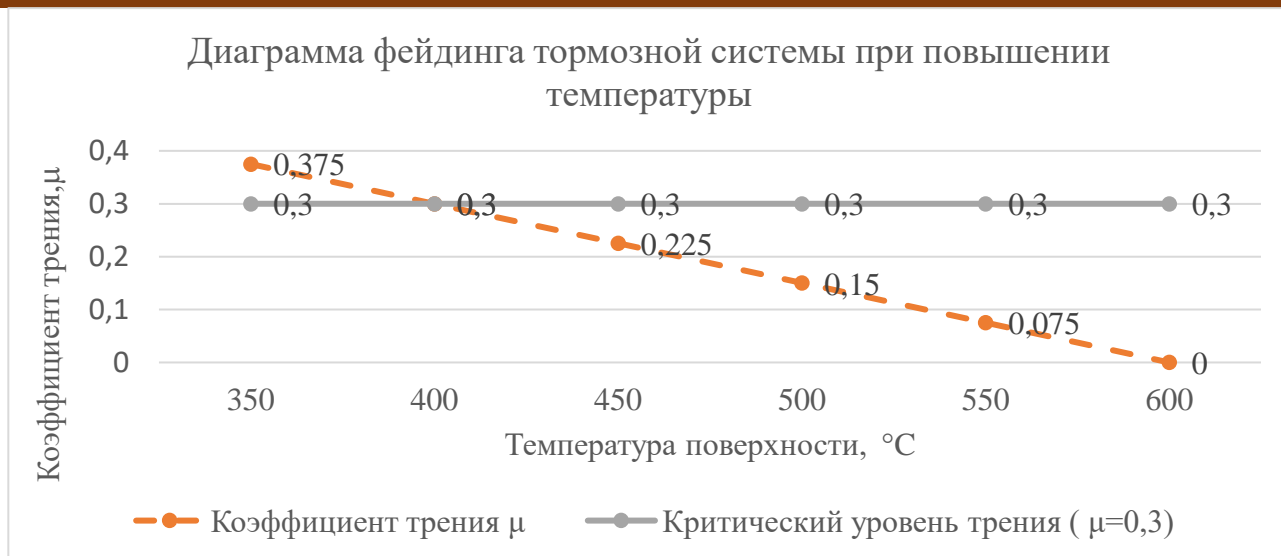


Рисунок 3- Диаграмма фейдинга: снижение коэффициента трения в диапазоне температур 350–600 °C

2.5.Повышение устойчивости и надёжности тормозной системы

Анализ эксплуатационных и конструктивных факторов позволяет выделить ряд направлений, способствующих увеличению запаса надёжности и устойчивости тормозной системы:

- Применение вентилируемых и термостойких тормозных дисков, которые обеспечивают эффективный отвод тепла и устойчивость к перегреву при многократных торможениях (в том числе уже реализовано в модели W211);
- Установка температурных датчиков в тормозных суппортах для мониторинга тепловой нагрузки в реальном времени;
- Наличие электронных систем ABS и EBD, обеспечивающих автоматическое распределение тормозных усилий и предотвращение блокировки колёс;
- Регулярное техническое обслуживание, включающее проверку уровня тормозной жидкости, состояния колодок и герметичности гидроприводов;
- Увеличение площади охлаждения тормозных механизмов за счёт направляющих воздухопроводов или применения композитных защитных щитков.

Эти меры позволяют существенно повысить как отказоустойчивость, так и термическую стабильность тормозной системы при эксплуатации в горных условиях.

На основании проведённых расчётов и анализа получены следующие выводы:

1. Проведённая количественная и графическая оценка показала, что тормозная система автомобиля Mercedes-Benz W211 обладает допустимым запасом устойчивости и удовлетворительными показателями надёжности при эксплуатации в горных условиях.
2. Основным риском функционирования системы является **фейдинг**, возникающий при температурах выше 500 °C, что требует конструктивных и эксплуатационных решений по усилению теплоотвода.
3. Вероятностный анализ надёжности показал среднее время безотказной работы порядка 667 часов, что соответствует допустимым нормам при условии регулярного технического обслуживания.
4. Для повышения надёжности рекомендуется внедрение систем активного контроля температуры, а также проведение профилактических мероприятий, направленных на предотвращение критических состояний тормозной системы.

Рецензент: Холов Давлатали — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация гидромелиоративных систем» Таджикского аграрного университета имени Ш. Шохрета.

Литература

1. Давлатшоев, Р. А. Влияние термонагруженности на эффективность тормозных систем в горных условиях / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 1(69). – С. 99-105. – EDN XQCUZZ.
2. Кудрявцев В.П., Кононов А.И. Безопасность движения и надёжность тормозных систем. — М.: Транспорт, 2017. — 352 с.
3. ЕЭК ООН. Правила №13. Требования к тормозным системам автотранспортных средств.

4. ISO 26262: Road vehicles — Functional safety. — Geneva: ISO, 2018.
5. Mercedes-Benz. Service Manual W211: Brake System Overview. — Stuttgart: Daimler AG, 2010.
6. Bellini, C. et al. — “Temperature Influence on Brake Pad Friction Coefficient Modelisation” (Materials, 2024).

**МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT
THE AUTHOR**

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Давлатшоев Рашид Асанхонович | Давлатшоев Рашид Асанхонович | Davlatshoev Rashid Asankhonovich |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент | к.т.н, доцент | Candidate of Technical Sciences, Associate Professor |
| E mail: d_rashid71@mail.ru | | |

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПОРШНЕВОГО МЕХАНИЗМА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ХОДОМ ПОЛЗУНА

Б.Н. Акрамов, И.А. Исматов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Механизмы с изменяемым движением выходного звена (линейный ход ползуна) позволяют существенно упростить конструкцию ДВС машин различного назначения, устранить дроссельный механизм, регулировать поступление топлива в цилиндр и значительно сократить потери на трение. Значительные нагрузки и высокие скорости разрешают применение только рычажных механизмов. Учитывая требования к простоте конструкции, нужное движение можно получить только с помощью восьмизвенных рычажных механизмов. Приведены примеры перспективных схем соответствующих механизмов.

Ключевые слова: механизм с изменяемым движением выходного звена, рычажные механизмы, структурный анализ, минимизация числа звеньев и числа кинематических пар, структурная группа Ассура, две поступательные пары 5-го класса, регулирующее воздействие.

КОРКАРДИ НАҚШАҲОИ МЕХАНИЗМҲОИ ПОРШНЕВӢ БО ТАЪГИРӢБИИ ГАШТИ ПОЛЗУН

Б.Н. Акрамов, И.А. Исматов

Механизмҳо бо ҳаракати таъғирёбандаи звенои баромад (гашти ҳаттии ползун) имконияти содда намудани соҳти муҳаррикҳои дарунсузи мошинҳои табиноти гуногун дошта аз ҳисоби бартараф намудани механизми дроселӣ, танзим намудани воридшавии сузишвори дар дохили цилиндр ва камшавии назарраси талафёби ба қувваи соиш имконият медиҳанд. Қувваҳо ва суръатҳои баланди назарасро танҳо аз истифодаи механизмҳои фашангдор иҷозат медиҳанд. Талаботҳо онди содда будани соҳти ҳаракати заруриро ба инобат гирифта танҳо бо ёрии механизмҳои ҳашт звенодори фашангдор ба даст овардан мумкин аст. Мисолҳои нақшаҳои перспективи механизмҳои мавҷудбуда оварда шудаанд.

Вожаҳои калиди: механизм бо таъғирдодани ҳаракати звенои баромад, механизми фашангдор, таҳлили сохтори, адади звеноҳо ва ҷуфтҳои кинематикӣ то ҳадди минемалӣ, гуруҳи сохтори Ассур, ду ҷуфти нешравандаи панҷум синфи, таъсироти танзимишаванда.

DEVELOPMENT OF A PISTON MECHANISM SCHEME WITH VARIABLE STROKE OF THE RAM

B.N. Akramov, I.A. Ismatov

Mechanisms with variable output link motion (linear stroke of the slider) allow to simplify the design of internal combustion engines of various purposes by eliminating the throttle mechanism, regulating the fuel supply to the cylinder and significantly reducing friction losses. Significant loads and high speeds allow the use of only lever mechanisms. Taking into account the requirements for simplicity of the design, the desired motion can only be obtained using eight-link lever mechanisms. Examples of promising schemes of the corresponding mechanisms are given.

Keywords: mechanism with variable output link motion, lever mechanisms, structural analysis, minimization of the number of links and the number of kinematic pairs, Assur structural group, two translational pairs of the 5th class, regulating action.

Механизмы с изменяемым движением выходного звена (угол колебания коромысла, линейный ход ползуна) имеют теоретический и практический интерес, т.к. относятся к группе нечасто рассматриваемых механизмов с адаптивным движением. В статье рассматривается вопрос разработки схемы поршневого механизма с изменяемым движением выходного звена на основе структурного анализа.

Механизмы с переменным движением выходного звена позволяют регулировать движение этого звена в соответствии с появившейся необходимостью. Это позволяет им работать в технических устройствах (машинах, механизмах, оборудовании и т.п.) с переменными нагрузками и варьируемыми рабочими скоростями. В качестве примера можно привести кривошипно – ползунный механизм ДВС транспортных и дорожно - строительных средств - автомобилей, тракторов, подъемных кранов, погрузчиков, бульдозеров и т.п. Здесь перед ДВС возникает проблема обеспечения соответствия мощности двигателя (рабочей силы строительного устройства) с внешней нагрузкой (условиями окружающей среды, среди которой происходит движение транспортного средства или работа дорожно – строительной машины).

В существующих конструкциях соответствующих ДВС в основном применяется механизм с нерегулируемым движением поршня силового цилиндра. Согласование (соответствие) мощности двигателя с изменением внешней нагрузки осуществляется за счет специального устройства – устройства, которое регулирует поток топлива путем перекрытия впускного канала с помощью дроссельной заслонки. Использование механизма с регулируемым движением ползуна позволили бы устранить дроссельную заслонку из системы и тем самым увеличить КПД механизма ДВС (причем это было бы существенное упрощение конструкции технической системы и существенное улучшение работы механизма). При уменьшении хода ползуна двигатель будет всасывать меньшее количество топливной смеси, соответствующее работе при малых внешних нагрузках. При увеличении же внешней нагрузки последует переход к увеличенному ходу ползуна с соответствующим увеличением количества топлива, поступающего в цилиндр. Кроме того, положительным будет эффект от устранения гидравлических и механических потерь на

трение в механизме дроссельной заслонки, потерь на трение в кинематической паре поршень – цилиндр, потерь на трение от уменьшения хода поршня и т.д. [1-2].

В настоящее время наиболее часто применяется четырехзвенный кривошипно – ползунный механизм (КПМ) с фиксированным ходом ползуна (рис.1).

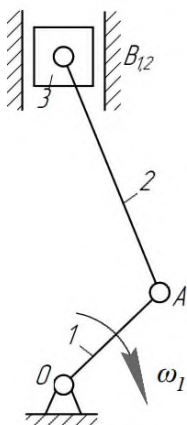


Рисунок 1 – Схема четырёхзвенного КП-4

Кроме этой схемы, есть еще несколько вариантов схем для четырехзвенных механизмов (рис.2), но ни один из них нам не подходит – или нет поступательного движения выходного звена или это движение фиксированное.

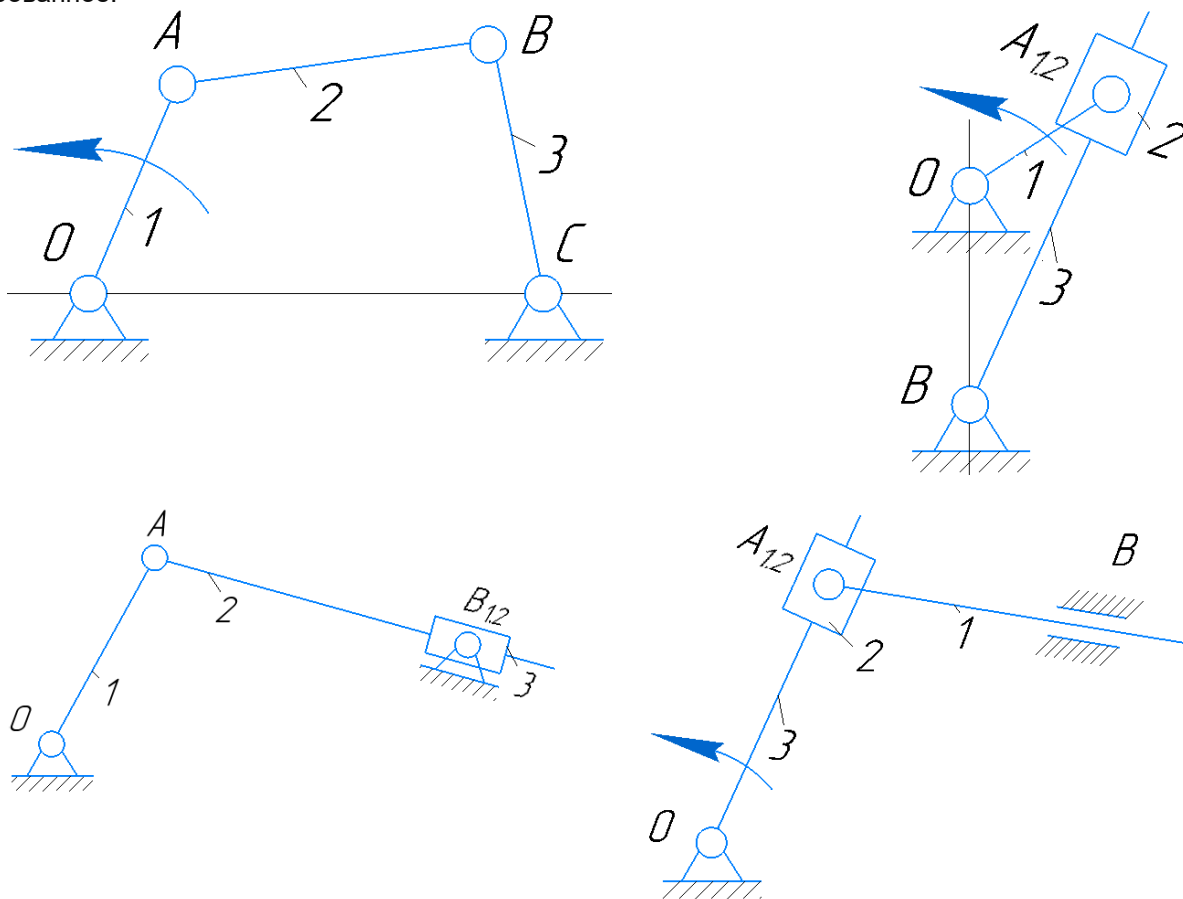


Рисунок 2 – Схемы четырёхзвенных рычажных механизмов

Итак, для получения механизма с регулируемым движением выходного ползуна четырехзвенные механизмы не подходят – необходимо большое число звеньев в механизме с соответствующим увеличением числа кинематических пар, их соединяющих (между собой и с неподвижным звеном – стойкой).

Большое число звеньев, с другой стороны, приведет к увеличению массы механизма и соответственно инерционной нагрузке на механизм, что нам совсем невыгодно – нам нужны легкие и экономичные машины и устройства. Поэтому введем ограничения на структуру искомого механизма – минимальное число звеньев и кинематических пар в механизме. Этому условию удовлетворяют шестизвенные и восьмизвенные рычажные механизмы.

Комбинированные механизмы (включающие звенья типа кулачок или типа зубчатое колесо) мы рассматривать не будем, т.к. механизмы транспортных и дорожно – строительных машин обычно работают с огромными нагрузками, и здесь применимы только низшие кинематические пары – вращательная и поступательная пары 5-го класса с элементами поверхности или плоскости. Другими словами, это можно сказать так – мы будем иметь дело только с рычажными механизмами.

Шестизвенный рычажный механизм можно создать на основе СГА (стандартная группа Ассура) второго класса или третьего класса третьего порядка (рис.3). В механизме должно быть минимальное число поступательных пар 5-го класса, т.к. потери на трение в такой паре намного превышают потери на трение во вращательной паре 5-го класса. Итак, примем, что число поступательных пар 5-го класса в механизме не должно превышать двух (одна – это существующая пара поршень – цилиндр и одна пара может иметь место в регулирующей части цепи механизма) [3-5].

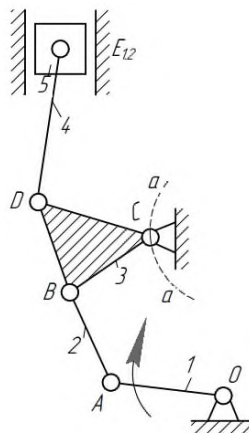


Рисунок 3 – Схема перспективного шестизвенного рычажного механизма

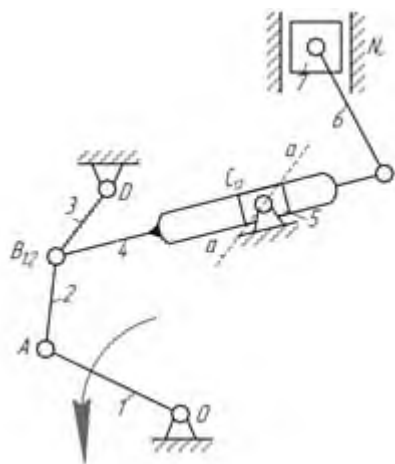
Входное звено – кривошип 1 имеет вращательное движение – оно движется с огромными скоростями и на него действуют очень большие нагрузки. Выходное звено ползун движется поступательно по нужному закону. Шатун, приводящий в движение поршень, имеет плоскопараллельное (сложное) движение. Ни одно из этих звеньев не годится на роль регулирующего фактора (звена или группы звеньев). Регулирующий фактор (кинематическая цепь из звеньев и кинематических пар) должен быть связан со стойкой (неподвижное звено) – удобно для регулирования за счет изменения конфигурации или положения стойки (относительно подвижного звена подобное регулирование чрезвычайно сложно). К сожалению, анализ структуры шестизвенных механизмов показывает, что ни одна такая схема (шестизвенная) не отвечает предъявляемым требованиям. Например, показанный на рис.3 шестизвенный механизм второго класса второго порядка имеет звено 3, связанное со стойкой вращательной парой С 5-го класса. Ни при каком перемещении пары С по плоскости движения невозможно получить регулируемый ход выходного ползуна 5 [6-8].

Структурный анализ восьмизвенных механизмов (из СГА второго класса второго порядка и третьего класса четвертого порядка) дает несколько пригодных, а точнее говоря перспективных схем, одна из которых показана на рис.4.

$$W = 3 * 7 - 2 * 10 - 1 * 0 = 1$$

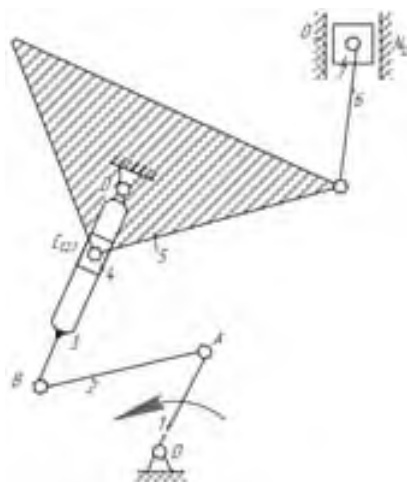
а) Механизм 3-го класса 3-го порядка

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$$



б) Механизм 2-го класса 2-го порядка

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$$



в) Механизм 3-го класса 4-го порядка

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$$

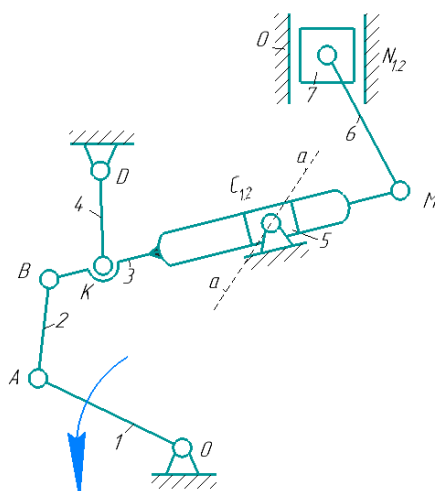


Рисунок 4 – Перспективные схемы восьмизвенных рычажных механизмов

На рис.4 условно (штрих – пунктирной линией) показана траектория регулирующего воздействия. Реально эта траектория должна подбираться путем физического моделирования (на этапе проектирования достаточно картонной модели). Для более точного результата моделирование траектории регулирующего воздействия должно проводиться аналитически, с включением вида траектории в алгоритмы проектирования.

Выводы

Для получения схем поршневых механизмов с регулируемым движением выходного ползуна для ДВС транспортных и дорожно – строительных машин проведен структурный анализ различных схем рычажных механизмов. В четырехзвенных и шестизвенных механизмах нет возможности получения искомого движения. Для восьмизвенных рычажных механизмов есть возможность получения регулируемого движения путем

регулирующего воздействия по определенной траектории на звено, связанное со стойкой. Предложен ряд перспективных схем подобных механизмов.

Рецензент: Тўйчиев Н. – к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов» ТТТУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Баландин С. С. Бесшатунные поршневые двигатели внутреннего сгорания. Учебник для вузов / Баландин С. С. - М.: Машиностроение, 1968. - 152 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. учебник для вузов / И.И. Артоболевский; под редакцией В.А. Зиновьев, Н.В. Сперанский - Москва: Изд-во Наука, 1975 - 640с.
3. Тимофеев Г. А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов / Г. А. Тимофеев - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2024. - 432с.
4. Фролов К.В. Теория механизмов и механики машин: учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов; под редакцией К.В. Фролова: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. -664с. ISBN 5-7038-1766-8.
5. Коловский М. З. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов по машиностроит. спец. / М.З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008-460с.
6. Матвеев Ю.А. Матвеева Л.В. Теория машин и механизмов: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Матвеев, Л.В. Матвеева - М.: Альфа - М, ИНФРА-М 2009 - 320 с. ISBN 978-5-98281-150-9
7. Вереина Л.И. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. И. Вереина, М. М. Краснов. — 7-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 352 с. ISBN 978-5-4468-0036-0
8. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин. учебник для вузов / Кожевников С. Н. - М.: Машиностроение, 1973. - 592 с.

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

| TJ | RU | EN |
|--|--|--|
| Акрамов Бахром Ниязович н.и.т., дотсенти кафедраи «Љузъҳои мошин ва мошинҳои соҳумонию роҳсозӣ» | Акрамов Бахром Ниязович к.т.н., доцент кафедры «Детали машин и строительно-дорожные машины» | Akramov Bakhrom Nijazovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Parts and Road Construction Machines. |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| TJ | RU | EN |
| Исматов Исмоилҷон Аҳмадович н.и.т., иҷро кунандаи вазифаи дотсенти кафедраи «Љузъҳои мошин ва мошинҳои соҳумонию роҳсозӣ» | Исматов Исмоилджон Ахмадович к.т.н., исполняющий обязанности доцента кафедры «Детали машин и строительно-дорожные машины» | Ismatov Ismoiljon Akhmadovich Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Machine Parts and Road Construction Machines |
| 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: ismatov.ismoiljon@mail.ru | | |

ЗАДАЧИ ПО УЛУЧШЕНИЮ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА

С.Б. Мирзозода, Ж.И. Содиков, Ф.С. Мирзоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В горных условиях Таджикистана содержание и развитие сети автомобильных дорог общего пользования требует комплексного подхода, учитывающего как особенности рельефа, так и ограниченные бюджетные ресурсы. В статье рассмотрены ключевые задачи по улучшению состояния автодорожной инфраструктуры, включая приоритизацию участков, расчёт необходимого финансирования, совершенствование нормативной базы, привлечение подрядных организаций и кадровое обеспечение. Представлен укрупнённый расчёт потребности в финансировании содержания дорог с учётом категорий покрытия и зимнего обслуживания. Обоснована необходимость внедрения информационной системы управления дорожными активами (СУДА) и перехода к программно-целевому управлению. Используются методические подходы, принятые в международной практике. Материалы статьи могут быть использованы как основа для разработки стратегии дорожного хозяйства в горных регионах.

Ключевые слова: автомобильные дороги, горные регионы, содержание дорог, бюджетное планирование, HDM-IV, СУДА, транспортная инфраструктура, Таджикистан.

ВАЗИФАҲОИ БЕҲТАРСОЗИИ ҲОЛАТИ РОҲҲОИ АВТОМОБИЛГАРДИ ИСТИФОДАИ УМУМӢ ДАР ШАРОИТИ КӢҲСОРИ ТОҶИКИСТОН

С.Б. Мирзозода, Ж.И. Содиков, Ф.С. Мирзоев

Дар шароити кӯҳсори Тоҷикистон нигоҳдорӣ ва рушду такмили шабакаи роҳҳои автомобилгарди истифодаи умумӣ муносибати мукаммалу ҳамчояро талаб менамояд, ки ҳам хусусиятҳои рельеф ва ҳам маҳдудияти захираҳои бучетиро ба назар гирад. Дар мақола масъалаҳои асосии беҳтарсозии ҳолати инфрасохтори роҳҳои автомобилгард баррасӣ шудаанд, ки ба онҳо муайян намудани афзалиятнокии қитъаҳо, ҳисоб кардани маблағи зарурии маблағгузорӣ, такмил додани пойгоҳи меъёрӣ, ҷалби ташкилотҳои пудратӣ ва таъмини кадрӣ дохил мешаванд. Ҳисобҳои тақрибии ҳаҷми зарурии маблағгузорӣ барои нигоҳдории роҳҳо бо дарназардошти категорияи рӯйпӯш ва хидматрасонии зимистона пешниҳод шудаанд. Зарурати ҷорӣ намудани низоми иттилоотии идоракунии дороиҳои роҳ (СИДР) ва гузариш ба идоракунии барномавӣ ҳадафманд асоснок карда шудааст. Дар таҳлил усулҳои методие истифода шудаанд, ки дар таҷрибаи байналмилалӣ қабул гардидаанд. Маводи мақола метавонад ҳамчун асос барои таҳияи стратегия ва сиёсати роҳдорӣ дар минтақаҳои кӯҳистон истифода бурда шавад.

Калидвожаҳо: роҳҳои автомобилгард, минтақаҳои кӯҳӣ, нигоҳдории роҳҳо, банақшагирии бучетӣ, HDM-IV, СИДР, инфрасохтори нақлиёт, Тоҷикистон.

TASKS FOR IMPROVING THE CONDITION OF PUBLIC ROADS IN THE MOUNTAINOUS CONDITIONS OF TAJIKISTAN

S.B. Mirzozoda, J.I. Sodikov, F.S. Mirzoev

Road maintenance and development in the mountainous regions of Tajikistan requires an integrated approach that takes into account both the specific terrain and limited budgetary resources. This article outlines key tasks for improving road infrastructure, including prioritization of sections, funding estimation, regulatory development, contractor involvement, and workforce provision. It presents an aggregated estimate of the required road maintenance funding by surface type and winter service needs. The necessity of introducing a Road Asset Management System (RAMS) and shifting to program-based management is substantiated. International practices are incorporated. The article may serve as a basis for developing regional road infrastructure strategies.

Keywords: roads, mountainous regions, road maintenance, budget planning, HDM-IV, RAMS, transport infrastructure, Tajikistan.

Введение

Развитие и содержание сети автомобильных дорог в горных условиях Таджикистана является важнейшим направлением государственной транспортной политики. Это обусловлено как географическими особенностями страны, так и стратегической ролью транспортных коридоров в обеспечении региональной и международной интеграции. Министерство транспорта Республики Таджикистан в качестве приоритетов выделяет увеличение объёмов финансирования, разработку долгосрочных стратегий, реализацию программ модернизации инфраструктуры, а также проведение институциональных и организационных реформ.

Содержание автодорог представляет собой неотъемлемую и всё более затратную часть эксплуатации транспортной сети, обеспечивая её техническую пригодность и безопасность движения. Несмотря на реализацию проектов с международным финансированием (Asian Development Bank, 2020; World Bank, 2019) [1, 2], значительная часть расходов на текущее и периодическое содержание остаётся недофинансированной. В результате, с течением времени именно содержание требует больше ресурсов, чем капитальные вложения.

Для устойчивого и эффективного содержания необходим ежегодный рост бюджетных ассигнований. Международная практика рекомендует направлять на содержание не менее 25-30% общего бюджета дорожной отрасли (Haas & Hudson, 2015). В условиях Таджикистана, где свыше 90% территории занимают горы, эти требования становятся особенно актуальными. Важно закрепить нормативное распределение средств и обеспечить реализацию этой доли через механизмы средне- и долгосрочного бюджетного планирования.

Обзор литературы и международных практик

Горные дороги подвержены ускоренной деградации под воздействием климата, рельефа и нестабильных грунтов. Международная практика показывает, что в таких условиях эффективно применять цифровые методы управления активами (PMS, RAMS) [6]. Системы, основанные на жизненном цикле и приоритизации ремонтов, позволяют сократить совокупные расходы на 15-30% [4].

Отчёты международных организаций (Asian Development Bank, 2020; World Bank, 2019) подчёркивают важность стратегического планирования ремонтов и инвестиций в странах с ограниченными ресурсами. Использование моделей, таких как HDM-IV, доказало эффективность в адаптации решений к условиям Центральной Азии, включая Казахстан и Кыргызстан и доказало свою эффективность при адаптации к условиям высокогорья (Denecke, 2020) [3].

По мнению Naas и Hudson (2015) [4], применение жизненного цикла дороги и системной оценки состояния позволяет сократить совокупные издержки на 15-30% за счёт своевременного вмешательства. Li и Madanat (2022) [4] предложили вероятностные модели прогнозирования, позволяющие учитывать риск деградации при ограниченных бюджетах [5].

Отечественная практика также демонстрирует прогресс: Красиков (2012) [9] развил экономико-математические методы оценки ремонтов с учётом интенсивности движения и уровня износа. Это особенно актуально для горных регионов, где доступность и безопасность дорог имеют критическое значение.

Механизмы государственно-частного партнёрства (ГЧП), как показывают исследования Sinha & Labi (2007) [8], позволяют ускорить модернизацию дорог и повысить эффективность управления за счёт привлечения инвестиций и распределения рисков.

Таким образом, мировой и отечественный опыт подтверждает необходимость перехода к цифровому управлению, интеграции ГИС и моделей HDM, усиления нормативной базы и привязки решений к приоритетам устойчивого развития.

Методика расчёта потребности в финансировании

Оценка потребности в финансовых ресурсах на содержание и ремонт дорог в условиях ограниченного бюджета осуществляется по укрупнённым нормативам. Этот метод позволяет сформировать предварительные расчёты на этапе планирования при отсутствии проектно-сметной документации [2]. Методика широко используется в международной практике (World Bank, 2019).

Основная цель - определение годовой потребности в средствах по категориям дорог (I-V), включая текущее содержание, средний и капитальный ремонты. Расчёт ведётся по формуле 1.

$$P_{\phi} = \sum (L_i \times N_i) \quad (1)$$

где: L_i - протяжённость i -й категории дорог (км); N_i - норматив затрат на содержание и ремонт 1 км в год (в тыс. сомони); n - количество категорий.

Методика применяется для формирования госпрограмм, обоснования бюджетных заявок и расчёта сценариев в рамках СУДА. Она позволяет соотнести общую потребность с приоритетными направлениями и стадиями ремонтных мероприятий.

Далее представлены конкретные расчёты, типовые нормативы и рекомендации по выбору вида ремонта в зависимости от состояния дорожного полотна и показателей ровности (IRI).

Таблица 1 - Пример нормативных затрат на содержание и ремонт по категориям дорог

| Категория дороги | Текущее содержание (тыс. сомони/км/год) | Средний ремонт (тыс. сомони/км) | Капитальный ремонт (тыс. сомони/км) |
|------------------|--|------------------------------------|--|
| I | 150 | 2000 | 5000 |
| II | 100 | 1500 | 4000 |
| III | 80 | 1000 | 3000 |
| IV | 50 | 700 | 2000 |
| V | 30 | 500 | 1500 |

Примечание: Цифры приведены условно, для примера. Актуализация значений проводится на основе ведомственных нормативов Министерства транспорта Республики Таджикистан.

Пример расчёта:

Пусть имеется следующая структура дорожной сети:

- 100 км дорог I категории, требующих среднего ремонта;
- 200 км дорог II категории, подлежащих текущему содержанию;
- 400 км дорог IV категории, подлежащих среднему ремонту.

Тогда общая потребность в финансировании рассчитывается по формуле:

$Pф = (100 \times 2000) + (200 \times 100) + (400 \times 700) = 200\,000 + 20\,000 + 280\,000 = 500\,000$ тыс. сомони (или 500 млн. сомони на указанный объём дорожной сети).

Таким образом, метод укрупнённых нормативов позволяет:

- получить ориентир для планирования бюджета;
- обосновать объёмы финансирования по категориям дорог;
- подготовить данные для вариативного анализа сценариев в рамках СУДА.

Следующим этапом является обоснование выбора типов среднего ремонта и расчётной стоимости по конструктивным типам дорожной одежды, что отражено в следующем разделе.

Типология дорожных одежд и состав работ по среднему ремонту

В практике ремонта автомобильных дорог различают капитальные, облегчённые и переходные типы дорожных одежд, для которых определены характерные виды среднего ремонта [6, 7]. Выбор конкретного вида ремонта зависит от технического состояния покрытия, визуальной оценки и показателей ровности (IRI).

1. Капитальные дорожные одежды:

- СР-1.1: ямочный ремонт, протравка основания, поверхностная обработка, разметка.
- СР-1.2: добавляется выравнивающий слой из горячей мелкозернистой смеси (3-4 см).
- СР-1.3: дополнительно - вскировка или фрезерование до 30% площади, затем укладка

выравнивающего слоя.

2. Облегчённые дорожные одежды:

- СР-2.1: аналогично СР-1.1.
- СР-2.2: аналогично СР-1.2, но с применением холодной смеси.
- СР-2.3: аналогично СР-1.3, адаптировано под облегчённую конструкцию.

3. Переходные типы:

- СР-3.1: восстановление профиля щебёночных покрытий, добавление материала, обеспыливание.
- СР-3.2: дополнительно - поверхностная обработка с вяжущими материалами.

Таблица 2 - Удельные затраты на средний ремонт по типу дорожной одежды (в долл. США/км)

| Тип дорожной одежды | Шифр ремонта | I | II | III | IV | V |
|---------------------|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Капитальный | СР-1.1 | 144009 | 99815 | 55128 | — | — |
| | СР-1.2 | 225181 | 156147 | 89512 | — | — |
| | СР-1.3 | 232764 | 161196 | 92036 | — | — |
| Облегчённый | СР-2.1 | — | 99815 | 55128 | 48237 | — |
| | СР-2.2 | — | 151272 | 86770 | 75924 | — |
| | СР-2.3 | — | 161196 | 92036 | 80531 | — |
| Переходный | СР-3.1 | — | — | 24689 | 21603 | 13901 |
| | СР-3.2 | — | — | 36496 | 31934 | 20547 |

Примечание: Данные приведены по информации из подразделений Министерства транспорта Республики Таджикистан и адаптированы под усреднённые условия региона

Вариативность состава работ допускает адаптацию вида ремонта под условия участка. Например, вместо фрезерования может быть применена терморегенерация, а при «потении» покрытия - поверхностная обработка с втапливанием щебня.

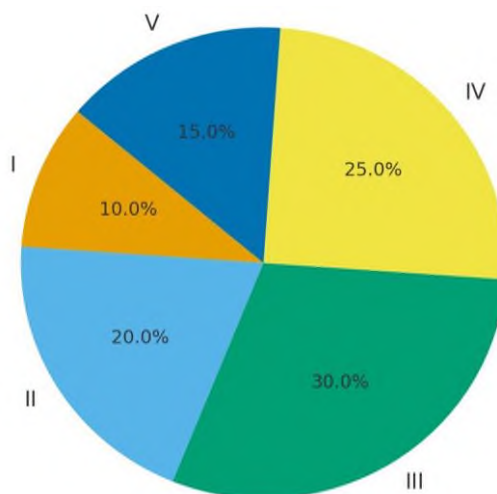


Рисунок 1 - Распределение дорожной сети по категориям и видам ремонта

Диаграмма, представленная на рисунке 1, отражает структуру дорожной сети Таджикистана по категориям (I-V) и видам ремонтных мероприятий. Видно, что преобладают дороги III-IV категорий, что соответствует региональной и межрайонной сети с низкой пропускной способностью и значительной степенью износа. На их долю приходится около 55% всей сети, что указывает на высокую потребность в средних ремонтах и повышенных эксплуатационных затратах. Дороги I-II категорий составляют меньшую часть, однако именно на них сосредоточен основной транспортный поток, включая международные коридоры. Их поддержание в нормативном состоянии требует приоритетного финансирования и применения капитальных видов ремонта (СР-1.2, СР-1.3).

Таким образом, данное распределение демонстрирует дисбаланс между значимостью и фактическим техническим состоянием дорог. Для выравнивания уровня транспортной доступности в горных регионах необходимо перераспределить бюджетные средства в пользу ремонтов средних и нижних категорий, что также согласуется с методикой укрупнённых нормативов и принципами СУДА.

Далее будут представлены алгоритмы выбора вида ремонта в зависимости от IRI и визуальной оценки, а также этапы количественной оценки технического состояния сети дорог.

Алгоритм выбора вида ремонта по техническому состоянию покрытия

На практике выбор конкретного вида среднего ремонта осуществляется по результатам визуальной оценки состояния дорожного полотна и значения международного индекса ровности (IRI). Эти параметры позволяют объективно установить необходимость проведения ремонтных мероприятий и определить их тип. В таблице 3 представлены рекомендуемые виды ремонтов капитальных дорожных одежд, по категориям дорог, в зависимости от их визуальной оценки.

Таблица 3 - Рекомендованный вид ремонта для капитальных одежд

| Визуальная оценка | Показатель IRI, м/км | Категория I | Категория II | Категории III-IV | Рекомендуемый вид ремонта |
|-------------------|----------------------|-------------|--------------|------------------|-----------------------------|
| 5-4 | ≤ 4.9 | – | СР-1.1 | СР-1.1 | поверхностная обработка |
| 3 | 4.9-8.1 | СР-1.2 | СР-1.2 | СР-1.2 | выравнивающий слой |
| 2-1 | > 8.1 | СР-1.3 | СР-1.3 | СР-1.3 | фрезерование + выравнивание |

Аналогичные подходы применимы к облегчённым и переходным типам дорожной одежды с корректировкой допустимых значений IRI и балльной оценки состояния.

Количественная оценка состояния дорожной сети

На данном этапе осуществляется обобщённая количественная оценка текущего состояния дорожной сети на основе результатов предыдущих расчетов. В первую очередь производится суммирование протяжённостей всех участков, классифицированных как находящиеся в неудовлетворительном состоянии, с разделением по видам назначенных ремонтных мероприятий: капитальный и средний ремонты [6, 7]. Дополнительно определяется общая протяжённость обследуемой дорожной сети. В соответствии с этим вводятся следующие обозначения:

- $L_{общ}$ - общая протяжённость дорожной сети, (км);
- $L_{кр}$ - суммарная длина участков, на которых назначен капитальный ремонт, (км);
- $L_{ср}$ - суммарная длина участков, подлежащих среднему ремонту, (км);
- $L_p = L_{кр} + L_{ср}$ - общая протяжённость участков, требующих проведения ремонтных мероприятий, (км).

На основе указанных данных рассчитываются следующие показатели:

- доля автомобильных дорог, находящихся в удовлетворительном состоянии, в процентах от общей длины сети:

$$L_{уд} \% = \left[1 - \frac{L_{кр} + L_{ср}}{L_{общ}} \right] * 100 \% \quad (2)$$

- доля дорог, требующих капитального ремонта, в процентах от общей протяжённости сети:

$$L_{кр\%} = \frac{L_{кр}}{L_{общ}} * 100\% ; \quad (3)$$

- протяжённость дорог, нуждающихся в среднем ремонте в процентах от общей сети:

$$L_{cp}\% = \frac{L_{cp}}{L_{оби}} * 100\% \quad (4)$$

Эти показатели используются для мониторинга, формирования отчётности и актуализации стратегии в рамках СУДА. Они позволяют наглядно представить динамику технического состояния сети и оценить эффект от проведённых мероприятий.

В следующем разделе будет рассмотрено применение модели HDM-IV для анализа экономической эффективности ремонтов и обоснования приоритетов инвестиций.

Применение модели HDM-IV для обоснования приоритетов и анализа эффективности затрат

Модель HDM-IV представляет собой международный признанный инструмент поддержки принятия решений, предназначенный для анализа выгоды затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог [2]. Она активно используется в более чем 100 странах, включая государства Центральной Азии (World Bank, 2019) [3].

Ключевые цели применения HDM-IV:

- оценка экономической эффективности различных вариантов ремонта;
- приоритизация инвестиционных проектов;
- формирование стратегий содержания и реконструкции;
- моделирование эксплуатационных сценариев при ограниченном бюджете.

Компоненты модели HDM-IV:

- дорожные участки: тип покрытия, протяжённость, технические характеристики;
- транспортные потоки: интенсивность, состав, прогнозируемый рост;
- климат и рельеф: влияние на износ дорожной одежды;
- сценарии ремонтов: капитальный, средний, «ничего не делать» и др.;
- затраты: дорожные и пользовательские (время, топливо, износ ТС, ДТП).

Основные экономические показатели модели:

- NPV (чистый дисконтированный доход): суммарная экономия минус инвестиции;
- PI (индекс доходности): отношение выгод к затратам;
- IRR (внутренняя норма доходности): ставка, при которой NPV=0.

Чистый дисконтированный доход (NPV) определяется по формуле 5:

$$NPV = \sum [(R_t - C_t) / (1 + E)^t], \quad (5)$$

где: R_t - экономия от ремонта в t году; C_t - затраты в t году; E - ставка дисконтирования.

Индекс доходности (PI) определяется по формуле 6:

$$PI = \sum [E_t / (1 + r)^t] / K, \quad (6)$$

где: E_t - ежегодный эффект; r - ставка дисконта; K - инвестиции.

Внутренняя норма доходности (IRR) определяется численно как значение E , при котором NPV=0.

Пример расчёта на основе HDM-IV:

| Участок автодороги | Вариант ремонта | NPV (млн. \$) | IRR (%) | PI | Рейтинг |
|--------------------|-------------------------|---------------|---------|-----|---------|
| Душанбе - Гиссар | Средний ремонт (3 года) | 8,4 | 18,6 | 2,1 | 1 |
| Айни - Пенджикент | Капитальный (5 лет) | 6,1 | 14,3 | 1,5 | 2 |
| Бохтар - Дангара | Ничего не делать | - 2,5 | - | 0,6 | 5 |

Ранжирование участков по NPV и PI позволяет обеспечить оптимальное распределение инвестиций при ограниченных ресурсах. Участки с $PI \geq 1$ и $IRR \geq 12\%$ признаются экономически обоснованными.

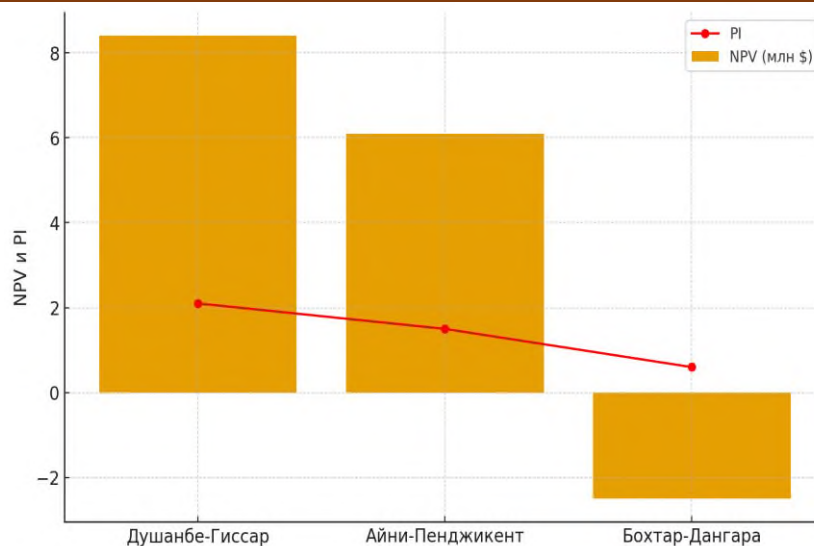


Рисунок 2 - Сравнение экономических показателей (NPV и PI) по вариантам ремонтов (HDM-IV)

График, изображённый на рисунке 2, наглядно иллюстрирует результаты анализа эффективности ремонтных мероприятий, рассчитанные с использованием модели HDM-IV.

Согласно данным, наибольший чистый дисконтированный доход (NPV=8,4 млн.\$) и индекс доходности (PI=2,1) получены для участка Душанбе-Гиссар, где выбран вариант среднего ремонта сроком три года. Это подтверждает его экономическую целесообразность при ограниченных ресурсах.

Для участка Айни-Пенджикент капитальный ремонт также показал положительные значения (NPV=6,1 млн.\$, PI=1,5), однако срок окупаемости дольше, что требует поэтапной реализации программы.

Напротив, сценарий «ничего не делать» на участке Бохтар-Дангара приводит к отрицательному NPV (-2,5 млн.\$) и низкому PI (0,6), что демонстрирует рост совокупных издержек пользователей и деградацию дорожной сети.

Таким образом, график подтверждает выводы HDM-IV о том, что своевременные средние ремонты обеспечивают наибольший социально-экономический эффект при минимальных инвестициях, а использование показателей NPV и PI позволяет объективно ранжировать участки и оптимизировать бюджетные решения.

Использование HDM-IV также обеспечивает возможность сценарного анализа, адаптацию стратегий под изменяющиеся условия и интеграцию в систему управления дорожными активами (СУДА).

Далее рассматриваются организационные аспекты внедрения СУДА, включая этапы, принципы и адаптацию к горным условиям Таджикистана.

Организация внедрения системы управления дорожными активами (СУДА)

Система управления дорожными активами (СУДА, англ. RAMS - Road Asset Management System) включает этапы: инвентаризация, диагностика (показатель ровности покрытия - IRI, индекс состояния дорожного покрытия - PCI), моделирование ухудшения, планирование и мониторинг.

Принципы СУДА: системность, адаптивность, цифровизация, приоритезация на основе показателей эффективности [8]. В горных условиях учитываются дополнительные коэффициенты на уклоны, лавиноопасность, социальную значимость участков.

Основная цель СУДА - обеспечить максимальную отдачу от инвестиций с учётом состояния дорог, приоритетов развития и ограниченности ресурсов. В условиях горных территорий, таких как Таджикистан, система должна учитывать особенности рельефа, повышенные эксплуатационные риски и социальную значимость отдельных участков.

Ключевые принципы построения СУДА:

- системность - охват всех стадий жизненного цикла дороги;
- воспроизводимость решений - прозрачность алгоритмов приоритезации;
- ориентированность на эффективность - использование критериев NPV, PI, IRR;
- адаптивность - учёт климатических, геологических и демографических факторов;
- цифровизация - использование ГИС, мобильной диагностики и интеграции с HDM-IV.

Этапы формирования СУДА:

1. Инвентаризация и классификация дорожной сети: сбор базовых характеристик (категория, покрытие, протяжённость, значение участка).
2. Диагностика технического состояния: оценка показателей (IRI, PCI), выявление дефектов, формирование технической базы.
3. Формирование автоматизированной базы данных (АБД): цифровая система хранения, отображения и обновления информации.
4. Моделирование ухудшения состояния: разработка эмпирических или аналитических моделей деградации дорожных конструкций.
5. Планирование ремонтов и инвестиций: оптимизация по сценариям и ограниченному бюджету, ранжирование по критериям эффективности.
6. Мониторинг и корректировка стратегии: контроль реализации ремонтов, обновление данных, обратная связь.

Пример классификации участков в рамках СУДА (по IRI и PCI):

| Категория дороги | Максимальный IRI (м/км) | Минимальный PCI | Приоритет ремонта |
|------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|
| I | ≤ 2.5 | ≥ 80 | Высокий |
| III | ≤ 4.0 | ≥ 55 | Средний |
| V | ≤ 6.0 | ≥ 40 | Низкий |

В горных условиях СУДА должна учитывать:

- коэффициенты повышенных затрат на 1 км;
- оценку доступности (альтернативные маршруты, социальная значимость);
- риски лавин, оползней, сезонных разрушений;
- необходимость детализированной диагностики труднодоступных участков.

Таким образом, внедрение СУДА обеспечивает не только техническую устойчивость и экономическую целесообразность дорожной сети, но и интеграцию в общенациональные стратегии устойчивого развития и регионального выравнивания [8].

Выводы

Проведённый анализ состояния и задач развития сети автодорог общего пользования в горных условиях Таджикистана позволяет сформулировать следующие ключевые положения:

1. Особенности горного рельефа, сезонных рисков и социальной значимости дорожной сети требуют специфических решений в области содержания и планирования ремонтов.
 2. Метод укрупнённых нормативов даёт возможность на ранних этапах определить потребности в финансировании и обосновать бюджетные заявки без необходимости составления проектно-сметной документации [2].
 3. Модель НДМ-IV обеспечивает научно обоснованный выбор приоритетных участков ремонта и позволяет спрогнозировать социально-экономический эффект от вложений в дорожную инфраструктуру [3].
 4. Внедрение СУДА является необходимым условием для повышения эффективности управления дорожными активами в Таджикистане. Система должна учитывать горную специфику, включая доступность, риски разрушений и ограниченность альтернативных маршрутов [6].
 5. Для устойчивого функционирования дорожной отрасли необходимо закрепить нормативную долю финансирования содержания дорог (не менее 25-30%) в структуре общего бюджета [4].
- Комплексная реализация изложенных подходов обеспечит повышение транспортной доступности, снижение эксплуатационных издержек и устойчивое развитие горных регионов страны [1, 8, 9, 10].

Рецензент: Сайраҳмонов Р.Х. — к.т.н., доцент, заведующий кафедрой "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ТПУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. Asian Development Bank. (2020). Road Asset Management. ADB Publications.
2. World Bank. (2019). Road Maintenance Planning. World Bank Technical Paper No. 437.
3. Denecke, M. (2020). Infrastructure Strategies for Mountainous Regions. Infrastructure International, 7(2), - P. 58-67.
4. Haas, R., & Hudson, W. R. (2015). Pavement Asset Management. McGraw-Hill Education.
5. Li, Q., & Madanat, S. (2022). Stochastic Optimization of Pavement Maintenance Policies. Journal of Infrastructure Systems, 28(1), 04021055.

6. Мирзозода, С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, - 2023. - 264 с.
7. Mirzozoda, S.B. TYPES AND COMPOSITION OF WORK CAPITAL REPAIRS. CAPITAL TYPE ROAD PAVEMENTS (NON-RIGID) / S.B. Mirzozoda, F.S. Mirzoev // INTERNATIONAL SCIENCE CONFERENCE "SCIENCE. EDUCATION. PRACTICE", November 20, 2024, Delhi, India, - 2024. - P. 96-104.
8. Sinha, K. C., & Labi, S. (2007). Transportation Decision Making: Principles of Project Evaluation and Programming. Wiley.
9. Красиков В.А. (2012). Моделирование ремонтных процессов на автомобильных дорогах. Москва: Транспорт. - 2012.
10. Золотарь И.А., Пашкин В.К., Каганович В.Е. и др. (2006). Экономика дорожного строительства. Москва: Транспорт. - 2006.

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

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Мирзозода Сухроб Бегмат номзади илмҳои техникӣ, дотсент | Мирзозода Сухроб Бегмат кандидат технических наук, доцент | Mirzozoda Sukhrob Begmat 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: sukhrob63@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Содиқов Жамшид Иброҳим угли доктори илмҳои техникӣ, профессор | Содиқов Жамшид Иброҳим угли доктор технических наук, профессор | Sodikov Jamshid Ibromkhim ugli doctor of technical sciences, professor |
| Донишгоҳи Давлатии Нақлиёти Тошканд | Ташкентский государственный транспортный университет | Tashkent State Transport University |
| E-mail: osmijam@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Мирзоев Фаридун Сухробович муҳандиси-тарҳрезӣ Шуъбаи техникӣ | Мирзоев Фаридун Сухробович инженер-проектировщик Технического департамента | Mirzoev Faridun Suhrobovich engineer - designer of the Technical department |
| ҚСҚ «Таджикгидроэлектромонтаж» | ОАО «Таджикгидроэлектромонтаж» | JSC «Tajikhydroelectromontazh» |
| E-mail: farid.mirzaev.96@bk.ru | | |

КОМПЛЕКСНАЯ АЛЮМИНИЕВАЯ СМАЗКА ДЛЯ ТРИБОУЗЛОВ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**М.Ю. Юнусов, М.С. Холикзода, Ш. Шарифов, О.С. Ниёзов**

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

В статье приведены общие сведения о пластичных смазках, приготовленных на комплексных мылах, отличающихся тугоплавкостью в широком интервале температур и эффективностью в тяжелых режимах эксплуатации трибологических узлов машин и механизмов. Акцентируется внимание на комплексные алюминиевые смазки (кАл), которые очень эффективны для смазывания пар трения, эксплуатирующихся в обводненной и химически агрессивной среде. Будучи разработанными еще в середине двадцатого века, они до сих пор занимают не более 5% всего рынка пластичных смазок, несмотря на отличные эксплуатационные характеристики. В исследовании в роли компонента загустителя данных смазок выбрана дистиллированная жирная кислота производства хлопкового масла и изучена степень ее влияния на структурообразование пластичной смазки.

Ключевые слова: машины и механизмы, трибологические узлы, смазочные материалы, пластичные смазки, алюминиевые комплексные мыла, дистиллированные жирные кислоты.

ХАМИРАВАҒАНҲОИ КОМПЛЕКСИ АЛЮМИНИЙДОР БАРОИ УЗВҲОИ ТРИБОЛОГИИ МОШИН ВА МЕХАНИЗМҲОИ МУОСИР**М.Ю. Юнусов, М.С. Холикзода, Ш. Шарифов, О.С. Ниёзов**

Дар мақола маълумоти умумӣ оид ба равағанҳои молиданӣ дар асоси собунҳои комплексӣ оварда шудааст, ки онҳо дар фосилаи васеи ҳароратӣ қобилияти қорӣ дошта, дар шароити вазини истифодабарии мошину механизмҳо самаранокии баланд нишон медиҳанд. Таваҷҷуҳ асосан ба равағанҳои алюминийи комплексӣ равона шудааст, ки онҳо ҳосияти обногузарӣ, устувории кимиёвӣ, ҳосиятҳои хуби муҳофизатӣ, ки барои равағанҳои оддӣ алюминий ҳос аст ва иловатан бо устувории баланди гармӣ, механикӣ ва коллоидӣ беҳтар мегардад, нишондиҳандаҳои баланди истифодабарии чунин равағанҳо таъмин менамоянд. Сарфи назар аз он ки чунин равағанҳо ҳанӯз дар нимаи дуҷуми асри XX ҳосил карда шуда, дорои ҳосиятҳои баланди истифодабарӣ мебошанд, онҳо то ҳол ҳатто 5 %-и бозори умумии равағанҳои пластикиро ташкил намеkunанд. Дар таҳқиқот ҳамчун унсурӣ ғализкунандаи чунин равағанҳо кислотаи равағани поккардашуда, ки аз равағани пахта ҳосил мегардад, интихоб шуда, дараҷаи таъсири он ба ташаккули сохтори равағани пластикӣ омӯхта шудааст.

Возаҳои калидӣ: мошинҳо ва механизмҳо, узвҳои трибологӣ, маводи молиданӣ, равағанҳои пластикӣ, собунҳои алюминийи комплексӣ, кислотаҳои равағани пок кардашуда.

A COMPLEX ALUMINUM LUBRICANT FOR THE DRIVE UNITS OF MODERN MACHINES AND MECHANISMS**M.Yu. Yunusov, M.S. Kholikzoda, Sh. Sharifov, O.S. Niyozov**

This article provides general information about complex soap-based lubricants, which operate over a wider temperature range and are more effective in the harsh operating conditions of machines and mechanisms. Attention is focused on complex aluminum greases, which are of particular interest because the water resistance, chemical stability, and good protective properties inherent in conventional aluminum greases are complemented by high thermal, mechanical, and colloidal stability, ensuring excellent performance characteristics. Developed in the mid-twentieth century, they still account for no more than 5% of the total grease market, despite their excellent performance characteristics. In this study, distilled fatty acid from cottonseed oil was selected as a thickening component for these lubricants, and its influence on the structure formation of the grease was examined.

Keywords: machines and mechanisms, tribological components, lubricants, greases, aluminum complex soaps, distilled fatty acids.

Введение

Для надежной работы трибологических узлов машин и механизмов, состоящих из множества пар трения, необходимо применить высококачественные смазочные материалы. Согласно результатам исследований, представленным в работе Иззатуллоева М.А. [1], формирование регулярной микрогеометрии поверхности позволяет улучшить условия смазывания и существенно снизить износ в трибосопряжениях. В то же время эффективная работа трибоузла возможна лишь при правильном подборе качественного смазочного материала.

Пластичные смазки, в отличие от масел, преимущественно применяются в открытых трибоузлах, в связи с чем к ним по техническим, экономическим и экологическим соображениям предъявляются повышенные требования. Комплексный показатель качества данного вида нефтепродуктов в значительной степени определяется природой и свойствами дисперсной фазы — одного из основных компонентов пластичной смазки [2]. В указанном направлении научный и практический интерес представляет изучение кАл-смазок, которые очень эффективны для смазывания пар трения, эксплуатирующихся в обводненной и химически агрессивной среде.

кАл-смазки обычно получают взаимодействием алкоксида алюминия с карбоновыми кислотами в гидратной среде. Для них свойственна довольно высокая температура каплепадения (свыше 220°C), водостойкость, способность сохранять свойства при нагреве (выдерживают температуры 150 – 200°C) и прочность структурного строения. В этой связи они нашли широкое применение как смазочный материал многоцелевого назначения в трибоузлах наземного и воздушного транспорта, тяжелой промышленности и др. сферах промышленности [3].

При использовании комплексных алюминиевых смазок (кАл-смазки) сокращается расход природных жиров и особенно касторового масла [7].

Современные исследования в области кАI-смазок в основном направлены на оптимизацию состава, т.е. разработку новых рецептур с использованием альтернативных жирных кислот и добавок для улучшения эксплуатационных характеристик, исследование влияния различных добавок и модификаций структуры, изучение влияния мыл на стабильность смазки при высоких температурах и механических нагрузках [6]. Имеются работы, представляющие научно-практический интерес по изучению влияния дисперсионной среды на структуру кАI-смазок [5, 6].

Материалы и методы

кАI-смазки в основном синтезируют, используя алюминий-содержащие соли стеариновой кислоты или синтетические жирные кислоты (СЖК) и моноосновную бензойную кислоту [4, 5, 9, 10].

Для получения комплексных алюминиевых смазок (кАI-смазок) использовались следующие исходные компоненты:

В роли высокомолекулярной кислоты – СЖК с заведомо известной молярной массой. Наряду с СЖК применялась также стеариновая кислота (HSt). В работе в основном акцентировали внимание на дистиллированные жирные кислоты (ДЖК), образующиеся в процессе производства хлопкового масла.

В качестве низкомолекулярной кислоты использовали бензойную кислоту (HBz).

Суспензию изопропилата алюминия (ИПА) - $Al(OC_3H_7)_3$ в изопропиловом спирте использовали как алкогольат алюминия.

Загуститель кАI-смазки состоит из диазамещенного основного Al – мыла. В результате взаимодействия высоко- и низкомолекулярных кислот в неводной среде в присутствии алкогольата алюминия с одной алкоксигруппой образуются стабильные диазамещенные основные кАI-мыла. Широкое применение в качестве Al – мыла нашел изопропилат алюминия (ИПА)- $Al(OC_3H_7)_3$, представляющий собой суспензию в изопропиловом спирте, а в роли высокомолекулярной органической кислоты, в этом случае, выступает стеариновая кислота (HSt) или СЖК низкомолекулярной органической кислоты – бензойная кислота (HBz) [1].

Физико-химические и трибологические свойства полученных смазок оценивались по следующим показателям:

Предел прочности при сдвиге – определялся при температурах 20 и 80°C для оценки прочности структурного каркаса смазки.

Коллоидная стабильность – определялась в процентах, что характеризует способность смазки сохранять дисперсную фазу при термическом воздействии.

Температура каплепадения – измерялась для оценки термостойкости смазки.

Механическая стабильность – оценивалась с помощью индексов разрушения (Кр,%) и восстановления (Кв,%), что отражает способность смазки сохранять и восстанавливать структуру при механическом воздействии.

Все измерения проводились в соответствии со стандартными методиками для алюминиевых комплексных смазок. Каждый показатель определялся не менее чем в трех параллельных опытах для обеспечения статистической достоверности.

Постановка эксперимента

Ряд исследователей [2, 3, 5, 6] придерживаются мнения, что научный интерес представляет установление возможности получения кАI-смазок на основе ДЖК хлопкового масла с содержанием линолевой кислоты до 40% (Таблица 1).

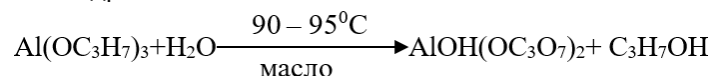
Молекулярное соотношение высоко- и низкомолекулярных кислот должно находиться от 0,8:1 до 1,2:1 [3]. Имеются сведения о предпочтительном соотношении компонентов, образующих кАI-мыло, которое должно составлять ИПА:Н₂O:R₁COOH: R₂COOH=1:1:1:1 [3]. При этом считается, что оптимальной технологией получения кАI-смазок является реакция взаимодействия компонентов со ступенчатым характером [2, 12].

Таблица 1 - Характеристика дистиллированных жирных кислот хлопкового масла

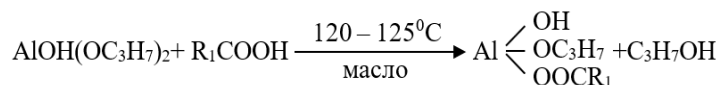
| Показатели | Значение показателей |
|------------------------------------|----------------------|
| Цвет | Светло-желтый |
| Кислотное число, $\frac{mгKOH}{г}$ | 191,5 |
| Число омыления, $\frac{mгKOH}{г}$ | 196,3 |
| Йодное число, $\frac{гI_2}{100mг}$ | 106,4 |
| Содержание госсипола, % масс. | отс. |
| Содержание влаги, % масс. | 0,25 |
| Состав жирных кислот, % масс.: | |
| Лауриновая C ₁₇ | 1,5 |
| Миристиновая C ₁₃ | 1,6 |
| Пальмитиновая C ₁₆ | 30,3 |
| Пальмитолеиновая C _{16:1} | 1,0 |
| Стеариновая C ₁₇ | 3,0 |
| Олеиновая C _{17:2} | 22,0 |
| Линолевая C _{18:2} | 40,6 |

Приняв во внимание вышеизложенные данные, в лабораторных условиях мы получили кАI-мыла по следующей схеме:

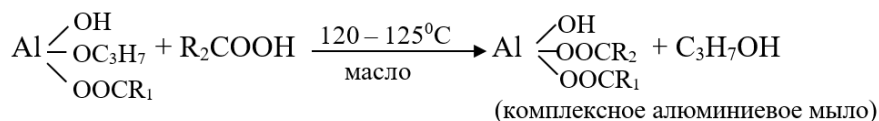
1- ступень - частичный гидролиз ИПА:



2 - ступень - получение монозамещенного мыла ДЖК (R_1COOH):

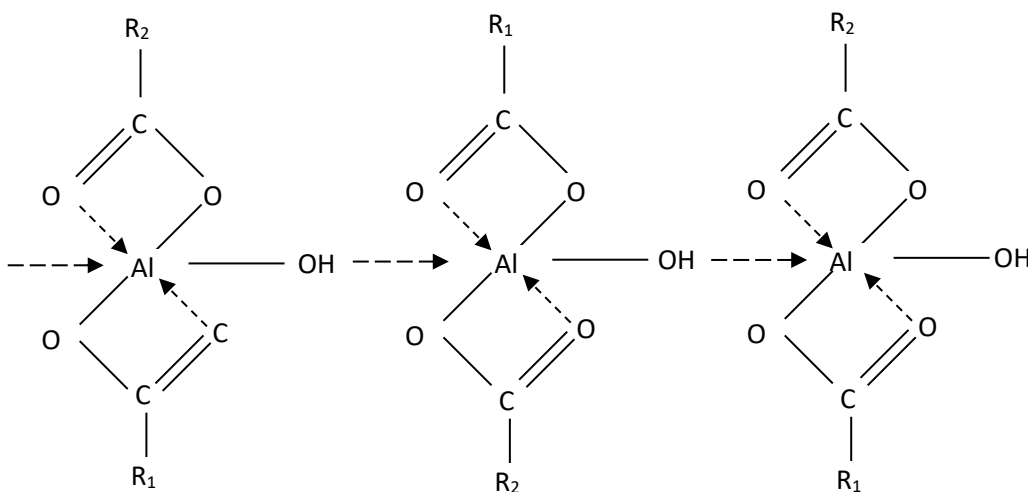


3 - ступень - получение основного дизамещенного (комплексного) мыла ДЖК - (R_1COOH) и бензойной кислоты (R_2COOH):



На заключительном этапе дизамещённое кАI-мыло формирует сложную разветвлённую структуру полимерного типа. Это происходит благодаря возникновению координационных связей между атомами алюминия одной молекулы и атомами кислорода гидроксильных групп другой молекулы мыла.

При этом комплексное алюминиевое мыло — алюминий ДЖК-бензоат, содержащее одну гидроксильную группу, может иметь следующую структурную конфигурацию [3]:



В Таблице 2 показано влияние молярной пропорции ДЖК и НВз к ИПА на свойства получаемых кАI-смазок.

Таблица 2 - Влияние молярной пропорции ДЖК и НВз к ИПА на свойства получаемых кАI-смазок (ДЖК +НВз=13%)

| Характеристики | Молярное соотношение | | | кАI-смазка «Алюмол» |
|---|----------------------|-------------|-------------|------------------------|
| | 0,8:0,8:1,0 | 1,0:1,0:1,0 | 1,1:1,1:1,0 | |
| Предел прочности при сдвиге, Па, при: 20°C 80°C | 380 180 | 820 410 | 860 450 | 500-1000 — |
| Коллоидная стабильность, % | 8,4 | 3,6 | 3,5 | <12 |
| Температура каплепадения, °C | 250 | 250 | 250 | 230 |
| Механическая стабильность | | | | |
| Индекс разрушения K_p , % | 35 | 36 | 29 | - |
| Индекс восстановления K_v , % | 28 | 23 | 16 | |

Обсуждение полученных результатов

Анализ данных Таблицы 2 свидетельствует о значительном влиянии молярного соотношения дикарбоновых жирных кислот (ДЖК) и бензойной кислоты (НВз) к ИПА на структурно-реологическое образование кАI-смазок.

При молярном соотношении ДЖК : НВз : ИПА = 0,8 : 0,8 : 1,0, то есть при дефиците кислотных компонентов формируется смазочный материал с пониженными объёмно-механическими характеристиками. Предел прочности при сдвиге составляет 380 Па при температуре 20 °С и снижается до 180 Па при 80 °С, что указывает на слабую структурную сетку мыльного каркаса и низкую способность удерживать дисперсную фазу при нагревании. Коллоидная стабильность при таком составе также снижается до 8,4 %, что может быть связано с образованием неустойчивой дисперсионной системы из-за нехватки кислоты для полного взаимодействия с алюминием.

При переходе к стехиометрическому молярному соотношению (ДЖК:НВз:ИПА = 1,0:1,0:1,0) отмечается существенное улучшение характеристик смазки. Предел прочности при сдвиге возрастает более чем в два раза (до 820 Па при 20°С и 410 Па при 80°С), что свидетельствует о более плотной и термостойкой пространственной структуре. Коллоидная стабильность при этом повышается до 3,6 %, что приближает смазку к уровню промышленного аналога «Алюмол». Фазовый переход из твердого в жидкое состояние остается стабильным (250°С), что характерно для систем такого рода, и показывает термическую стабильность мыльного каркаса.

Дальнейшее повышение концентрации составляющих конгломерата (ДЖК:НВз:ИПА = 1,1:1,1:1,0) на свойства смазки заметно не влияет. Реологические свойства в виде предела прочности на сдвиг изменяются незначительно в сторону увеличения (до 860 Па и 450 Па соответственно при 20°С и 80°С), а коллоидная стабильность (3,5 %) вообще не изменяется. Наблюдается некоторое ухудшение трибологических свойств, так индекс восстановления (Кв) снижается с 23 % при стехиометрической смеси до 16 %. Это может указывать на то, что избыток кислот препятствует оптимальной кристаллизации мыльных комплексов алюминия и снижает способность смазки восстанавливать свою структуру после механических нагрузок.

Следует отметить, что выявленная закономерность может изменяться при замене дисперсионной среды. В частности, применение ароматических углеводородов в качестве дисперсионной фазы действительно способно повысить качество кАI-смазок, что подтверждается исследованиями Дмитриева А.В. [13]. Однако в условиях нашего эксперимента увеличение доли ароматических углеводородов в составе дисперсионной среды не гарантирует проявления синергетического эффекта совместно со стехиометрическим соотношением кислот. Это указывает на необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на уточнение влияния состава дисперсионной среды на структурообразование и реологические характеристики кАI-смазок.

Таким образом, аналогично ранее описанным закономерностям для комплексных кальциевых смазок [9 - 11] избыточное количество кислот не приводит к формированию более прочной или устойчивой структуры. Напротив, оно снижает механическую стабильность и нецелесообразно с практической точки зрения.

Анализ данных Таблицы 2 показывает, что при недостатке кислотных компонентов (молярное соотношение ДЖК : НВз : ИПА = 0,8 : 0,8 : 1,0) формирующаяся смазка отличается пониженными объёмно-механическими характеристиками: наблюдаются низкие значения предела прочности, вязкости, а также сниженная коллоидная стабильность.

При стехиометрическом соотношении кислот (ДЖК : НВз : ИПА = 1,0 : 1,0 : 1,0) отмечается некоторое повышение предела прочности и вязкости, а также улучшение коллоидной стабильности полученной смазки.

Увеличение количества кислот сверх стехиометрии, аналогично ранее выявленным закономерностям для комплексных кальциевых смазок [10], например, до соотношения ДЖК : НВз : ИПА = 1,1 : 1,1 : 1,0, не вызывает ощутимого улучшения реологических свойств комплексной алюминиевой смазки. Параметры таких смазок остаются сопоставимыми с характеристиками продуктов, полученных при стехиометрическом составе. Это указывает на отсутствие необходимости введения кислот в избытке при разработке рецептур кАI-смазок.

Выводы

В ходе исследования показана принципиальная возможность вовлечения вторичного жирового сырья производства растительных масел в технологический процесс изготовления комплексных алюминиевых смазок в качестве омыляемого компонента дисперсной фазы. Установлено, что при стехиометрически выверенном, равнопропорциональном соотношении кислот формируются кАI-смазки с оптимальными объёмно-механическими характеристиками — повышенной прочностью на сдвиг, устойчивой коллоидной структурой и улучшенной термостойкостью. Применение же кислот в количествах ниже стехиометрии приводит к выраженному снижению эксплуатационных свойств смазок, что делает такие рецептуры неприемлемыми для практического использования.

Полученные результаты демонстрируют возможность более широкого применения комплексных алюминиевых смазок, благодаря их экономической эффективности и экологичности. Применение вторичных

жировых кислот не только снижает затраты на производство, но и способствует рациональному использованию сырьевых ресурсов, что особенно актуально в условиях современных экологических вызовов.

Рецензент: Д.П. Холов — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация гидромелиоративных систем» ТПУ им. Ш. Шохтемур

Литература

1. Иззатуллоев, М. А. Экспериментальная оценка влияния регулярной микрогеометрии на трибологические характеристики радиального подшипника скольжения / М. А. Иззатуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 1(53). – С. 87-94. – EDN BNOZAC.
2. Ищук Ю.Л. Технология пластичных смазок / Ю.Л. Ищук. – Киев: Наука думка, 1986. – 248с.
3. Юнусов М.Ю. Имитация окисления дисперсионной среды пластичных смазок в процессе эксплуатации / Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №2 (62) – 2023. – С. 147 -152.
4. Ищук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок / Ю. Л. Ищук. – Киев: Наука думка, 1996 – 512с.
5. Кучеренков, Н. П. Влияние полярности базовых масел на характеристики комплексно-алюминиевых пластичных смазок / Н. П. Кучеренков, Д. Н. Небыков, О. А. Кротикова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 5(288). – С. 72-75. – DOI 10.35211/1990-5297-2024-5-288-72-75. – EDN OBLMDW.
6. Наконечная М.Б. Комплексные кальциевые смазки, их состав, приготовление структура и свойства: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – М., 1970 – 40 с.
7. Дмитриев, А. В. Изучение свойств комплексных алюминиевых пластичных смазок, приготовленных на различных нефтяных маслах / А. В. Дмитриев, П. Н. Золотова, А. А. Кокотова // Трибология - машиностроению : Труды XV Международной научно-технической конференции, Москва, 12–13 ноября 2024 года. – Москва: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2024. – С. 72-73. – EDN QTRVQI.
8. Состояние и перспективы производства комплексных алюминиевых пластичных смазок (обзор) / А. В. Дмитриев, А. Ю. Килякова, П. Н. Золотова, А. А. Кокотова // Мир нефтепродуктов. – 2025. – № 3. – С. 44-47. – DOI 10.32758/2782-3040-2025-0-3-44-47. – EDN KBYOKR.
9. Юнусов М.Ю. Комплексные кальциевые смазки на базе вторичных продуктов производства растительных масел / Вестник Бохтарского государственного университета им. Носира Хусрава. №2-3 (117). – 2023. – С. 70 – 74.
10. Джамалов А.А., Юнусов М.Ю. Структурообразование и совместимость пластичных смазок на основе карбоновых кислот хлопкового масла: Монография. Душанбе: ТТУ, 2014. – 210 с.
11. Фехервари А. Исследование в области структуры и свойств консистентных смазок на комплексных мылах: Автореф. ... канд. техн. наук. – М., 1966. – 25 с.
12. Максимилиан А.Л. Состав, технология и свойства комплексных алюминиевых смазок: Дис.... канд. техн. наук. – Киев, 1987. – 169 с.
13. Дмитриев А. В. Зависимость свойств комплексных алюминиевых пластичных смазок от химического состава дисперсионной среды / А. В. Дмитриев. — Текст : электронный // Молодежь и наука : материалы XXI международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (23 мая 2025 г., г. Нижний Тагил) : в 2-х т. — Т. 1. — С. 87-88. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/146354>.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

| RU | TJ | EN |
|--|----------------------------------|--|
| Юнусов Мансур Юсуфович | Юнусов Мансур Юсуфович | Yunusov Mansur Yusufovich |
| к.т.н. | н.и.т. | Ph.D. |
| ТТУ имени акад. М.С. Осими | ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: m-yunusov@mail.ru | | |
| RU | TJ | EN |
| Шарифов Шариф Нурович | Шарифов Шариф Нурович | Sharifov Sharif Nurovich |
| соискатель | унвонҷӯ | applicant |
| ТТУ имени акад. М.С. Осими | ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | TTU named after academician M.S. Osimi |
| RU | TJ | EN |
| Холикзода Муслихиддин Салохиддин | Холикзода Муслихиддин Салохиддин | Kholikzoda Muslihiddin Salohiddin |
| соискатель | соискатель | applicant |
| ТТУ имени акад. М.С. Осими | ДТТ ба номи академик М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |
| RU | TJ | EN |
| Ниёзов Одил Саторович | Ниёзов Одил Саторович | Niyozov Odil Satorovich |
| старший преподаватель | муаллими калон | senior lecturer |
| ТТУ имени акад. М.С. Осими | ДТТ ба номи академик М.С. Осими | TTU named after academician M.S. Osimi |

ИСТИФОДАИ УСУЛҲОИ ИННОВАТСИОНӢ БАРОИ РУШДИ ИНФРАСОХТОРИ НАҚЛИЁТИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Киёмиддин Давлатзода

Дар мақола натиҷаҳои омӯзиши вазъи ҷорӣ инфрасохтори нақлиётии Ҷумҳурии Тоҷикистон, тавассути гузаронидани таҳлилҳо ва дар ин замина бо дар назар доштани таҷрибаи байналмилалӣ рушди инфрасохтори нақлиёт тавсияҳо ҷиҳати истифодаи усулҳои инноватсионӣ барои рушди инфрасохтори нақлиётии Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод шудааст.

Возжаҳои асосӣ: маҷмуи нақлиётӣ, инфрасохтори нақлиётӣ, гардиши бор, роҳҳои асфалтпӯш, самтҳои инноватсионии рушд, автомобили барқӣ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Киёмиддин Давлатзода

В статье представлены результаты исследования текущего состояния транспортной инфраструктуры Республики Таджикистан путем проведения анализа и на этой основе представлены рекомендации по использованию инновационных методов для развития транспортной инфраструктуры Республики Таджикистан с учетом международного опыта развития транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: транспортный комплекс, транспортная инфраструктура, грузооборот, асфальтированные дороги, инновационные направления развития, электромобиль.

USE OF INNOVATIVE METHOD FOR THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Kiyomiddin Davlatzoda

The article discusses the findings of a study on the current state of the transport infrastructure in the Republic of Tajikistan, focusing on the analysis and identification of innovative approaches to its development. The study takes into account international best practices in transport infrastructure development and proposes modern, innovative methods for advancing the sector.

Keywords: transport sector, transport infrastructure, cargo turnover, paved roads, innovative development strategies, electric vehicles.

Муқаддима

Соҳаи нақлиёт дар шароити марҳилаи муосири рушди иҷтимоию иқтисодии дилхоҳ кишвар нақши муҳим дорад.

Нақлиёт ба яке аз соҳаҳои мансуб аст, ки инфрасохтори хоҷагии халқро ташаккул дода, алоқмандии ҳамаи ҷузъҳои онро таъмин менамояд.

Нақлиёт дар маҷмӯи ҷойивазкунии одамон ва борро ифода карда, яке аз соҳаҳои муҳими истеҳсолоти моддии ҷамъиятӣ мебошад [1].

Ҳадафи муҳими Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 (СМР-2030) баланд бардоштани сатҳи зиндагии аҳолии мамлакат дар асоси таъмини рушди устувори иқтисодӣ ба ҳисоб меравад. Аз ин рӯ, барои ноил шудан ба он ҳадафҳои зерин барои 15 соли оянда муайян шудаанд [2]:

1. Таъмини амнияти энергетикӣ ва истифодаи самарабахши нерӯи барқ;
2. Раҳой аз бунбасти коммуникатсионӣ ва табдил ба кишвари транзитӣ;
3. Таъмини амнияти озуқаворӣ ва дастрасии аҳоли ба ғизои хушсифат;
4. Вусъатдиҳии шӯғли пурмаҳсул.

Татбиқи ин ҳадафҳои стратегӣ ба маҷмуи нақлиётӣ ва инфрасохтори он робитаи мустақим доранд. Бояд қайд кард, ки маҷмуи нақлиётӣ дар ташаккули Маҷмуи Маҳсулоти Дохилии Ҷумҳурии Тоҷикистон дорои саҳми назаррас буда, солҳои охир то ба 10 ҷисад мерасад.

Ҳамзамон рушди соҳаи нақлиёт ва инфрасохтори он ба дараҷаи назаррас рушди соҳаҳои дигари иқтисодиро таъмин менамояд. Аз ин лиҳоз, барои Ҷумҳурии Тоҷикистон рушди нақлиёт ва инфрасохтори он, бахусус бар пояи истифодаи усулҳои инноватсионӣ бисёр муҳим мебошад.

Миқёси ҳамлунақл ва роҳҳои рушди инноватсионии он

Дар солҳои охир ҳаҷми боркашонии ҳамаи намудҳои нақлиёт дар Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 120 миллион тонна зиёд мебошад. Ҳиссаи асосии интиқоли борро нақлиёти автомобилӣ бо назардошти хусусиятҳои ҷойгиршавии ҷуғрофии кишвар ишғол мекунад.

Агар ба назар гирем, ки маҳсулоти нақлиёт интиқоли бор ва мусофирон ба масофаи муайян аст, пас омӯхтани тамоюли гардиши бор тавассути намудҳои алоҳидаи нақлиёт ва ҳиссаи онҳо муҳим аст. Сохтори гардиши бор аз рӯи ҳар як намуди нақлиёт дар ҷадвали 1 нишон дода шудааст.

Ҷадвали 1 – Сохтори гардиши бор тайи солҳои 1991-2023 (бо ҳисоби фоиз нисбат ба ҷамъбааст)

| | 1991 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2023 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| автомобилӣ | 13,8 | 24,1 | 63,0 | 83,6 | 94,6 | 96,5 | 97,5 |
| роҳи оҳан | 86,0 | 75,6 | 36,7 | 16,3 | 5,3 | 2,6 | 2,5 |
| ҳавоӣ | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,02 | 0,02 |

Сарчашма: дар асоси маълумоти маҷмуаҳои оморӣ “Нақлиёт ва алоқа дар Ҷумҳурии Тоҷикистон”, нашри солҳои 2020, 2024 ҷадвалро муаллиф таҳия намудааст.

Дар асоси таҳлили сохтори гардиши бор аз рӯи намудҳои алоҳидаи нақлиёт муайян карда шуд, ки дар муқоиса бо солҳои аввали соҳибистиклолии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар тӯли зиёда аз 30 сол тадриҷан нақлиёти роҳи оҳан мавқеи худро ба нақлиёти автомобилӣ дода истодааст, ки пеш аз ҳама бо коста шудани робитаҳои байнидавлатӣ дар ду даҳсолаи охир, коҳиш ёфтани ҳамлу нақли транзитии бор тавассути қисмати шимолии кишвар, барҳам хурдани низоми роҳи оҳани Осиёи Миёна ва аз он баромадани Роҳи Оҳани Тоҷикистон алоқамандӣ дорад.

Сабаби дигари тағйирот дар сохтори бозори хизматрасониҳои нақлиётӣ аз вазъи иҷтимоию иқтисодии кишвар вобаста буд ва дар солҳои оғози соҳибистиклолӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бо ҷанги шаҳрвандӣ дучор шудааст. Аммо агар ҳаҷми умумии гардиши борро муқоиса кунем, он нисбат ба нишондиҳандаи соли 1991 (303,0 млн.ткм) ду маротиба камтар аст. Бо вучуди ин, бо рушди иқтисодиёт ин нишондод бояд афзояд. Аз ин рӯ, яке аз вазифаҳои аввалиндараҷа рушди нақлиёт ва инфрасохтори он мебошад. Ин махсусан барои рушди минтақаҳои кишвар, ки дорои захираҳои назарраси эҳтимолии саноати истихроҷ ва коркард, кишоварзӣ ва ғайра мебошад, муҳим аст.

Барои зиёд кардани ҳаҷми ҳамлу нақл, тағйир додани сохтори парки воситаҳои нақлиёт тавассути пешбинӣ намудани якҷанд самтҳои инноватсионӣ ба мақсад мувофиқ мебошад. Аз ҷумла, дар нақлиёти роҳи оҳан таҷҳизонидани локомотивҳои пурқудрат ва тезҳаракат, вагонҳои боркашонӣ; кушодани хатсайрҳои нав бо таъмини шароити муносиб ва дорои қобилияти баланди ниғаҳдошт ва расонидани бор, кам кардани гардиши ҳолис аз ҷумла чорабиниҳои инноватсионӣ маҳсуб меёбанд.

Дар нақлиёти автомобилӣ зиёд кардани вазни қиёсии сохтори ҳаракаткунандаи қобилияти борбардории калон, миёна ва хурд бо дар назар доштани хусусиятҳои релеф, харидорӣ намудани воситаҳои нақлиётӣ бо асбобҳои худборкунӣ ҷиҳозонидашуда ва бордони ивазшаванда барои хизматрасонии савдои чакана, кишоварзӣ ва муассисаҳои коммуналиро пешбинӣ кардан лозим аст.

Дар нақлиёти ҳавоӣ – истифодаи ҳавопаймоҳои нави каммасраф қобили қабул мебошад [3].

Самтҳои инноватсионии рушди нақлиёти автомобилӣ

Нақлиёти автомобилӣ дар таъмини логистикӣ нақши бузург мебошад. Мусаллам аст, ки бештар муҳаррики автомобил ба сӯзиши сӯзишворӣ асос ёфта, моддаҳои зарарнок ихроҷ намуда, ба ифлосшавии атмосфера мусоидат мекунад. Дар аксари кишварҳои ҷаҳон ҷустуҷӯи ивазкунандаи сӯзишвории нафти идома дорад, ки метавонанд аз этанол, метанол, биогаз, гидроген, рағани рапс, нерӯи барқ ва ғайраҳо иборат бошанд.

Истифодаи сӯзишвории алтернативӣ метавонад дар шакли иловаҳо ва ивазкунии пурраи бензин бошад.

Биогаз сӯзишвории нисбатан нав, ояндадор, аз ҷиҳати экологӣ нисбатан тоза ва аз ҷиҳати иқтисодӣ ғоиданок барои муҳаррикҳои нақлиётӣ мебошад. Дар қисми ифлосшавии атмосфера биогаз аз сӯзишвории дизелӣ 75 фоиз ва аз бензин 50 фоиз тозатар аст.

Водород сӯзишвории аз ҷиҳати экологӣ тоза бо захираҳои номаҳдуд дар табиат мебошад. Камбудии асосии сифати сӯзишворӣ арзиши баланди гирифтани он, мушкулоти нигоҳдорӣ, энергияи баланд, ки барои фишор додани он зарур аст, дар ҳоле ки ҳиссаи ғунҷоии пасти энергияро доро аст.

Дар байни сӯзишвории алтернативӣ ҳамчунин рағани рапс ҷудо карда мешавад. Ба он Олмон, Фаронса, Белгия, Италия, Лаҳистон диққати бештар медиҳанд. Ҳангоми сӯختани рағани рапс, газҳои партов 20-25 фоиз камтар моддаҳои зараровар, ҳеле камтар сулфур доранд ва гардиши гази карбон хатари таъсири гармхонаро ба таври назаррас коҳиш медиҳад [4].

Афзалиятҳои автомобилҳои барқӣ коэффитсиенти баланди амали муфиди муҳаррик, набудани партовҳои зараровар, содагии сохтор ва идоракунӣ, эътимоднокии баланд ва устуворӣ мебошанд.

Аммо ташкили истеҳсоли серияи калон ҳанӯз имконнопазир аст. Мушкулоти асосӣ дар ин ҳолат набудани батареяҳои кофӣ ва шабакаи истгоҳҳои пуркунандаи барқ мебошад. Ва камбудии асосӣ, то имрӯз, арзиши баланди мошинҳои барқӣ мебошад.

Мувофиқи маълумоти омери гумрукӣ дар соли 2023 ба ҷумҳурӣ 3293 автомобилҳои барқӣ ба маблағи 59 миллион доллари ИМА ворид карда шуд ва дар нимаи аввали соли 2024 ин нишондиҳанда 5266 ададро бо арзиши миёнаи тақрибан 14,5 ҳазор доллари ИМА ташкил дод.

Бояд қайд кард, ки давомнокии миёнаи батареяи автомобилҳои барқӣ тақрибан 5 солро ташкил медиҳад, пас воридоти босуръати чунин воситаҳои нақлиёт, масъалаи бартарафкунии партовҳои электронӣ ба миён меояд.

Дар Барномаи рушди нақлиёти барқӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023-2028, ки Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон қабул намудааст, андешидани тадбирҳои зерин пешбинӣ шудаанд:

- таъсиси пойгоҳ барои истеҳсоли автомобилҳои барқӣ ва ҷузъҳои онҳо;
- сохтмони инфрасохтор барои таъмини барқ ва нигоҳдории автомобилҳои барқӣ;
- таҳияи технологияи истифодаи батареяҳо;
- додани имтиёзҳои иловагӣ ва дигар имтиёзҳо ба ронандагони нақлиёти барқӣ;
- ташаққули маҷмуи тадбирҳо оид ба ҳавасмандгардонии рушди нақлиёти барқӣ.

Рушди инфрасохтори нақлиётӣ

Қисми муҳими инфрасохтори нақлиёти ҷумҳурӣ роҳҳои автомобилӣ мебошанд. Дар ҷадвали 2 маълумот дар бораи ҳиссаи роҳҳои автомобилгарди асфалтпӯш нисбат ба дарозии умумии роҳҳои автомобилгарди истифодаи умумӣ, ки нигоҳдории онҳо ба Вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон вогузор шудааст, оварда шудааст.

Ҷадвали 2 – Ҳиссаи роҳҳои автомобилгарди асфалтпӯш нисбат ба дарозии умумии роҳҳои автомобилгарди истифодаи умум (Тибқи маълумоти Вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон)

| солҳо | Ҳамагӣ дар ҷумҳурӣ | ВМКБ | Вилояти Суғд | Вилояти Хатлон | ШНТҶ |
|-------|--------------------|------|--------------|----------------|------|
| 2015 | 31,7 | 5,1 | 41,3 | 32,4 | 44,0 |
| 2020 | 34,0 | 4,2 | 43,4 | 36,7 | 45,7 |
| 2023 | 35,0 | 5,3 | 45,4 | 37,9 | 45,5 |
| 2024 | 35,3 | 5,3 | 46,0 | 37,9 | 46,4 |

Манбаъ: муаллиф дар асоси маълумоти Вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳия кардааст.

Таҳлили ҷадвали 2 нишон медиҳад, ки ҳолати нисбатан ташвишвар дар роҳҳои автомобилгарди Вилояти Мухтори Кӯҳистони Бадахшон мушоҳида мешавад, ки дар он ҳиссаи роҳҳои асфалтпӯш ҳамагӣ 5,3 фоизро ташкил медиҳад. Дар маҷмӯъ, дар ҷумҳурӣ дар аввали соли 2025, танҳо 35,3 фоизи роҳҳои автомобилгарди истифодаи умум асфалтпӯш карда шудаанд ва афзоиши солоне аз 0,2 то 0,5 фоизро ташкил медиҳад.

Илова бар ин, дар қори дигар унсурҳои инфрасохтори нақлиётӣ мушкилот вучуд дорад.

Аз ин рӯ, барои рушди инноватсионии инфрасохтори нақлиётӣ, муносибати маҷмуиро тақозо менамояд, аз ҷумла:

дар аввал, сохтани терминалҳои боркаш дар наздикии маҳалҳои аҳолинишини калони кишвар ва агар имкон бошад, ба истоҳҳои роҳи оҳан наздиктар аст;

дуюм, тақсими мантиқии борҳое, ки дар терминалҳои боркашонӣ аз рӯи минтақаҳои ҷумҳурӣ бо истифода аз нармафзори махсус ҷамъ шудаанд, ки метавонанд борро ба минтақаҳои гуногуни ҷумҳурӣ бо назардошти ҳаҷми борҳои ҷамъшуда, самт ва масири интиқол ва намуди мувофиқи нақлиёти автомобилӣ, бо назардошти қобилияти борбардорӣ ва ҳолати техникии ҳайати ҳаракаткунанда ва ҳолати роҳҳои автомобилӣ тақсим кунанд.

Хулоса

Шарти зарурии тамомияти ҳудудӣ, ягонагии фазои иқтисодӣ, таъсиси фазои ягонаи нақлиётӣ-логистикӣ мебошад, ки минтақаҳои Тоҷикистонро муттаҳид мекунад. Инчунин, таъсиси низоми нақлиётӣ байни мамлакатҳои Осиё, аз ҷумла Осиёи Марказӣ, Чин, Эрон ва ғайраҳо, ки имкониятҳои рушди инноватсионии саноат, сохтмон, рушди иҷтимоӣ иқтисодии кишварро таъмин мекунад, афзалиятнок ҳисобида мешавад. Ин тадбир дар маҷмӯъ ба кишвар ва минтақаҳои алоҳидаи он барои ҳалли мушкилоти мавҷуда мусоидат мекунад.

Яке аз самтҳои асосии пешрафтаи рушди технологияҳои нақлиётӣ ҳамгироии равандҳои истеҳсолӣ ва нақлиётӣ дар асоси таъсиси ширкатҳои холдингӣ, кластерҳои нақлиётӣ дар асоси принципҳои логистика ва рушди долонҳои нақлиётӣ мебошад, ки дар Ҷумҳурии Тоҷикистон аллакай амалӣ шуда истодааст. Дар ин ҳолат, баланд бардоштани сатҳи техникии воситаҳои нақлиёт ва таҷҳизот, таъсис ва навинобарии инфрасохтор, истифодаи воситаҳои нақлиётӣ инноватсионӣ, идоракунии зарур аст.

Барои тақмили робитаҳои байналмилалӣ, аз ҷумла транзити борҳо ба самтҳои Осиё, Аврупо, Ҷануб ва Шимол, зарур аст, ки иқтисоди иншооти бандарӣ рушд ёбад, яъне Ҷумҳурии Тоҷикистон ба бандарҳои мамолики наздиктарини наздибаҳрӣ пайваست шавад, ки аллакай дар ин самт низ тадбирҳои амалӣ роҳандозӣ шуда истодаанд.

Дар маҷмӯъ, истифодаи усулҳои инноватсионӣ ба рушди инфрасохтори нақлиёти Тоҷикистон имкон медиҳад, ки самаранокии он дар шароити татбиқи СМП-2030 баланд бардошта шавад ва инчунин барои коҳиш додани газҳои гулхонаӣ ва моддаҳои ифлоскунанда ба атмосфера имконият фароҳам орад.

Муқарриз: Давлатшоев Р.А. — н.и.т., дотсенти қабедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣи ДПТТ ба номи акадeмик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Транспорт // Большая советская энциклопедия (БСЭ): 3-е изд. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.yugzon.ru>
2. Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030, https://medt.tj/documents/main/strategic_national_programm/strategic_national_prog_ru.pdf;
3. Шумаев, В.А. Логистика в теории и практике управления современной экономикой. Монография / В.А. Шумаев. –М.: НОУ ВПО «МУ им. С.Ю. Витте», 2014. -238 с.
4. Альтернативное топливо для автомобилей. URL: <http://altenergiya.ru/>.
5. Маҷмӯаҳои оморӣ “Нақлиёт ва алоқа дар Ҷумҳурии Тоҷикистон”, нашри солҳои 2020, 2024

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Давлатзода Киёмиддин | Давлатзода Киёмиддин | Davlatzoda Kiyomiddin |
| Маҷлиси намояндагони Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон | Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан | The Majlisi Namoyandagon of the Majlisi Oli of the Republic of Tajikistan |
| E-mail: davlatzodaqiyomiddin@gmail.com | | |

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМИ АКТИВАМИ (СУДА) НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассмотрены направления развития системы управления дорожными активами (СУДА) Республики Таджикистан с применением цифровых технологий и инструментов искусственного интеллекта (ИИ). Проанализированы современные подходы к цифровизации инфраструктуры, методы интеллектуальной диагностики и прогнозирования состояния дорожных покрытий. Предложена модель интеграции ИИ-аналитики, ГИС и цифровых двойников в единую платформу управления дорожной сетью.

Ключевые слова: СУДА, цифровизация, искусственный интеллект, дорожные активы, цифровой двойник, управление инфраструктурой.

ТАҶИИИ СИСТЕМАИ ИДОРАКУНИИ ДОРОИҶОИ РОҶ (СИДР) ДАР АСОСИ ТЕХНОЛОГИЯҶОИ РАҚАМӢ ВА ЗЕҶНИ СУНӢ

С.Б. Мирзозода, Ф.С. Мирзоев

Дар ин мақола самтҳои рушди системаи идоракунии дороиҳои роҳ (СИДР) дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бо истифода аз технологияҳои рақамӣ ва абзорҳои зеҳни сунӣ (ЗС) баррасӣ мешаванд. Равишҳои муосир ба рақамикунӣ инфрасохтор, усулҳои таҳлили интеллектуалӣ ва пешгӯии ҳолати рӯйпӯши роҳ таҳлил карда мешаванд. Модели ҳамгирии таҳлили зеҳни сунӣ, GIS ва дугоникҳои рақамӣ ба платформаи ягонаи идоракунии шабакаи роҳ пешниҳод карда мешавад.

Калидвожаҳо: СИДР, рақамикунӣ, зеҳни сунӣ, дороиҳои роҳ, дугоникҳои рақамӣ, идоракунии инфрасохтор.

DEVELOPMENT OF A ROAD ASSET MANAGEMENT SYSTEM (RAMS) BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

S.B. Mirzozoda, F.S. Mirzoev

This article examines the development trends of the Road Asset Management System (RAMS) in the Republic of Tajikistan using digital technologies and artificial intelligence (AI) tools. Modern approaches to infrastructure digitalization, methods for intelligent diagnostics, and road surface condition forecasting are analyzed. A model for integrating AI analytics, GIS, and digital twins into a unified road network management platform is proposed.

Keywords: RAMS, digitalization, artificial intelligence, road assets, digital twin, infrastructure management.

Введение

Современная дорожная отрасль переживает цифровую трансформацию, основанную на использовании технологий анализа больших данных, искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых платформ управления активами. Для Таджикистана, где протяжённость дорожной сети превышает 26300 км, переход к интеллектуальной модели управления является стратегическим направлением устойчивого развития транспортной инфраструктуры [1, 2].

Создание и развитие национальной системы управления дорожными активами (СУДА) предполагает интеграцию цифровых решений: ГИС-платформ, систем диагностики RTRRMS, анализа IRI/PCI и прогнозных моделей на основе ИИ. Это позволит повысить точность оценки состояния автомобильных дорог, оптимизировать ремонты и обеспечить рациональное распределение ограниченных ресурсов [3].

Цифровизация и концепция СУДА

Система управления дорожными активами (СУДА, англ. *Road Asset Management System - RAMS*) представляет собой комплекс организационно-технических, цифровых и аналитических инструментов, предназначенных для обеспечения рационального использования, содержания и восстановления автомобильных дорог на протяжении всего их жизненного цикла [4].

В соответствии с определениями AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) и PIARC, управление дорожными активами - это процесс, основанный на данных (*data-driven management - управление на основе данных*), направленный на достижение баланса между уровнем обслуживания, безопасностью и затратами на протяжении всего срока эксплуатации [5].

Структура и основные функции СУДА

Современная СУДА включает пять ключевых функциональных блоков:

1. **Инвентаризация активов** – создание цифрового реестра всех элементов дорожной инфраструктуры: дорог, мостов, тоннелей, труб, дренажных систем, опор освещения и т.д. Для каждого объекта формируется уникальный идентификатор, технический паспорт и географическая привязка в ГИС.

2. **Диагностика и мониторинг состояния** – сбор данных с мобильных лабораторий (RTRRMS, FWD, LIDAR, дроны), определение показателей IRI, PCI, MPD, глубины колеи и других индикаторов. Эти данные преобразуются в цифровые форматы и интегрируются в центральную базу.

3. *Планирование ремонтов и инвестиций* – на основе алгоритмов приоритизации система определяет оптимальный набор ремонтных мероприятий, учитывая техническое состояние, интенсивность движения, категорию дороги и ограниченный бюджет.

4. *Оценка экономической эффективности* – расчёт ключевых показателей эффективности, таких как **NPV** (Net Present Value - Чистая текущая стоимость или Чистый дисконтированный доход), **PI** (Profitability Index - Индекс доходности), **ROI / Э** (Return on Investment / Экономическая эффективность) и **IRR** (Internal Rate of Return - Внутренняя норма доходности), с целью обоснования приоритетов финансирования.

5. *Прогнозирование и аналитика* – использование моделей деградации покрытий и инструментов машинного обучения для прогнозирования состояния сети на 3-5 лет вперёд и оценки влияния различных стратегий ремонта [6].

Цифровая концепция управления активами

Цифровизация дорожного хозяйства предполагает переход от традиционных методов планирования (основанных на экспертных оценках) к интеллектуальной модели управления активами, где решения принимаются на основе больших данных, прогнозных моделей и автоматизированных алгоритмов.

Основные элементы цифровой концепции СУДА:

- *Интегрированные базы данных* – централизованное хранение информации о дорогах, мостах, сооружениях, дефектах и ремонтных мероприятиях;
- *ГИС-платформа* – визуализация объектов инфраструктуры, пространственный анализ и привязка всех данных к географическим координатам;
- *Модули анализа данных (Big Data Analytics)* – обработка больших массивов информации о дефектах, трафике и климате;
- *Интеллектуальные алгоритмы (AI/ML)* – прогнозирование износа, определение приоритетов ремонтов, выявление аномалий в данных;
- *Цифровые двойники (Digital Twins)* – моделирование поведения реальных дорог в виртуальной среде с возможностью сценарного анализа;
- *API-интеграция* – обмен данными между министерствами, подрядчиками, лабораториями и проектными институтами.

Актуальность внедрения СУДА для Таджикистана

Для сети автомобильных дорог Таджикистана, где более 80 % дорог проходят в горных районах, средний возраст покрытий превышает 20 лет, а доля дорог в хорошем состоянии не превышает 45 %, внедрение цифровой СУДА позволяет решить три ключевые задачи:

1. *Повышение прозрачности управления* – за счёт перехода от экспертных оценок к измеримым цифровым показателям.

2. *Оптимизация бюджета* – перераспределение средств на основе объективных данных и прогнозов эффективности.

3. *Увеличение срока службы дорог* – за счёт применения принципа «ремонт по состоянию» и предотвращения преждевременной деградации.

Этапы цифровизации СУДА

Этап-1. Инвентаризация активов: создание геоинформационной базы данных дорог и объектов.

Этап-2. Цифровая диагностика: сбор показателей IRI, PCI, FWD, MPD, дефектов покрытия и подстилающих слоёв.

Этап-3. Интеграция данных: загрузка информации в ГИС-платформу и базу данных СУДА с API-доступом.

Этап-4. Аналитика и прогнозирование: применение алгоритмов машинного обучения (AI/ML) для моделирования износа и оценки остаточного ресурса.

Этап-5. Принятие решений и мониторинг: визуализация данных, расчёт экономических показателей (NPV, PI, ROI/Э) и формирование приоритетов ремонтов.

Международная практика внедрения СУДА

В мировой практике разработано несколько эталонных систем управления дорожными активами, каждая из которых адаптируется под местные условия. В таблице 1 приведены международные системы управления дорожными активами и их особенности.

Таблица 1 - Особенности международных СУДА

| Страна / организация | Система | Особенности системы |
|------------------------|---|---|
| США | AASHTO PMS (Pavement Management System - Система управления дорожным покрытием) | Применяется во всех штатах; включает расчёт показателей PSI, IRI, SDI; интеграция с экономическими моделями. |
| Канада | TAC RAMS | Использует прогнозные модели на основе климатических и нагрузочных данных; поддержка облачных решений. |
| Великобритания | HMEP (Highways Maintenance Efficiency Programme - Программа повышения эффективности обслуживания автомобильных дорог) | Сфокусирована на оптимизации затрат и жизненного цикла дорог. |
| Европейский союз | HDM-IV (Highway Development and Management Model - Модель развития и управления автомагистралями) | Модель, применяемая в более чем 100 странах; расчёт жизненного цикла дороги и экономической эффективности ремонтов. |
| Казахстан / Узбекистан | СМАД (Road Asset Management Platform - Платформа управления дорожными активами) | Цифровая карта дорог, прогноз износа, интеграция с ГИС и HDM-IV; адаптация к горно-климатическим условиям. |

Ожидаемые результаты от внедрения СУДА

По данным исследований TRL и WSP [6, 7], внедрение СУДА обеспечивает:

- сокращение затрат на содержание сети на 15-25 %;
- увеличение доли дорог в хорошем состоянии до 60-70 %;
- повышение прозрачности финансирования и управляемости отрасли;
- ускорение подготовки отчетности и повышения уровня доверия инвесторов.

Для Таджикистана СУДА станет основой перехода к интеллектуальному управлению дорожной сетью, где каждое решение опирается на точные данные и цифровой анализ.

Роль искусственного интеллекта (ИИ) в управлении дорожными активами

Применение ИИ открывает новые возможности в обработке и интерпретации данных о состоянии дорог. Рассмотрим основные направления применения ИИ [7, 8]:

1. *Компьютерное зрение* – автоматическое распознавание дефектов по фото- и видеоматериалам.
2. *Машинное обучение (ML)* – прогнозирование показателей IRI, PCI, MPD по историческим данным.
3. *Нейронные сети* – определение оптимальных стратегий ремонтов и оценки остаточного ресурса.
4. *Предиктивная аналитика* – моделирование сценариев деградации покрытия.

По данным WSP (2023) [9], применение ИИ в RAMS позволяет сократить время анализа данных на 40 % и увеличить точность прогнозов до 92 %.

Структура интеграции цифровой СУДА с ИИ-модулями

Развитая СУДА включает пять взаимосвязанных модулей (см. Рис. 1):

1. *Модуль данных* – сбор и хранение информации о состоянии дорог (IRI, FWD, DCP).
2. *Модуль ГИС* – пространственное отображение активов и их технических характеристик.
3. *Модуль ИИ-аналитики* – прогнозирование, кластеризация дефектов, оптимизация ремонтов.
4. *Модуль экономической оценки* – расчёт NPV, PI и индекса эффективности проектов.
5. *Модуль управления* – формирование решений, визуализация отчётов, контроль исполнения.



Рисунок 1 - Структура цифровой СУДА с ИИ-модулями

На **Рис.1** показаны потоки данных от сенсоров и диагностики через ГИС в ИИ-модуль (AI), далее – аналитический анализ и принятие инженерных решений.

Используемые технологии

Развитие цифровой платформы управления дорожной инфраструктурой Таджикистана основано на интеграции передовых технологий, каждая из которых выполняет специфическую роль в формировании единой интеллектуальной экосистемы:

- **IoT** – датчики прогиба, вибраций, температуры, трафика;
- **Big Data** – интеграция больших массивов диагностических данных;
- **AI/ML-алгоритмы** – обучение моделей на данных RTRRMS;
- **Digital Twin** – создание цифрового двойника дороги;
- **Cloud Platform** – централизованное хранение данных с веб-доступом.

Совместное применение этих решений обеспечивает непрерывный цикл управления дорожными активами - от сбора данных до прогнозирования и принятия решений.

Далее рассмотрим более подробно каждую из этих технологий.

IoT (Internet of Things - Вещественный интернет)

В дорожной отрасли IoT-технологии применяются для непрерывного мониторинга состояния дорог и транспортных потоков.

По периметру автомобильных дорог и мостов устанавливаются сенсоры, измеряющие:

- *прогиб покрытия*, отражающий несущую способность конструкции;
- *вибрации и удары*, связанные с динамическими нагрузками от транспорта;
- *температуру и влажность*, влияющие на процессы разрушения;
- *интенсивность трафика и осевую нагрузку*.

Передаваемые через GSM, LTE или спутниковые каналы данные поступают в облачный центр обработки, где формируются временные ряды и индексы эксплуатационного состояния.

Это позволяет в реальном времени отслеживать деградацию покрытия, выявлять аномалии и предупреждать аварийные участки.

Big Data – Обработка больших данных

В результате цифровизации дорожного хозяйства формируются огромные массивы диагностической информации: данные RTRRMS, FWD, PCI, IRI, климатические и экономические показатели. Системы класса Big Data обеспечивают:

- интеграцию разнородных источников данных (лаборатории, подрядчики, датчики, ГИС);
- очистку, фильтрацию и стандартизацию поступающей информации;
- высокопроизводительный анализ для выявления закономерностей между состоянием дорог и внешними факторами (нагрузка, климат, возраст).

Использование Big Data повышает качество решений в СУДА, позволяя перейти от статической статистики к динамическим аналитическим моделям, учитывающим региональные особенности дорожной сети Таджикистана [1].

AI / ML (Artificial Intelligence / Machine Learning) – Искусственный интеллект и машинное обучение

Технологии ИИ и машинного обучения занимают центральное место в интеллектуальной модели СУДА. На основании больших массивов данных, собранных системами RTRRMS и ГИС, обучаются модели, которые:

- прогнозируют скорость износа покрытия и изменение показателя IRI;
- определяют остаточный срок службы и вероятность возникновения дефектов;
- формируют приоритетные участки для ремонта с учётом экономических ограничений;
- выявляют аномалии, связанные с качеством ремонтов или нарушением технологии укладки.

Применение ИИ позволяет создать предиктивную модель управления, при которой система не только описывает текущее состояние, но и предсказывает его изменение на 1-3 года вперёд, что особенно важно в условиях ограниченного финансирования дорожного хозяйства [2].

Digital Twin – Цифровой двойник дороги

Цифровой двойник - это виртуальная копия дорожного объекта, отражающая его реальное состояние и поведение под воздействием транспортных, климатических и эксплуатационных факторов.

В рамках СУДА цифровой двойник включает:

- 3D-модель дорожной конструкции и инфраструктуры (мосты, дренаж, обочины);
- реальные эксплуатационные данные с IoT-датчиков;
- аналитические алгоритмы ИИ для прогнозирования износа.

Использование цифровых двойников позволяет моделировать сценарии ремонтов, оценивать эффективность различных материалов, рассчитывать ожидаемую долговечность и стоимость жизненного цикла дороги.

В перспективе такие модели могут применяться при проектировании и эксплуатации дорог международного значения (Душанбе-Худжанд, Душанбе-Куляб-Хорог) [3].

Cloud Platform – Облачная платформа управления данными

Все цифровые компоненты СУДА объединяются в облачную среду, обеспечивающую централизованное хранение, защиту и обмен данными.

Облачная платформа предоставляет:

- веб-доступ для пользователей (инженеров, аналитиков, министерств, подрядчиков);
- интероперабельность – совместимость с различными приложениями (ГИС, BIM, HDM-IV, Excel, QGIS);
- автоматическое обновление данных при поступлении новых диагностических результатов;
- безопасность и резервирование информации.

Такой подход позволяет обеспечить национальный масштаб управления активами, когда все регионы Таджикистана работают в едином цифровом контуре с актуальными данными и автоматическим обновлением показателей состояния [4].

Следовательно, совокупное применение технологий IoT, Big Data, AI/ML, Digital Twin и Cloud Platform формирует основу интеллектуальной модели СУДА нового поколения, обеспечивающей непрерывный цикл «Данные → Анализ → Решение → Обратная связь». Это позволяет перейти от разрозненного и реактивного управления к предиктивной модели, при которой решения принимаются на основе точных цифровых данных, прогнозов и экономической эффективности.

Модель интеграции ИИ в процесс управления

Интеграция ИИ в модель СУДА включает последовательные этапы, которые наглядно отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы интеграции ИИ в СУДА Республики Таджикистан

| Этапы | Описание | Ожидаемый результат |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Сбор данных | Диагностика IRI, PCI, FWD | База данных дефектов |
| 2. Обработка данных | Очистка и стандартизация данных | Единый формат данных |
| 3. Обучение моделей | Применение ML-алгоритмов | Модель прогноза износа |
| 4. Прогнозирование | Расчёт остаточного ресурса покрытия | Приоритезация ремонтов |
| 5. Внедрение | Встраивание ИИ-аналитики в СУДА | Автоматизированное принятие решений |

Практическая значимость и ожидаемые результаты

Применение цифровых технологий и ИИ в СУДА Таджикистана обеспечит [3, 7, 9]:

- повышение точности оценки состояния дорог на 40-50 %;
- снижение затрат на диагностику и планирование до 25 %;
- оптимизацию приоритетов ремонтов и распределения бюджета;
- повышение прозрачности и контроля реализации программ.

Цифровая СУДА с ИИ-поддержкой позволит перейти от реактивного к предиктивному управлению дорогами, что особенно важно при ограниченных ресурсах и сложных климатических условиях страны [8].

Проблемы внедрения и пути их решения

Внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта в систему управления дорожными активами (СУДА) Республики Таджикистан сопровождается рядом организационных, технических, финансовых и нормативных проблем, характерных для развивающихся стран. Несмотря на наличие стратегического интереса к цифровизации транспортной отрасли, процесс её практической реализации требует комплексного подхода, включающего институциональные, кадровые и технологические меры [10].

Далее, более подробно рассмотрим 5 основных проблем внедрения цифровых технологий и искусственного интеллекта в СУДА и пути их решения.

1. Финансовые ограничения.

Одной из ключевых проблем остаётся недостаток стабильного финансирования на создание и сопровождение цифровых систем.

Разработка, лицензирование и обслуживание ГИС-платформ, диагностических комплексов и облачной инфраструктуры требуют значительных первоначальных вложений. Кроме того, текущие бюджеты дорожных организаций формируются преимущественно под физические ремонты, а не под инвестиции в цифровые решения.

Отсутствие механизма софинансирования с международными финансовыми институтами (ЕБРР, АБР, Всемирный банк) ограничивает возможность внедрения современных решений, хотя эти организации активно поддерживают цифровизацию дорожного сектора в странах Центральной Азии.

Для решения этой проблемы необходимо:

- предусмотреть отдельную бюджетную статью для цифровизации дорожного хозяйства;
- разработать государственную программу «Цифровая СУДА – 2030» с поэтапным финансированием;
- привлечь международные гранты и кредитные линии на внедрение ИИ и ГИС-технологий.

2. Кадровый дефицит.

В дорожных организациях республики наблюдается нехватка специалистов в области ГИС-технологий, программирования, анализа данных и искусственного интеллекта.

Большинство инженерно-технических работников имеют опыт эксплуатации и ремонта, но не владеют цифровыми инструментами сбора, анализа и визуализации данных. Это существенно снижает эффективность внедряемых систем.

Для решения этой проблемы необходимо:

- создать Центр подготовки и переподготовки кадров в области цифрового управления дорогами при Министерстве транспорта Таджикистана;
- ввести учебные модули по ГИС, BIM и ИИ в программы Таджикского технического университета;
- реализовать совместные стажировки с международными дорожными институтами (PIARC, TRL, KazdorNII, AASHTO).

3. Нормативно-правовая база.

На сегодняшний день отсутствует единая нормативная база для регулирования процессов цифровизации и обмена данными между организациями дорожной отрасли. Не определены стандарты форматов данных, структура цифровых паспортов дорог, правила интеграции с ГИС и облачными системами, а также порядок верификации данных, полученных с помощью сенсорных и ИИ-систем.

Для решения этой проблемы необходимо:

- разработать национальный стандарт «СУДА-ТJ», регламентирующий сбор, хранение и обмен цифровыми данными о дорогах;
- включить в действующие СНИП и ГОСТы разделы, посвящённые цифровой диагностике, цифровым двойникам и интеграции ИИ;
- принять Постановление Правительства Республики Таджикистан о внедрении цифровых технологий в дорожной отрасли, аналогично инициативам Казахстана и Узбекистана.

4. Технологическая несовместимость и фрагментарность данных.

Различные организации (проектные, дорожно-строительные, дорожно-эксплуатационные, подрядчики, лаборатории) используют разнородное программное обеспечение и несогласованные форматы данных.

В результате невозможно объединить эти данные в единую базу или выполнять автоматический анализ, что препятствует созданию сквозной цифровой СУДА.

Для решения этой проблемы необходимо:

- внедрить открытые программные решения и платформы с поддержкой форматов GeoJSON, IFC, CSV и API-интерфейсов (например, *GeoServer, ArcGIS Online, QGIS, HDM-IV, TensorFlow*). Расшифровка форматов и интерфейсов приведена в таблице 3;
- создать национальную интеграционную базу данных, обеспечивающую обмен информацией между министерствами и подрядными организациями;
- разработать унифицированные классификаторы активов и дефектов, чтобы исключить дублирование и несогласованность.

Таблица 3 - Основные форматы и интерфейсы цифровой платформы управления дорожными данными

| Формат / Интерфейс | Расшифровка | Назначение | Область применения |
|--------------------|---|---|---|
| GeoJSON | <i>Geographic JavaScript Object Notation</i> – Географический формат JSON | Хранение и обмен пространственными данными (точки, линии, полигоны) | Веб-карты, ГИС (QGIS, ArcGIS, GeoServer), системы мониторинга состояния дорог |
| IFC | <i>Industry Foundation Classes</i> – Индустриальные базовые классы | Универсальный BIM-формат для обмена 3D-моделями объектов инфраструктуры | BIM-платформы (Revit, Tekla), цифровые двойники мостов и дорог |
| CSV | <i>Comma-Separated Values</i> – значения, разделённые запятыми | Хранение табличных данных в текстовом виде, удобное для анализа и обмена | Импорт/экспорт данных в Excel, HDM-IV, QGIS, TensorFlow |
| API | <i>Application Programming Interface</i> – программный интерфейс приложения | Связь и обмен данными между программами и веб-сервисами | Интеграция систем (GeoServer, ArcGIS Online, QGIS, HDM-IV, TensorFlow) |
| GeoServer | Веб-платформа для публикации пространственных данных (WMS, WFS) | Централизованное хранение и доступ к картографическим слоям | Национальные геопорталы, цифровые карты дорог |
| ArcGIS Online | Облачный сервис от Esri для анализа и обмена ГИС-данными | Визуализация и совместное использование пространственных данных | Геопорталы, управление дорожными активами |
| QGIS | <i>Quantum GIS</i> – свободная настольная ГИС-платформа | Анализ и обработка пространственных данных, интеграция с GeoServer и HDM-IV | Планирование ремонтов, анализ дорожных условий |
| HDM-IV | <i>Highway Development and Management Model</i> – модель управления развитием дорог | Экономико-инженерная модель для анализа жизненного цикла и выбора стратегий ремонта | Оценка стоимости, NPV/PI-анализ, планирование ремонтов |
| TensorFlow | Платформа машинного обучения от Google | Построение и обучение нейронных сетей для прогнозирования и классификации | Анализ больших данных, прогноз износа дорожных покрытий |

5. Ограниченная институциональная поддержка.

Внедрение цифровых решений требует координации действий между различными ведомствами - Министерством транспорта, дорожными управлениями, органами надзора и проектными институтами.

На практике отсутствует единый оператор, ответственный за реализацию цифровой трансформации отрасли.

Для решения этой проблемы необходимо:

- создать Центр искусственного интеллекта и цифровых технологий дорожной отрасли при Министерстве транспорта РТ, который возьмёт на себя функции:
 - администрирования и развития СУДА;
 - координации пилотных проектов;
 - сопровождения цифровых стандартов и технических регламентов.
- наделить Центр правом утверждения форматов данных и доступа к цифровой инфраструктуре.

Для успешной реализации цифровой СУДА рекомендуется применять поэтапный подход, включающий внедрение пилотных проектов в отдельных регионах, их тестирование, адаптацию и последующее масштабирование.

1. Пилотные регионы:

- Согдийская область - из-за высокой интенсивности движения и наличия стратегических трасс (Душанбе-Худжанд).
- Хатлонская область - для испытания технологий на дорогах с различными климатическими условиями.

2. Этапы пилотирования:

- создание цифровой карты дорог и инвентаризация активов;
- сбор данных с использованием RTRMS и IoT-сенсоров;
- разработка аналитического модуля на основе AI/ML;
- интеграция с ГИС и облачной платформой.

3. Этап масштабирования:

После оценки результатов пилотных проектов - распространение системы на остальные регионы республики и формирование национального банка данных по состоянию дорожной сети.

Для ускорения цифровой трансформации дорожного сектора Таджикистану целесообразно развивать партнёрские программы с ведущими международными организациями и исследовательскими центрами, такими как PIARC, ADB, EBRD, World Bank, TRL.

Такое сотрудничество с международными партнёрами позволит:

- адаптировать лучшие международные практики (HDM-IV, RAMS, BIM/GIS-интеграцию);
- получить доступ к обучающим программам и технической экспертизе;
- привлечь инвестиции и гранты на внедрение цифровых технологий.

Заключение

Таким образом, ключевые направления преодоления возникающих проблем внедрения цифровой модели СУДА в Таджикистане включают:

- формирование нормативно-правовой базы цифрового управления дорогами;
- развитие кадрового потенциала и технической компетенции специалистов;
- создание Центра компетенций по ИИ и цифровым технологиям;
- внедрение открытых технологических решений и единого формата данных;
- развитие международного партнёрства и поэтапное масштабирование цифровых систем.

Реализация этих мер позволит обеспечить устойчивое функционирование СУДА и перейти от локальных инициатив к полноценной национальной системе интеллектуального управления дорожными активами.

Следует отметить, что Правительство Республики Таджикистан в настоящее время оказывает активное содействие внедрению искусственного интеллекта во все сферы деятельности страны, разработана и утверждена «Стратегия развития искусственного интеллекта до 2040 года». В рамках реализации данной стратегии в Таджикистане в образовательные программы 10 университетов страны уже включена новая специальность - «Искусственный интеллект». Кроме того, уже подготовлено более 750 молодых специалистов, а внедрение стратегии началось в 100 учебных заведениях страны. Об этом сообщил Первый заместитель Премьер-министра Таджикистана 25 октября 2025 года на Международной конференции «AI Conf 2025» в Душанбе. Он отметил, что внедрение ИИ в систему образования - это не просто инновация, а важный шаг к развитию интеллектуального потенциала молодёжи и адаптации обучения к современным требованиям.

Рецензент: Сайраҳмонов Ғ.Х. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ТПУ им. акад. М.С. Осими.

Литература

1. Massoumi R. Digitization – key to sustainable asset management. *Arcadis Insights*, 2024.
2. Attencia G., Mattos C. Adoption of digital technologies for asset management in construction projects. *ITcon*, Vol. 27 (2022), pp. 619–629. DOI: 10.36680/j.itcon.2022.030.

3. Yan Y. et al. Digital Twin Enabling Technologies for Advancing Road Asset Management. *Transportation Infrastructure Research*, 2024.
4. AASHTO. Transportation Asset Management Guide. 2nd Edition. Washington D.C., 2020.
5. WSP. Artificial Intelligence in Infrastructure Asset Management. London, 2023.
6. ESRI Inc. GeoAI and Spatial Analytics for Transportation Asset Management. Redlands, 2024.
7. Zhang P., Li Q. AI-based Prediction Models for Pavement Condition Assessment. *Automation in Construction*, 2024.
8. Министерство транспорта РТ. Годовой отчёт о состоянии дорожной сети. Душанбе, 2024.
9. Мирзозода С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, 2023. - 264 с.
10. Intellias. AI and Big Data in Smart Road Asset Management. *Whitepaper*, 2024.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Мирзозода Сухроб Бегмат | Мирзозода Сухроб Бегмат | Mirzozoda Sukhrob Begmat |
| номзади илмҳои техники, 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 academician M.S. Osimi. |
| E-mail: sukhrob63@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Мирзоев Фаридун Сухробович | Мирзоев Фаридун Сухробович | Mirzoev Faridun Suhrobovich |
| муҳандиси-тарҳрезӣ Шӯъбаи техникӣ | инженер-проектировщик Технического департамента | engineer - designer of the Technical department |
| ҚСЖ «Таджикгидроэлектромонтаж» | ОАО «Таджикгидроэлектромонтаж» | JSC «Tajikhydroelectromontazh» |
| E-mail: farid.mirzaev.96@bk.ru | | |

СТАНДАРТИЗАЦИЯ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЛОГИСТИКИ ТАДЖИКИСТАНА: СТРАТЕГИИ К СТАНДАРТАМ – СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗВИТИЮ

¹Р.С. Саломзода, ²М.Дж. Бобоев

¹Исполнительный орган государственной власти города Душанбе

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье анализируется комплексный подход Республики Таджикистан к коренной трансформации логистического сектора через синергию Государственной программы развития системы логистики на 2023-2028 годы и пакета из пяти новых национальных стандартов (СТ РТ 1145-1149). Программа задает стратегические цели и финансовые ориентиры, стандарты выполняют роль фундаментального институционального каркаса, обеспечивающего их достижение. Детально раскрывается значение каждого стандарта: требования к логистическим центрам (СТ РТ 1145), унификация терминологии (СТ РТ 1146), стандартизация услуг (СТ РТ 1147), классификация складской инфраструктуры (СТ РТ 1148), и система сертификации персонала (СТ РТ 1149). Делается вывод о том, что именно внедрение этих стандартов создает предсказуемые условия для инвестиций, обеспечивает единство требований к качеству и формирует основу для интеграции национальной логистической системы в международные транспортные коридоры, что в конечном итоге ведет к построению современной, сильной и конкурентоспособной национальной экономики.

Ключевые слова: логистика, Республика Таджикистан, Государственная программа, национальные стандарты, стандартизация, инвестиции, транспортно-логистические центры, сертификация персонала, экономический рост.

СТАНДАРТИЗАТСИЯ ҲАМЧУН ОМИЛИ МУҲИМИ РУШДИ НИЗОМИ ЛОГИСТИКАИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: СТРАТЕГИЯҲОИ ГУЗАРИШ БА СТАНДАРТҲО – РУШДИ НИЗОМИ ИДОРАКУНӢ

Р.С. Саломзода, М.Ҷ. Бобоев

Дар ин мақола равиши комплексии Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таҳдидҳои амики соҳавии логистика тавассути ҳамгирони Барномаи давлатии рушди низоми логистика дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2023–2028 ва маҷмӯи панҷ стандарти нави миллий (СТ РТ 1145–1149) мавриди таҳлил қарор мегирад. Барнома ҳадафҳои стратегӣ ва нишондодҳои молиявиро муайян мекунад, дар ҳоле, ки стандартҳо ҳамчун ҷаҳорҷӯбаи институтиони асосӣ амал намуда, заминаи амалӣ гардидани ин ҳадафҳоро таъмин менамоянд. Мазмун ва аҳамияти ҳар як стандарт муфассал шарҳ дода мешавад: талабот ба мутахасссонидани техникӣ ва хизматрасониҳои нақлиётӣ-экспедитсионӣ (СТ РТ 1145), истилоҳот ва таърифҳои фаъолияти логистикӣ (СТ РТ 1146), талаботи умумӣ ва расмиёти сертификатсиякунонӣ (СТ РТ 1147), таснифоти инфрасохтори анборҳо (СТ РТ 1148) ва талабот ба салоҳияти касбии кормандоне, ки хизматрасониҳои логистикиро иҷро мекунад ва расмиёти сертификатсиякунонӣ (СТ РТ 1149). Хулоса бароварда мешавад, ки таъбиқи ин стандартҳо шароити пешбурдашавандаро барои ҷалби сармоягузорӣ фароҳам оварда, ягонагии талабот ба сифатро таъмин намуда, заминаи ҳамгирони системаи миллии логистикаи кишварро ба долонҳои байналмилалӣ нақлиётӣ ба вучуд меорад, ки дар натиҷа ба ташаккули иқтисодиёти муосир, қавӣ ва рақобатпазир мусоидат мекунад.

Калидвожаҳо: логистика, Ҷумҳурии Тоҷикистон, Барномаи давлатӣ, стандартҳои миллий, стандартизатсия, сармоягузорӣ, марказҳои нақлиёти логистикӣ, сертификатсияи кормандон, рушди иқтисодӣ.

STANDARDIZATION AS A KEY ELEMENT IN THE DEVELOPMENT OF TAJIKISTAN'S LOGISTICS SYSTEM: STRATEGIES TOWARD STANDARDS – A SYSTEMIC APPROACH TO DEVELOPMENT

R.S. Salomzoda, M.J. Boboev

This article examines the comprehensive approach of the Republic of Tajikistan to fundamentally transforming its logistics sector through the synergy of the State Program for the Development of the Logistics System for 2023-2028 and a package of five new national standards (ST RT 1145-1149). The author argues that while the Program sets strategic goals and financial benchmarks, the standards serve as a fundamental institutional framework that ensures their achievement. The significance of each standard is detailed: requirements for transport and logistics centers (ST RT 1145), terminology unification (ST RT 1146), standardization of services (ST RT 1147), classification of warehouse infrastructure (ST RT 1148), and a personnel certification system (ST RT 1149). The conclusion is drawn that the implementation of these standards creates predictable conditions for investment, ensures uniform quality requirements, and forms the basis for integrating the national logistics system into international transport corridors, ultimately leading to the building of a modern, strong, and competitive national economy.

Keywords: logistics, Republic of Tajikistan, State Program, national standards, standardization, investments, transport and logistics centers, personnel certification, economic growth.

Введение

Современная экономическая теория рассматривает логистику как критически важный элемент экономического развития. Логистика – это не просто транспортировка грузов, а комплексное управление материальными, информационными и финансовыми потоками на всех этапах движения товаров от производителя к потребителю. Эффективная логистическая система снижает транзакционные издержки, повышает конкурентоспособность продукции и создает благоприятные условия для инвестиционной активности [3, 4].

В условиях глобализации экономики логистическая инфраструктура становится ключевым фактором интеграции национальных экономик в мировые цепочки создания стоимости [5]. Для страны, не имеющей выхода к морю, такой как Таджикистан, развитие современных логистических мощностей приобретает особое стратегическое значение, позволяя компенсировать географические ограничения за счет создания эффективных транзитных коридоров.

В октябре 2023 года подписанием Постановления Правительства №503 была запущена Государственная программа развития системы логистики в Республике Таджикистан на 2023-2028 годы [1]. Этот амбициозный документ – не просто список желаний, а комплексный стратегический план, нацеленный на трансформацию существующей отраслей национальной экономики в современный, высокотехнологичный и конкурентоспособный сектор. Однако любая стратегия, сколь бы прекрасной она ни была на бумаге, рискует остаться благим намерением без четких, унифицированных и обязательных к применению «правил игры». Именно эту фундаментальную роль – роль несущей конструкции всего здания национальной логистики – и призваны выполнить пять новых Государственных стандартов (СТ РТ), разработанных по инициативе Министерства транспорта и официально утвержденных и принятых Агентством по стандартизации метрологии, сертификации и торговой инспекции при Правительстве Республики Таджикистан - Таджикстандарт (Приказ №249/п от 28 марта 2025 года) [7 - 11].

Общая часть

В данной статье сделана попытка показать неразрывную связь между стратегией (Государственной программой) и техническими инструментами (стандартами), объяснив, почему именно стандартизация является тем самым рычагом, который позволит перевернуть логистическую отрасль страны.

Преамбула Государственной программы дает краткое описание текущей ситуации логистического сектора страны. Республика занимает 97-е место (по данным 2023 года) в рейтинге Всемирного банка по индексу эффективности логистики (LPI).¹ [2] Система находится в зачаточном состоянии, характеризуясь:

- **Низким техническим уровнем:** Изношенная складская и терминальная инфраструктура, отсутствие современных систем управления.
- **Информационной непрозрачностью:** Отсутствие единых правил учета и классификации, что делает невозможным эффективное взаимодействие между звеньями цепи поставок.
- **Кадровым недостатком:** Отсутствие единых требований к квалификации персонала приводит к низкому качеству услуг [6].
- **Стихийностью связей:** Производители, перевозчики, склады и потребители действуют разрозненно, что порождает колоссальные издержки и потери времени.

Инвестиции в инфраструктуру без изменения этих системных проблем не дает получению необходимого эффекта для достижения цели. К примеру, можно построить десяток новых терминалов, но, если они будут работать по старым, неэффективным методам и механизмам, результат будет минимальным. Именно поэтому следующим логичным шагом после принятия Программы стала разработка пакета стандартов.

Каждый из пяти стандартов решает свою уникальную задачу, а вместе они формируют целостную экосистему правил.

1. СТ РТ 1145 «Требования к техническому оснащению и транспортно-экспедиционному обслуживанию» [7]

Этот стандарт задает высшую планку для самых современных логистических объектов – транспортно-логистических центров (ТЛЦ). Он определяет не только параметры зданий, но и требования к оказываемым на их базе экспедиторским услугам, вводя коэффициент комплексности услуг.

Он является ориентиром для создания объектов национального и международного значения. Именно такие транспортно-логистические центры (ТЛЦ), построенные по стандарту, станут ключевыми узлами в международных транспортных коридорах, проходящих через Таджикистан. Они будут конкурировать не на внутреннем, а на региональном рынке логистических услуг, привлекая транзитные грузы.

Таблица 1 – Минимальные значения дополнительных параметров технического оснащения транспортно-логистического центра

| Наименование параметра | Значение параметра |
|--|--------------------|
| Общая площадь территории, га | 10 |
| Общая площадь крытых складских помещений, м ² | 5 000 |
| Общая площадь открытых площадок для хранения грузов, м ² | 10 000 |
| Площадь контейнерной площадки, предназначенной для обработки большегрузных контейнеров, м ² | 15 000 |
| Суммарная вместимость складов, т | 10 000 |
| Коэффициент, характеризующий долю проездов | 0,4 |

¹ Официальный сайт Всемирного банка https://lpi.worldbank.org/index.php/international/global?utm_source

Данный стандарт предназначен для крупных национальных и международных инвесторов, проектировщиков, а также органов государственной власти, отвечающих за развитие транзитного потенциала.

2. СТ РТ 1146 «Логистическая деятельность. Термины и определения» [8]

Фундаментальный словарь, который унифицирует язык всей отрасли. Он содержит более 100 стандартизированных терминов и их четких определений на таджикском, русском и английском языках. До его появления один и тот же термин (например, «логистический оператор» или «кросс-докинг») мог трактоваться разными компаниями по-разному [4]. Это приводило к ошибкам в договорах, недопониманию между партнерами и судебным спорам. Этот стандарт создает общее семантическое поле для всех участников рынка – от государственного чиновника до водителя-экспедитора.

Данный стандарт предназначен абсолютно для всех: законодателей, судей, студентов, предпринимателей, менеджеров, перевозчиков. Это азбука логистики.

3. СТ РТ 1147 «Услуги логистические. Общие требования и процедура сертификации» [9]

Стандарт, который переводит качество логистических услуг из области субъективных оценок в область измеримых параметров. Он детально классифицирует все виды услуг (транспортные, складские, таможенные, информационные и др.) и устанавливает к ним жесткие требования: своевременность, безопасность, информативность. Главное – он вводит добровольную сертификацию услуг и присвоение категорий исполнителям («логистический центр» или «логистический оператор»). Он создает механизм рыночного стимулирования качества. Компания, прошедшая сертификацию и получившая категорию, получает весомое конкурентное преимущество. Грузовладелец будет выбирать именно ее, доверяя независимой оценке. Это вытесняет с рынка недобросовестных «гаражных» перевозчиков [3].

Данный стандарт предназначен для всех поставщиков логистических услуг, для грузовладельцев, выбирающих подрядчика, для органов по сертификации.

4. СТ РТ 1148 «Классификация складской инфраструктуры» [10]

Стандарт, который вводит прозрачную и понятную систему градации складских помещений по классам А, В, С, D. Для каждого класса прописаны десятки жестких технических требований: высота потолков (от 12+ м для «А» до 3.5 м для «С»), материал и нагрузка на пол, наличие систем климат-контроля, противопожарной сигнализации, тип ворот, офисные помещения, охрана и т.д.

Он радикально повышает прозрачность рынка коммерческой недвижимости. Теперь арендатор, желая арендовать склад «класса А», точно знает, что получит, а не полагается на маркетинговые заверения собственника. Это защищает инвесторов от вложений в объекты, не соответствующие заявленному уровню, и позволяет справедливо оценивать объекты в денежном выражении [5].

Классификация складов в зависимости от их оценочной стоимости

Таблица 2 – Классификация складов по оценочной стоимости

| Категория | I | II | III | IV |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Оценочная стоимость, балл | 20 – 25 | 16 – 19 | 12 – 15 | 10 – 11 |

Пример – Определение категории склада по оценочной стоимости.

Инфраструктура завода включает производственный цех со складом в районе средней удаленности от города:

- местоположение и транспортная доступность – расположение в глубине территории промышленного предприятия; подъезд через контрольно-пропускной пункт (2 балла);
- прилегающая территория – охрана по периметру территории; недостаточное количество мест для парковки и маневрирования большегрузных автопоездов (3 балла);
- конструктивно-планировочные решения – высота помещений 12 м, с сеткой колонн не менее 12 × 24 м (5 баллов);
- состояние здания – срок эксплуатации до 20 лет, в хорошем состоянии (3 балла);
- инженерные системы – устаревшие инженерные системы, отсутствие части систем (2 балла).

Суммарная оценка – 15 баллов. Склад по оценочной стоимости относится к категории III.

Данный стандарт предназначен для предпринимателей, занимающихся созданием новых объектов недвижимости, так называемых - девелоперов, инвесторов, риелторов, арендаторов, банков (для оценки залога), страховых компаний (для расчета страховых премий).

5. СТ РТ 1149 «Логистическая деятельность. Требования к профессиональной компетентности персонала исполнителей логистических услуг и процедура сертификации» [11]

Возможно самый стратегически важный стандарт. Он устанавливает трехуровневую систему сертификации персонала: операционный уровень (ElogSO), высший уровень (ElogSE) и стратегический уровень (ElogST). Для получения сертификата необходимо иметь определенный опыт и сдать комплексный экзамен.

Таблица 3 – Уровень сертификации персонала исполнителей логистических услуг

| Уровень/ступень компетентности | Описание требований к персоналу | Персонал (профессиональные функции) |
|--------------------------------|--|---|
| ElogSO | <ul style="list-style-type: none"> - знать основы логистики и управления цепями поставок, включая транспортировку, таможенные формальности, складскую деятельность, информационные технологии; - понимать логистические стратегии и процессы, взаимосвязь между логистическими системами и внутри них (общие знания), а также требования СТ РТ 1145-2025, СТ РТ 1146-2025, СТ РТ 1147-2025, СТ РТ 1148-2025; - быть способным оптимизировать логистические процессы в своей сфере ответственности; - знать общие принципы работы программного обеспечения для ведения складского и бухгалтерского учета | Персонал операционного функционального уровня управления логистическими процессами и видами деятельности, в том числе в сферах транспортировки, экспедирования, складирования, управления запасами, сервисом и заказами, логистической поддержкой производственных операций, информационной поддержкой логистики и управления цепями поставок |
| ElogSE | <ul style="list-style-type: none"> - знать основы логистики и управления цепями поставок, включая маркетинг, закупку, транспортировку, таможенные формальности, складскую деятельность, сбытовые функции, финансовые операции, информационные технологии; - понимать логистические стратегии и процессы, взаимосвязь между логистическими системами и внутри них (общие знания). - обладать специальными практическими навыками и знаниями в функциональных областях логистики; - быть способным оптимизировать логистические процессы в своей сфере ответственности; - знать общие принципы работы программного обеспечения для ведения складского и бухгалтерского учета | Персонал операционного /функционального уровня управления логистическими процессами и видами деятельности, в том числе в сферах маркетинга, закупки, транспортировки, экспедирования, складирования, управления запасами, сервисом и заказами, логистической поддержкой производственных операций, информационной поддержкой логистики и управления цепями поставок |
| ElogST | <ul style="list-style-type: none"> - знать основы логистики и управления цепями поставок, включая маркетинг, закупку, т р а н с п о р т и р о в к у , таможенные формальности, складскую деятельность, сбытовые функции, финансовые операции, информационные технологии; - понимать логистические стратегии и процессы, взаимосвязь между логистическими системами и внутри них. - обладать навыками и знаниями в сфере управления логистическими процессами и проектами; - определять и оптимизировать логистические процессы в своей сфере ответственности; - знать и применять принципы в логистике и управления цепями поставок, включая анализ маркетинговой среды, методологию закупки, международное и национальное транспортное право, международное и национальное таможенное право, формирование складских операций, методы (технологии) сбытовой деятельности различных товаров (услуг), финансовый менеджмент, информационные технологии по электронному обмену данными; - знать принципы работы автоматизированных систем поддержки <ul style="list-style-type: none"> - логистической деятельности; - отвечать за другой персонал исполнителя логистических услуг | Персонал, занимающийся планированием, координацией или контроллингом различных компонентов логистической системы. Координаторы логистического процесса в функциональных сферах бизнеса компании и/или в компонентах сетевой структуры цепей поставок. Инспектора, аудиторы, аналитики, менеджеры высшего звена |

Технологии и инфраструктура – это лишь инструменты. Их эффективность на 90% определяется квалификацией людей, которые ими управляют. Этот стандарт решает кадровую проблему системно, создавая национальный пул сертифицированных специалистов, чья компетенция подтверждена независимой оценкой.

Данный стандарт предназначен для логистов, менеджеров по закупкам и дистрибуции, складских управляющих, преподавателей вузов, HR-специалистов.

Взаимодействие государственной программы и пакета стандартов создает синергетический эффект. Программа задает стратегические ориентиры и обеспечивает ресурсную поддержку, а стандарты создают технические и нормативные условия для реализации этих ориентиров.

Такой комплексный подход позволяет сразу несколько задач:

- Создать предсказуемые и транспортные условия для инвестиций в логистическую инфраструктуру;
- Обеспечить единство требований к качеству логистических услуг на всей территории страны;
- Сформировать современную нормативную базу, соответствующую международным стандартам;
- Повысить профессиональный уровень специалистов отрасли;
- Создать условия для интеграции национальной логистической системы в международные транспортные коридоры.

Заключение

Государственная программа – это основополагающий документ и двигатель мощного развития и предстоящих преобразований. Но пять новых национальных стандартов – это прочный инструмент, фундаментальная нормативная база, которая придает процессу развития и качественно новых преобразований устойчивую силу и способность.

Особое значение в этом контексте приобретает LPI — Индекс эффективности логистики, международный показатель, который оценивает такие ключевые параметры, как качество инфраструктуры, эффективность таможенных процедур, надёжность поставок, уровень логистических услуг и скорость доставки. Улучшение позиций страны в рейтинге LPI означает повышение конкурентоспособности экономики, расширение экспортных возможностей, снижение издержек бизнеса и усиление инвестиционной привлекательности.

Внедрение новых национальных стандартов напрямую влияет на параметры, которые измеряет LPI: упорядочивает логистические процессы, повышает прозрачность и предсказуемость цепей поставок, улучшает качество инфраструктуры и профессионализм участников рынка. Таким образом, постоянное улучшение LPI становится не только показателем прогресса, но и практическим инструментом измерения эффективности государственных реформ в логистике.

Реализация Государственной программы в сочетании с внедрением новых стандартов открывает новые перспективы для экономического развития Таджикистана. Создание современной логистической инфраструктуры позволит не только повысить эффективность национальной экономики, но и укрепить позиции страны как важного транзитного узла в Центральной Азии.

Успешная реализация этого комплексного подхода потребует тесного взаимодействия между государственными органами, бизнес-сообществом и образовательными учреждениями. Однако уже сейчас можно говорить о том, что заложен прочный фундамент для построения современной, эффективной и конкурентоспособной логистической системы, способной стать драйвером экономического роста Республики Таджикистан в долгосрочной перспективе.

Внедрение этих стандартов – это не техническая бюрократическая процедура, а глубокое институциональное преобразование. Это создание новой логистической культуры, основанной на прозрачности, профессионализме и качестве. Эффект от этой работы будет иметь мультипликативный эффект для всей экономики: снизятся логистические издержки бизнеса, ускорятся обороты, повысится инвестиционная привлекательность страны, а в конечном счете – снизятся цены для конечного потребителя и повысится качество жизни.

Республика Таджикистан совершает беспрецедентный шаг, выстраивая свою логистику будущего не на песке разрозненных инициатив, а на прочном фундаменте научно обоснованных и общепринятых стандартов. Это путь, который ведет не просто к развитию отрасли, а к построению современной, сильной и конкурентоспособной национальной экономики.

Рецензент: Ж.П. Пиров — к.т.н, первый заместитель директора Государственного учреждения «Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание»

Литература

1. Государственная программа развития системы логистики в Республике Таджикистан на 2023–2028 годы. Душанбе, 2023.
2. World Bank. Logistics Performance Index (LPI) 2023 Report. Washington, D.C., 2023.
3. Седых, А. Б. Логистическая инфраструктура: экономика, управление и развитие. Москва: Инфра-М, 2021.
4. Гаджинский, А. М. Логистика: основы теории. Москва: Дашков и К°, 2022.

5. Кизим, А. А., Дятлов, С. А. Инфраструктура рынка: современные тенденции развития. Санкт-Петербург: Питер, 2020.
6. European Logistics Association. Professional Logistics Certification Standards (Elog). Brussels, 2022.
7. Государственный стандарт Республики Таджикистан. Транспортно-логистический центр. Требования к техническому оснащению и транспортно-экспедиционному обслуживанию (СТ РТ 1145-2025, MOD). Душанбе 2025.
8. Государственный стандарт Республики Таджикистан. Логистическая деятельность. Термины и определения (СТ РТ 1146-2025, MOD). Душанбе, 2025.
9. Государственный стандарт Республики Таджикистан. Услуги логистические. Общие требования и процедура сертификации (СТ РТ 1147-2025, MOD). Душанбе, 2025.
10. Государственный стандарт Республики Таджикистан. Классификация складской инфраструктуры (СТ РТ 1148-2025, MOD). Душанбе, 2025.
11. Государственный стандарт Республики Таджикистан. Логистическая деятельность. Требования к профессиональной компетентности персонала исполнителей логистических услуг и процедура сертификации (СТ РТ 1149-2025, MOD). Душанбе, 2025.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Саломзода Раҳмиддин Салом н.и.т., дотсент, узви вобастаи Академияи Мухандисии Тоҷикистон, академики Академияи Байналмилалӣи Нақлиёт. | Саломзода Раҳмиддин Салом к.т.н, доцент, член корреспондент Инженерной Академии Таджикистана, академик Международной Академии Транспорта | Salomzoda Rahmiddin Salom Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor, Corresponding Member of the Engineering Academy of Tajikistan, Academician of the International Academy of Transport. |
| Мақомоти иҷроияи ҳокимияти давлатии шаҳри Душанбе, муовини раиси шаҳри Душанбе | Исполнительный орган государственной власти города Душанбе, заместитель председателя города Душанбе | Executive Body of State Authority of the City of Dushanbe, Deputy Chairman of the City of Dushanbe |
| E-mail: salomzoda1975@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Бобоев Муҳаммадҷон Чурахоновӣ | Бобоев Мухаммаджон Джурахонович | Boboev Muhammadjon Jurakhonovich |
| унвонҷӯ | соискатель | applicant |
| 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: muhammad1004@mail.ru | | |

БАҲОГУЗОРИИ СИФАТИ ХИЗМАТРАСОНИИ НАҚЛИЁТИ МУСОФИРБАР ДАР ШАҲРИ ДУШАНБЕ БО УСУЛИ КОЭФФИЦИЕНТИ КОНКОРДАТСИЯ

Ф.Ҳ. Саидзода, У.Ҷ. Ҷалилов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар ин мақола масъалаи баҳогузори сифати хизматрасони нақлиёти мусофирбар дар шаҳри Душанбе мавриди таҳлил қарор гирифтааст. Муаллифон бо мақсади муайян кардани сатҳи қаноатмандии шаҳрвандон аз хизматрасониҳои нақлиётӣ, усули коэффитсиенти конкордатсияро ҳамчун як воситаи таҳлил истифода бурдаанд. Тавассути ҷамъоварии маълумот аз гурӯҳи коршиносон ва таҳлил, нишон дода мешавад, ки кадом ҷанбаҳои хизматрасонӣ бештар ё камтар мувофиқи талаботи истифодабарандагон мебошанд. Натиҷаҳои тадқиқот метавонанд барои баланд бардоштани сифати хизматрасонӣ ва қабули қарорҳои самаранокӣ идоракунӣ дар соҳаи нақлиёти мусофирбар мусоидат намоянд.

Калидвожаҳо: нақлиёти мусофирбар, сифати хизматрасонӣ, коэффитсиенти конкордатсия, арзёбӣ, қаноатмандӣ, хизматрасониҳои нақлиётӣ, таҳлил.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДЕ ДУШАНБЕ МЕТОДОМ КОЭФФИЦИЕНТА КОНКОРДАЦИИ

Ф.Х. Саидзода, У.Дж. Джалилов

В данной статье рассматривается вопрос оценки качества обслуживания пассажирского транспорта в городе Душанбе. Для определения уровня удовлетворенности граждан транспортными услугами авторы использовали метод коэффициента конкордации в качестве инструмента анализа. Путем сбора данных от экспертной группы и их анализа можно показать, какие аспекты сервиса более или менее соответствуют потребностям пользователей. Результаты исследования могут способствовать повышению качества обслуживания и принятию эффективных управленческих решений в сфере пассажирского транспорта.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, качество обслуживания, коэффициент конкордации, оценка, удовлетворенность, транспортные услуги, анализ.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF PASSENGER TRANSPORT SERVICE IN THE CITY OF DUSHANBE BY THE METHOD OF CONCORDANCE COEFFICIENT

F.H. Saidzoda, U.J. Jalilov

This article discusses the issue of assessing the quality of passenger transport services in the city of Dushanbe. To determine the level of citizens' satisfaction with transport services, the authors used the concordance coefficient method as an analysis tool. By collecting data from an expert group and analysis, it is possible to show which aspects of the service more or less meet the needs of users. The results of the study can contribute to improving the quality of service and making effective management decisions in the field of passenger transport.

Keywords: passenger transport, quality of service, concordance coefficient, assessment, satisfaction, transport services, analysis.

Сарсухан

Дар шароити афзоиши аҳоли ва шаҳрнишинӣ, баланд бардоштани сифати хизматрасони нақлиёти ҷамъиятӣ ба яке аз масъалаҳои асосии рушди устувори шаҳр табдил ёфтааст [10]. Азбаски нақлиёт ба зиндагии мардум таъсири калон мерасонад, доимо санҷидани самаранокӣ он ва фаҳмидани қаноатмандии мусофирон хеле муҳим аст. Муайян кардани сифати хизматрасонӣ тавассути ҷамъоварии фикру назарҳо ва арзёбиҳои коршиносон яке аз усулҳои самарабахш ба шумор меравад [1, 7]. Аммо дар ҳолате ки фикру назарҳо аз гурӯҳҳои гуногуни шахсиятҳо, ба мисли мусофирон, мутахассисон ё коршиносон ҷамъоварӣ мешаванд, зарур аст дараҷаи мувофиқати онҳо бо истифода аз усулҳои илман эътировшуда мавриди таҳлил қарор гирад [11]. Бо ҳамин мақсад, дар мақола коэффитсиенти конкордатсияи Кендалл ҳамчун яке аз воситаҳои баҳодихии дараҷаи мувофиқати андешаҳо истифода мегардад. Таҳлили коэффитсиенти мазкур имконият медиҳад, то сатҳи мувофиқати назарҳои пурсишшудагон ё баҳогузoron оид ба сифат, дастрасӣ ва самаранокӣ хизматрасони нақлиётӣ ба муайян гардад [6, 9].

Мавод ва усулҳои тадқиқот

Барои он, ки раванд возеҳтар фаҳмида шавад ва натиҷаҳо ба таври шаффоф таҳлил гарданд, ҳисобкунии коэффитсиенти конкордатсияро ба якчанд марҳила тақсим мекунем:

Марҳилаи 1. Аввалан, комиссияи коршиносон ташкил карда мешавад, ки вазифаи асосии онҳо ҷамъоварии маълумот ва арзёбии сифати хизматрасониҳои нақлиётӣ мебошад.

Марҳилаи 2. Пас, андешаҳои мутахассисон бо истифода аз пурсишномаҳо ҷамъоварӣ гардида, барои таҳлил омода мегардад.

Марҳилаи 3. Натиҷаҳои пурсиш дар шакли ҷадвале ҷамъоварӣ ва тартиб дода мешаванд, ки рейтингҳои коршиносонро нишон медиҳад.

Марҳилаи 4. Омилҳои тадқиқшаванда ва аҳамияти онҳо мавриди таҳлили дақиқ қарор гирифта, натиҷаҳо арзёбӣ мешаванд.

Марҳилаи 5. Дараҷаи мувофиқати назарҳои коршиносон ҳисоб гардида, барои таҳлили минбаъда истифода мешавад.

Марҳилаи 6. Қимати коэффитсиенти конкордатсия баҳогузорӣ мешавад, то ин, ки дараҷаи муттаҳидии назарҳои коршиносон муайян гардад.

Марҳилаи 7. Дар поёни таҳлил, бо таъя ба натиҷаҳои бадастомада қарорҳо ва тавсияҳои ниҳой қабул мешаванд. Дар ин марҳила натиҷаҳо баҳогузоришуда, тадбирҷӯй ва ислоҳот муайян карда мешаванд.

Барои таъмини натиҷаҳои бозътимод ва дақиқ, таҳлилро бо ташкили комиссияи коршиносон оғоз мекунем.

Марҳилаи 1. Ташкили комиссияи коршиносон [12].

Теъдоди омилҳо 25 адад ва теъдоди коршиносон 15 нафар интихоб шуд.

Марҳилаи 2. Ҷамъовари назарҳои мутахассисон тавассути пурсишнома.

Арзёбии дараҷаи аҳамияти омилҳо аз ҷониби коршиносон бо ишоракардани дараҷа (ранг) анҷом дода мешавад. Дар ҳолатҳое, ки коршиносон чанд омилро баробар муҳим мешуморанд, ба онҳо дараҷаи яксон дода мешавад [8]. Пас аз ҷамъовари маълумот тавассути саволнома, ҷадвали ҷамъбасти таҳия карда мешавад.

Марҳилаи 3. Таҳияи ҷадвали ҷамъбасти дараҷаҳо (матритсаи рангҳо).

Ҷадвали 1 - Натиҷаҳои арзёбии омилҳо аз ҷониби коршиносон

| Рақами омилҳо | Рақами тартибии коршиносон | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 92,0 | 85,0 | 70,0 | 100,0 | 100,0 | 90,0 | 90,0 | 100,0 | 80,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 90,0 | 90,0 | 85,0 |
| 2 | 74,0 | 65,0 | 80,0 | 100,0 | 100,0 | 80,0 | 80,0 | 90,0 | 90,0 | 60,0 | 90,0 | 90,0 | 80,0 | 60,0 | 65,0 |
| 3 | 87,0 | 81,0 | 70,0 | 100,0 | 100,0 | 65,0 | 70,0 | 60,0 | 50,0 | 80,0 | 80,0 | 70,0 | 80,0 | 85,0 | 80,0 |
| 4 | 63,0 | 62,0 | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 55,0 | 60,0 | 50,0 | 50,0 | 60,0 | 70,0 | 60,0 | 70,0 | 65,0 | 60,0 |
| 5 | 84,0 | 80,0 | 52,0 | 100,0 | 30,0 | 75,0 | 80,0 | 50,0 | 60,0 | 70,0 | 60,0 | 50,0 | 80,0 | 85,0 | 90,0 |
| 6 | 55,0 | 50,0 | 60,0 | 70,0 | 50,0 | 50,0 | 40,0 | 80,0 | 60,0 | 80,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 |
| 7 | 18,0 | 10,0 | 21,0 | 80,0 | 50,0 | 35,0 | 50,0 | 80,0 | 50,0 | 60,0 | 50,0 | 50,0 | 40,0 | 15,0 | 40,0 |
| 8 | 82,0 | 75,0 | 64,0 | 80,0 | 80,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 60,0 | 50,0 |
| 9 | 70,0 | 65,0 | 55,0 | 80,0 | 20,0 | 55,0 | 50,0 | 60,0 | 50,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 40,0 | 45,0 | 40,0 |
| 10 | 68,0 | 76,0 | 65,0 | 90,0 | 90,0 | 70,0 | 80,0 | 80,0 | 60,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 80,0 | 70,0 | 60,0 |
| 11 | 22,0 | 28,0 | 20,0 | 80,0 | 85,0 | 30,0 | 35,0 | 50,0 | 40,0 | 40,0 | 50,0 | 50,0 | 40,0 | 25,0 | 30,0 |
| 12 | 70,0 | 65,0 | 58,0 | 88,0 | 85,0 | 65,0 | 70,0 | 40,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 40,0 | 60,0 | 72,0 | 70,0 |
| 13 | 78,0 | 82,0 | 66,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 60,0 | 80,0 | 50,0 | 60,0 | 80,0 | 100,0 | 80,0 | 80,0 |
| 14 | 82,0 | 74,0 | 89,0 | 90,0 | 94,0 | 80,0 | 85,0 | 80,0 | 80,0 | 60,0 | 80,0 | 80,0 | 85,0 | 70,0 | 60,0 |
| 15 | 32,0 | 29,0 | 39,0 | 60,0 | 65,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 | 20,0 | 40,0 | 60,0 | 60,0 | 55,0 | 25,0 | 30,0 |
| 16 | 88,0 | 92,0 | 80,0 | 100,0 | 100,0 | 80,0 | 80,0 | 50,0 | 30,0 | 40,0 | 40,0 | 30,0 | 80,0 | 95,0 | 90,0 |
| 17 | 78,0 | 86,0 | 70,0 | 90,0 | 89,0 | 70,0 | 65,0 | 40,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 75,0 | 80,0 | 75,0 |
| 18 | 85,0 | 84,0 | 70,0 | 90,0 | 85,0 | 50,0 | 45,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 55,0 | 80,0 | 75,0 |
| 19 | 44,0 | 35,0 | 32,0 | 50,0 | 55,0 | 60,0 | 75,0 | 40,0 | 30,0 | 40,0 | 20,0 | 20,0 | 75,0 | 40,0 | 30,0 |
| 20 | 55,0 | 45,0 | 60,0 | 65,0 | 60,0 | 35,0 | 30,0 | 60,0 | 40,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 40,0 | 30,0 | 35,0 |
| 21 | 45,0 | 52,0 | 40,0 | 70,0 | 75,0 | 65,0 | 70,0 | 50,0 | 40,0 | 70,0 | 70,0 | 50,0 | 90,0 | 45,0 | 40,0 |
| 22 | 20,0 | 15,0 | 20,0 | 80,0 | 85,0 | 50,0 | 70,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 60,0 | 50,0 | 80,0 | 25,0 | 20,0 |
| 23 | 35,0 | 34,0 | 30,0 | 75,0 | 85,0 | 50,0 | 75,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 70,0 | 25,0 | 20,0 |
| 24 | 28,0 | 27,0 | 32,0 | 60,0 | 65,0 | 55,0 | 60,0 | 50,0 | 50,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 60,0 | 30,0 | 35,0 |
| 25 | 14,0 | 12,0 | 10,0 | 60,0 | 20,0 | 50,0 | 65,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 15,0 | 10,0 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Натиҷаҳои ҷадвал нишон медиҳанд, ки назари коршиносон дар баҳогузории аҳамияти омилҳо чӣ гуна тақсим шудааст ва ин маълумот барои таҳлили дақиқ ва қабули қарорҳои минбаъда пояи асос мегузорад [5].

Азбаски коршиносон ба баъзе омилҳо арзиши якхела додаанд, бояд ин дараҷаҳо бо тартиби муайян аз нав ҳисоб карда шаванд, то таҳлилҳо дуруст анҷом ёбанд. Азнавтартитбдихии дараҷаҳо бе тағйир додани назари коршинос анҷом дода мешавад, яъне таносуби байни рақамҳо бояд нигоҳ дошта шавад. Ҳамчунин тавсия дода мешавад, ки арзишҳои рангҳо аз 1 хурдтар ё аз шумораи умумии омилҳо дар ин ҳолат аз 25 зиёдтар набоянд. Азнавтартитбдихии омилҳо дар ҷадвали 2 пешниҳод шудааст.

Ҷадвали 2 - Азнавтартибдиҳии омилҳо дар асоси арзёбии коршиносон

| Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартибӣ наф | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартибӣ наф | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартибӣ наф | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартибӣ наф | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартибӣ наф |
|---|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносии 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 14,0 | 1,0 | 6. | 32,0 | 6,0 | 11. | 55,0 | 10,5 | 16. | 74,0 | 16,0 | 21. | 84,0 | 21,0 |
| 2. | 18,0 | 2,0 | 7. | 35,0 | 7,0 | 12. | 63,0 | 12,0 | 17. | 78,0 | 17,5 | 22. | 85,0 | 22,0 |
| 3. | 20,0 | 3,0 | 8. | 44,0 | 8,0 | 13. | 68,0 | 13,0 | 18. | 78,0 | 17,5 | 23. | 87,0 | 23,0 |
| 4. | 22,0 | 4,0 | 9. | 45,0 | 9,0 | 14. | 70,0 | 14,5 | 19. | 82,0 | 19,5 | 24. | 88,0 | 24,0 |
| 5. | 28,0 | 5,0 | 10. | 55,0 | 10,5 | 15. | 70,0 | 14,5 | 20. | 82,0 | 19,5 | 25. | 92,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносии 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 10,0 | 1,0 | 6. | 29,0 | 6,0 | 11. | 52,0 | 11,0 | 16. | 74,0 | 16,0 | 21. | 82,0 | 21,0 |
| 2. | 12,0 | 2,0 | 7. | 34,0 | 7,0 | 12. | 62,0 | 12,0 | 17. | 75,0 | 17,0 | 22. | 84,0 | 22,0 |
| 3. | 15,0 | 3,0 | 8. | 35,0 | 8,0 | 13. | 65,0 | 14,0 | 18. | 76,0 | 18,0 | 23. | 85,0 | 23,0 |
| 4. | 27,0 | 4,0 | 9. | 45,0 | 9,0 | 14. | 65,0 | 14,0 | 19. | 80,0 | 19,0 | 24. | 86,0 | 24,0 |
| 5. | 28,0 | 5,0 | 10. | 50,0 | 10,0 | 15. | 65,0 | 14,0 | 20. | 81,0 | 20,0 | 25. | 92,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносии 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 10,0 | 1,0 | 6. | 32,0 | 6,5 | 11. | 52,0 | 11,0 | 16. | 64,0 | 16,0 | 21. | 70,0 | 20,5 |
| 2. | 20,0 | 2,5 | 7. | 32,0 | 6,5 | 12. | 55,0 | 12,0 | 17. | 65,0 | 17,0 | 22. | 70,0 | 20,5 |
| 3. | 20,0 | 2,5 | 8. | 39,0 | 8,0 | 13. | 58,0 | 13,0 | 18. | 66,0 | 18,0 | 23. | 80,0 | 23,5 |
| 4. | 21,0 | 4,0 | 9. | 40,0 | 9,0 | 14. | 60,0 | 14,5 | 19. | 70,0 | 20,5 | 24. | 80,0 | 23,5 |
| 5. | 30,0 | 5,0 | 10. | 50,0 | 10,0 | 15. | 60,0 | 14,5 | 20. | 70,0 | 20,5 | 25. | 89,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносии 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 50,0 | 1,0 | 6. | 70,0 | 6,5 | 11. | 80,0 | 11,0 | 16. | 90,0 | 16,5 | 21. | 100,0 | 22,0 |
| 2. | 60,0 | 3,0 | 7. | 70,0 | 6,5 | 12. | 80,0 | 11,0 | 17. | 90,0 | 16,5 | 22. | 100,0 | 22,0 |
| 3. | 60,0 | 3,0 | 8. | 75,0 | 8,0 | 13. | 80,0 | 11,0 | 18. | 90,0 | 16,5 | 23. | 100,0 | 22,0 |
| 4. | 60,0 | 3,0 | 9. | 80,0 | 11,0 | 14. | 88,0 | 14,0 | 19. | 100,0 | 22,0 | 24. | 100,0 | 22,0 |
| 5. | 65,0 | 5,0 | 10. | 80,0 | 11,0 | 15. | 90,0 | 16,5 | 20. | 100,0 | 22,0 | 25. | 100,0 | 22,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносии 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 20,0 | 1,5 | 6. | 55,0 | 6,0 | 11. | 80,0 | 11,0 | 16. | 85,0 | 14,0 | 21. | 100,0 | 22,5 |

| Раками тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Раками тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Раками тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Раками тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Раками тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав |
|--|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|
| 2. | 20,0 | 1,5 | 7. | 60,0 | 7,0 | 12. | 85,0 | 14,0 | 17. | 89,0 | 17,0 | 22. | 100,0 | 22,5 |
| 3. | 30,0 | 3,0 | 8. | 65,0 | 8,5 | 13. | 85,0 | 14,0 | 18. | 90,0 | 18,0 | 23. | 100,0 | 22,5 |
| 4. | 50,0 | 4,5 | 9. | 65,0 | 8,5 | 14. | 85,0 | 14,0 | 19. | 94,0 | 19,0 | 24. | 100,0 | 22,5 |
| 5. | 50,0 | 4,5 | 10. | 75,0 | 10,0 | 15. | 85,0 | 14,0 | 20. | 100,0 | 22,5 | 25. | 100,0 | 22,5 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 6 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 30,0 | 1,0 | 6. | 50,0 | 6,5 | 11. | 55,0 | 11,0 | 16. | 65,0 | 16,0 | 21. | 80,0 | 22,0 |
| 2. | 35,0 | 2,5 | 7. | 50,0 | 6,5 | 12. | 55,0 | 11,0 | 17. | 65,0 | 16,0 | 22. | 80,0 | 22,0 |
| 3. | 35,0 | 2,5 | 8. | 50,0 | 6,5 | 13. | 60,0 | 13,5 | 18. | 70,0 | 18,5 | 23. | 80,0 | 22,0 |
| 4. | 50,0 | 6,5 | 9. | 50,0 | 6,5 | 14. | 60,0 | 13,5 | 19. | 70,0 | 18,5 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 50,0 | 6,5 | 10. | 55,0 | 11,0 | 15. | 65,0 | 16,0 | 20. | 75,0 | 20,0 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 30,0 | 1,0 | 6. | 50,0 | 7,0 | 11. | 65,0 | 11,5 | 16. | 70,0 | 14,5 | 21. | 80,0 | 20,5 |
| 2. | 35,0 | 2,0 | 7. | 50,0 | 7,0 | 12. | 65,0 | 11,5 | 17. | 75,0 | 17,5 | 22. | 80,0 | 20,5 |
| 3. | 40,0 | 3,0 | 8. | 50,0 | 7,0 | 13. | 70,0 | 14,5 | 18. | 75,0 | 17,5 | 23. | 85,0 | 23,0 |
| 4. | 45,0 | 4,5 | 9. | 60,0 | 9,5 | 14. | 70,0 | 14,5 | 19. | 80,0 | 20,5 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 45,0 | 4,5 | 10. | 60,0 | 9,5 | 15. | 70,0 | 14,5 | 20. | 80,0 | 20,5 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 30,0 | 1,0 | 6. | 40,0 | 4,5 | 11. | 50,0 | 11,0 | 16. | 60,0 | 17,0 | 21. | 80,0 | 21,5 |
| 2. | 40,0 | 4,5 | 7. | 40,0 | 4,5 | 12. | 50,0 | 11,0 | 17. | 60,0 | 17,0 | 22. | 80,0 | 21,5 |
| 3. | 40,0 | 4,5 | 8. | 50,0 | 11,0 | 13. | 50,0 | 11,0 | 18. | 60,0 | 17,0 | 23. | 80,0 | 21,5 |
| 4. | 40,0 | 4,5 | 9. | 50,0 | 11,0 | 14. | 50,0 | 11,0 | 19. | 60,0 | 17,0 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 40,0 | 4,5 | 10. | 50,0 | 11,0 | 15. | 60,0 | 17,0 | 20. | 80,0 | 21,5 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 9 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 20,0 | 1,0 | 6. | 40,0 | 8,0 | 11. | 50,0 | 14,5 | 16. | 50,0 | 14,5 | 21. | 60,0 | 20,0 |
| 2. | 30,0 | 3,5 | 7. | 40,0 | 8,0 | 12. | 50,0 | 14,5 | 17. | 50,0 | 14,5 | 22. | 80,0 | 23,0 |
| 3. | 30,0 | 3,5 | 8. | 40,0 | 8,0 | 13. | 50,0 | 14,5 | 18. | 50,0 | 14,5 | 23. | 80,0 | 23,0 |

| Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиносон | Тартиби нав |
|---|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|
| 4. | 30,0 | 3,5 | 9. | 40,0 | 8,0 | 14. | 50,0 | 14,5 | 19. | 60,0 | 20,0 | 24. | 80,0 | 23,0 |
| 5. | 30,0 | 3,5 | 10. | 40,0 | 8,0 | 15. | 50,0 | 14,5 | 20. | 60,0 | 20,0 | 25. | 90,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 30,0 | 2,0 | 6. | 40,0 | 7,0 | 11. | 50,0 | 12,5 | 16. | 60,0 | 17,5 | 21. | 70,0 | 21,5 |
| 2. | 30,0 | 2,0 | 7. | 40,0 | 7,0 | 12. | 50,0 | 12,5 | 17. | 60,0 | 17,5 | 22. | 70,0 | 21,5 |
| 3. | 30,0 | 2,0 | 8. | 40,0 | 7,0 | 13. | 50,0 | 12,5 | 18. | 60,0 | 17,5 | 23. | 80,0 | 23,5 |
| 4. | 40,0 | 7,0 | 9. | 40,0 | 7,0 | 14. | 50,0 | 12,5 | 19. | 60,0 | 17,5 | 24. | 80,0 | 23,5 |
| 5. | 40,0 | 7,0 | 10. | 40,0 | 7,0 | 15. | 60,0 | 17,5 | 20. | 60,0 | 17,5 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 20,0 | 1,0 | 6. | 40,0 | 6,0 | 11. | 50,0 | 11,0 | 16. | 60,0 | 17,0 | 21. | 70,0 | 20,5 |
| 2. | 30,0 | 3,0 | 7. | 40,0 | 6,0 | 12. | 50,0 | 11,0 | 17. | 60,0 | 17,0 | 22. | 80,0 | 22,5 |
| 3. | 30,0 | 3,0 | 8. | 50,0 | 11,0 | 13. | 50,0 | 11,0 | 18. | 60,0 | 17,0 | 23. | 80,0 | 22,5 |
| 4. | 30,0 | 3,0 | 9. | 50,0 | 11,0 | 14. | 50,0 | 11,0 | 19. | 60,0 | 17,0 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 40,0 | 6,0 | 10. | 50,0 | 11,0 | 15. | 60,0 | 17,0 | 20. | 70,0 | 20,5 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 20,0 | 1,0 | 6. | 40,0 | 7,5 | 11. | 50,0 | 13,5 | 16. | 50,0 | 13,5 | 21. | 70,0 | 21,0 |
| 2. | 30,0 | 3,5 | 7. | 40,0 | 7,5 | 12. | 50,0 | 13,5 | 17. | 50,0 | 13,5 | 22. | 80,0 | 22,5 |
| 3. | 30,0 | 3,5 | 8. | 40,0 | 7,5 | 13. | 50,0 | 13,5 | 18. | 60,0 | 19,0 | 23. | 80,0 | 22,5 |
| 4. | 30,0 | 3,5 | 9. | 40,0 | 7,5 | 14. | 50,0 | 13,5 | 19. | 60,0 | 19,0 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 30,0 | 3,5 | 10. | 50,0 | 13,5 | 15. | 50,0 | 13,5 | 20. | 60,0 | 19,0 | 25. | 100,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии коршиноси 13 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 40,0 | 3,0 | 6. | 50,0 | 6,5 | 11. | 60,0 | 10,5 | 16. | 80,0 | 18,5 | 21. | 80,0 | 18,5 |
| 2. | 40,0 | 3,0 | 7. | 50,0 | 6,5 | 12. | 70,0 | 12,5 | 17. | 80,0 | 18,5 | 22. | 85,0 | 22,0 |
| 3. | 40,0 | 3,0 | 8. | 55,0 | 8,5 | 13. | 70,0 | 12,5 | 18. | 80,0 | 18,5 | 23. | 90,0 | 23,5 |
| 4. | 40,0 | 3,0 | 9. | 55,0 | 8,5 | 14. | 75,0 | 14,5 | 19. | 80,0 | 18,5 | 24. | 90,0 | 23,5 |
| 5. | 40,0 | 3,0 | 10. | 60,0 | 10,5 | 15. | 75,0 | 14,5 | 20. | 80,0 | 18,5 | 25. | 100,0 | 25,0 |

| Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон | Тартиби нав | Рақами тартибии омилҳо | Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон | Тартиби нав |
|---|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|------------------------|---|-------------|
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиноси 14 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 15,0 | 1,5 | 6. | 25,0 | 4,5 | 11. | 45,0 | 11,0 | 16. | 70,0 | 16,5 | 21. | 80,0 | 20,0 |
| 2. | 15,0 | 1,5 | 7. | 30,0 | 7,5 | 12. | 45,0 | 11,0 | 17. | 70,0 | 16,5 | 22. | 85,0 | 22,5 |
| 3. | 25,0 | 4,5 | 8. | 30,0 | 7,5 | 13. | 60,0 | 13,5 | 18. | 72,0 | 18,0 | 23. | 85,0 | 22,5 |
| 4. | 25,0 | 4,5 | 9. | 40,0 | 9,0 | 14. | 60,0 | 13,5 | 19. | 80,0 | 20,0 | 24. | 90,0 | 24,0 |
| 5. | 25,0 | 4,5 | 10. | 45,0 | 11,0 | 15. | 65,0 | 15,0 | 20. | 80,0 | 20,0 | 25. | 95,0 | 25,0 |
| Баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиноси 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 10,0 | 1,0 | 6. | 30,0 | 5,0 | 11. | 40,0 | 10,5 | 16. | 60,0 | 15,0 | 21. | 80,0 | 21,5 |
| 2. | 20,0 | 2,5 | 7. | 35,0 | 7,5 | 12. | 40,0 | 10,5 | 17. | 65,0 | 17,0 | 22. | 80,0 | 21,5 |
| 3. | 20,0 | 2,5 | 8. | 35,0 | 7,5 | 13. | 50,0 | 13,0 | 18. | 70,0 | 18,0 | 23. | 85,0 | 23,0 |
| 4. | 30,0 | 5,0 | 9. | 40,0 | 10,5 | 14. | 60,0 | 15,0 | 19. | 75,0 | 19,5 | 24. | 90,0 | 24,5 |
| 5. | 30,0 | 5,0 | 10. | 40,0 | 10,5 | 15. | 60,0 | 15,0 | 20. | 75,0 | 19,5 | 25. | 90,0 | 24,5 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Ҷадвал 2 баҳогузории омилҳо тибқи арзёбии қоршиносон ва азнавтартитбдихии онҳо дар асоси натиҷаҳои бадастомада нишон медиҳад, ки бар асоси он матритсаи навро тартиб медиҳем (ҷадвали 3).

Ҷадвали 3 – Матритсаи азнавташиклёфтаи омилҳо бо дарназардошти баробарии дараҷаҳо дар арзёбии қоршиносон

| Рақами омилҳо | Рақами тартибии қоршиносон | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | 25,0 | 23,0 | 20,5 | 22,0 | 22,5 | 24,0 | 24,0 | 25,0 | 23,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 23,5 | 24,0 | 23,0 |
| 2 | 16,0 | 14,0 | 23,5 | 22,0 | 22,5 | 22,0 | 20,5 | 24,0 | 25,0 | 17,5 | 24,0 | 24,0 | 18,5 | 13,5 | 17,0 |
| 3 | 23,0 | 20,0 | 20,5 | 22,0 | 22,5 | 16,0 | 14,5 | 17,0 | 14,5 | 23,5 | 22,5 | 21,0 | 18,5 | 22,5 | 21,5 |
| 4 | 12,0 | 12,0 | 10,0 | 22,0 | 22,5 | 11,0 | 9,5 | 11,0 | 14,5 | 17,5 | 20,5 | 19,0 | 12,5 | 15,0 | 15,0 |
| 5 | 21,0 | 19,0 | 11,0 | 22,0 | 3,0 | 20,0 | 20,5 | 11,0 | 20,0 | 21,5 | 17,0 | 13,5 | 18,5 | 22,5 | 24,5 |
| 6 | 10,5 | 10,0 | 14,5 | 6,5 | 4,5 | 6,5 | 3,0 | 21,5 | 20,0 | 23,5 | 11,0 | 13,5 | 6,5 | 11,0 | 10,5 |
| 7 | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 11,0 | 4,5 | 2,5 | 7,0 | 21,5 | 14,5 | 17,5 | 11,0 | 13,5 | 3,0 | 1,5 | 10,5 |
| 8 | 19,5 | 17,0 | 16,0 | 11,0 | 11,0 | 13,5 | 7,0 | 17,0 | 14,5 | 17,5 | 6,0 | 7,5 | 3,0 | 13,5 | 13,0 |
| 9 | 14,5 | 14,0 | 12,0 | 11,0 | 1,5 | 11,0 | 7,0 | 17,0 | 14,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 11,0 | 10,5 |
| 10 | 13,0 | 18,0 | 17,0 | 16,5 | 18,0 | 18,5 | 20,5 | 21,5 | 20,0 | 12,5 | 11,0 | 13,5 | 18,5 | 16,5 | 15,0 |
| 11 | 4,0 | 5,0 | 2,5 | 11,0 | 14,0 | 1,0 | 2,0 | 11,0 | 8,0 | 7,0 | 11,0 | 13,5 | 3,0 | 4,5 | 5,0 |
| 12 | 14,5 | 14,0 | 13,0 | 14,0 | 14,0 | 16,0 | 14,5 | 4,5 | 8,0 | 12,5 | 6,0 | 7,5 | 10,5 | 18,0 | 18,0 |

| Рақами омилҳо | Рақами тартибии коршиносон | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 13 | 17,5 | 21,0 | 18,0 | 22,0 | 22,5 | 25,0 | 25,0 | 17,0 | 23,0 | 12,5 | 17,0 | 22,5 | 25,0 | 20,0 | 21,5 |
| 14 | 19,5 | 16,0 | 25,0 | 16,5 | 19,0 | 22,0 | 23,0 | 21,5 | 23,0 | 17,5 | 22,5 | 22,5 | 22,0 | 16,5 | 15,0 |
| 15 | 6,0 | 6,0 | 8,0 | 3,0 | 8,5 | 6,5 | 4,5 | 4,5 | 1,0 | 7,0 | 17,0 | 19,0 | 8,5 | 4,5 | 5,0 |
| 16 | 24,0 | 25,0 | 23,5 | 22,0 | 22,5 | 22,0 | 20,5 | 11,0 | 3,5 | 7,0 | 6,0 | 3,5 | 18,5 | 25,0 | 24,5 |
| 17 | 17,5 | 24,0 | 20,5 | 16,5 | 17,0 | 18,5 | 11,5 | 4,5 | 3,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 14,5 | 20,0 | 19,5 |
| 18 | 22,0 | 22,0 | 20,5 | 16,5 | 14,0 | 6,5 | 4,5 | 1,0 | 3,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 8,5 | 20,0 | 19,5 |
| 19 | 8,0 | 8,0 | 6,5 | 1,0 | 6,0 | 13,5 | 17,5 | 4,5 | 3,5 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 14,5 | 9,0 | 5,0 |
| 20 | 10,5 | 9,0 | 14,5 | 5,0 | 7,0 | 2,5 | 1,0 | 17,0 | 8,0 | 17,5 | 17,0 | 19,0 | 3,0 | 7,5 | 7,5 |
| 21 | 9,0 | 11,0 | 9,0 | 6,5 | 10,0 | 16,0 | 14,5 | 11,0 | 8,0 | 21,5 | 20,5 | 13,5 | 23,5 | 11,0 | 10,5 |
| 22 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 11,0 | 14,0 | 6,5 | 14,5 | 4,5 | 8,0 | 7,0 | 17,0 | 13,5 | 18,5 | 4,5 | 2,5 |
| 23 | 7,0 | 7,0 | 5,0 | 8,0 | 14,0 | 6,5 | 17,5 | 4,5 | 14,5 | 7,0 | 11,0 | 7,5 | 12,5 | 4,5 | 2,5 |
| 24 | 5,0 | 4,0 | 6,5 | 3,0 | 8,5 | 11,0 | 9,5 | 11,0 | 14,5 | 7,0 | 11,0 | 7,5 | 10,5 | 7,5 | 7,5 |
| 25 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 6,5 | 11,5 | 11,0 | 14,5 | 12,5 | 11,0 | 13,5 | 6,5 | 1,5 | 1,0 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Қадвали азнавташкилёфтаи омилҳо нишон медиҳад, ки дар он баробарии дараҷаҳо дар натиҷаи арзёбии коршиносон ба ҳисоб гирифта шудааст.

Дар зер матритсаи рейтинги омилҳо барои ҳисоб кардани коэффитсиенти мувофиқаи Кендалл (W) оварда шудааст (қадвали 4).

Қадвали 4 - Матритсаи рейтингии омилҳо барои ҳисоб кардани коэффитсиенти мувофиқаи Кендалл (W)

| Омилҳо | Коршиносон | | | | | | | | | | | | | | | Ҷамъи ранҳо | d | d ² |
|-----------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | |
| X ₁ | 25,0 | 23,0 | 20,5 | 22,0 | 22,5 | 24,0 | 24,0 | 25,0 | 23,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 23,5 | 24,0 | 23,0 | 354,5 | 159,5 | 25440,25 |
| X ₂ | 16,0 | 14,0 | 23,5 | 22,0 | 22,5 | 22,0 | 20,5 | 24,0 | 25,0 | 17,5 | 24,0 | 24,0 | 18,5 | 13,5 | 17,0 | 304,0 | 109,0 | 11881,0 |
| X ₃ | 23,0 | 20,0 | 20,5 | 22,0 | 22,5 | 16,0 | 14,5 | 17,0 | 14,5 | 23,5 | 22,5 | 21,0 | 18,5 | 22,5 | 21,5 | 299,5 | 104,5 | 10920,25 |
| X ₄ | 12,0 | 12,0 | 10,0 | 22,0 | 22,5 | 11,0 | 9,5 | 11,0 | 14,5 | 17,5 | 20,5 | 19,0 | 12,5 | 15,0 | 15,0 | 224,0 | 29,0 | 841,0 |
| X ₅ | 21,0 | 19,0 | 11,0 | 22,0 | 3,0 | 20,0 | 20,5 | 11,0 | 20,0 | 21,5 | 17,0 | 13,5 | 18,5 | 22,5 | 24,5 | 265,0 | 70,0 | 4900,0 |
| X ₆ | 10,5 | 10,0 | 14,5 | 6,5 | 4,5 | 6,5 | 3,0 | 21,5 | 20,0 | 23,5 | 11,0 | 13,5 | 6,5 | 11,0 | 10,5 | 173,0 | -22,0 | 484,0 |
| X ₇ | 2,0 | 1,0 | 4,0 | 11,0 | 4,5 | 2,5 | 7,0 | 21,5 | 14,5 | 17,5 | 11,0 | 13,5 | 3,0 | 1,5 | 10,5 | 125,0 | -70,0 | 4900,0 |
| X ₈ | 19,5 | 17,0 | 16,0 | 11,0 | 11,0 | 13,5 | 7,0 | 17,0 | 14,5 | 17,5 | 6,0 | 7,5 | 3,0 | 13,5 | 13,0 | 187,0 | -8,0 | 64,0 |
| X ₉ | 14,5 | 14,0 | 12,0 | 11,0 | 1,5 | 11,0 | 7,0 | 17,0 | 14,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 11,0 | 10,5 | 135,5 | -59,5 | 3540,25 |
| X ₁₀ | 13,0 | 18,0 | 17,0 | 16,5 | 18,0 | 18,5 | 20,5 | 21,0 | 20,0 | 12,5 | 11,0 | 13,5 | 18,5 | 16,5 | 15,0 | 250,0 | 55,0 | 3025,0 |
| X ₁₁ | 4,0 | 5,0 | 2,5 | 11,0 | 14,0 | 1,0 | 2,0 | 11,0 | 8,0 | 7,0 | 11,0 | 13,5 | 3,0 | 4,5 | 5,0 | 102,5 | -92,5 | 8556,25 |

| Омилҳо | Коршиносон | | | | | | | | | | | | | | | Чамъи рангҳо | d | d ² |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | |
| X ₁ ₂ | 14,5 | 14,0 | 13,0 | 14,0 | 14,0 | 16,0 | 14,5 | 4,5 | 8,0 | 12,5 | 6,0 | 7,5 | 10,5 | 18,0 | 18,0 | 185,0 | -10,0 | 100,0 |
| X ₁ ₃ | 17,5 | 21,0 | 18,0 | 22,0 | 22,5 | 25,0 | 25,0 | 17,0 | 23,0 | 12,5 | 17,0 | 22,5 | 25,0 | 20,0 | 21,5 | 309,5 | 114,5 | 13110,25 |
| X ₁ ₄ | 19,5 | 16,0 | 25,0 | 16,5 | 19,0 | 22,0 | 23,0 | 21,5 | 23,0 | 17,5 | 22,5 | 22,5 | 22,0 | 16,5 | 15,0 | 301,5 | 106,5 | 11342,25 |
| X ₁ ₅ | 6,0 | 6,0 | 8,0 | 3,0 | 8,5 | 6,5 | 4,5 | 4,5 | 1,0 | 7,0 | 17,0 | 19,0 | 8,5 | 4,5 | 5,0 | 109,0 | -86,0 | 7396,0 |
| X ₁ ₆ | 24,0 | 25,0 | 23,5 | 22,0 | 22,5 | 22,0 | 20,5 | 11,0 | 3,5 | 7,0 | 6,0 | 3,5 | 18,5 | 25,0 | 24,5 | 258,5 | 63,5 | 4032,25 |
| X ₁ ₇ | 17,5 | 24,0 | 20,5 | 16,5 | 17,0 | 18,5 | 11,5 | 4,5 | 3,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 14,5 | 20,0 | 19,5 | 196,0 | 1,0 | 1,0 |
| X ₁ ₈ | 22,0 | 22,0 | 20,5 | 16,5 | 14,0 | 6,5 | 4,5 | 1,0 | 3,5 | 2,0 | 3,0 | 3,5 | 8,5 | 20,0 | 19,5 | 167,0 | -28,0 | 784,0 |
| X ₁ ₉ | 8,0 | 8,0 | 6,5 | 1,0 | 6,0 | 13,5 | 17,5 | 4,5 | 3,5 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 14,5 | 9,0 | 5,0 | 106,0 | -89,0 | 7921,0 |
| X ₂ ₀ | 10,5 | 9,0 | 14,5 | 5,0 | 7,0 | 2,5 | 1,0 | 17,0 | 8,0 | 17,5 | 17,0 | 19,0 | 3,0 | 7,5 | 7,5 | 146,0 | -49,0 | 2401,0 |
| X ₂ ₁ | 9,0 | 11,0 | 9,0 | 6,5 | 10,0 | 16,0 | 14,5 | 11,0 | 8,0 | 21,5 | 20,5 | 13,5 | 23,5 | 11,0 | 10,5 | 195,5 | 0,5 | 0,25 |
| X ₂ ₂ | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 11,0 | 14,0 | 6,5 | 14,5 | 4,5 | 8,0 | 7,0 | 17,0 | 13,5 | 18,5 | 4,5 | 2,5 | 130,0 | -65,0 | 4225,0 |
| X ₂ ₃ | 7,0 | 7,0 | 5,0 | 8,0 | 14,0 | 6,5 | 17,5 | 4,5 | 14,5 | 7,0 | 11,0 | 7,5 | 12,5 | 4,5 | 2,5 | 129,0 | -66,0 | 4356,0 |
| X ₂ ₄ | 5,0 | 4,0 | 6,5 | 3,0 | 8,5 | 11,0 | 9,5 | 11,0 | 14,5 | 7,0 | 11,0 | 7,5 | 10,5 | 7,5 | 7,5 | 124,0 | -71,0 | 5041,0 |
| X ₂ ₅ | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 6,5 | 11,5 | 11,0 | 14,5 | 12,5 | 11,0 | 13,5 | 6,5 | 1,5 | 1,0 | 98,0 | -97,0 | 9409,0 |
| Σ | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 325,0 | 4875,0 | - | 144671,0 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Чадвал нишон медиҳад, ки чи гуна рейтингҳои омилҳо аз ҷониби коршиносон муайян шуда, барои ҳисоб кардани коэффитсиенти мувофиқаи Кендалл (W) истифода мешавад, ки дар инҷо: $d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 195,0$

Санҷиши дурустии тартибдиҳии матритса дар асоси ҳисоб кардани суммаи назоратӣ анҷом дода мешавад: $\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+25)25}{2} = 325,0$

Чамъи арзишҳо дар сутунҳои матритса баҳам баробар буда, бо суммаи назоратӣ мувофиқат мекунад, ки ин дурустии матритсаро нишон медиҳад.

Марҳилаи 4. Таҳлили аҳамиятнокии омилҳо. Дар мисоли мазкур, омилҳо тибқи аҳамияташон ба тартиби зерин ҷудо шудаанд (ҷадвали 5).

Ҷадвали 5 - Ҷойгиршавии омилҳо бар асоси аҳамияташон.

| № т/т | Номгӯи омилҳо бо воҳиди ченкунӣ | Ишораи омилҳо | Чамъи рангҳо |
|-------|--|-----------------|--------------|
| 1. | Шумораи шикоятҳо ва арзҳо дар як моҳ, (адад) | X ₂₅ | 98,0 |
| 2. | Сатҳи бекорӣ, (%) | X ₁₁ | 102,5 |
| 3. | Шумораи бозорҳо, (адад) | X ₁₉ | 106,0 |
| 4. | Шумораи терминалҳои нақлиётӣ, (адад) | X ₁₅ | 109,0 |
| 5. | Масофаи миёнаи сафар, (км) | X ₂₄ | 124,0 |

| № т/т | Номгӯи омилҳо бо воҳиди ченкунӣ | Ишораи омилҳо | Ҷамъи рангҳо |
|-------|---|-----------------|--------------|
| 6. | Дастрасӣ барои гурӯҳҳои осебпазири ҷомеа (фоидаи воситаҳои нақлиёт ба дастрасӣ барои маъишати кӯдакон, %) | X ₇ | 125,0 |
| 7. | Суръати миёнаи ҳаракат дар давоми шабонарӯз, (км/соат) | X ₂₃ | 129,0 |
| 8. | Вақти миёнаи интизорӣ дар истгоҳ, (дақиқа) | X ₂₂ | 130,0 |
| 9. | Хароҷоти миёнаи нақлиёти як оила дар як моҳ, (сомонӣ) | X ₉ | 135,5 |
| 10. | Фоидаи нақлиёти муосир (воситаҳои нақлиёти дар 5 соли охир истеҳсолшуда, %) | X ₂₀ | 146,0 |
| 11. | Шумораи марказҳои савдо, (адад) | X ₁₈ | 167,0 |
| 12. | Шумораи дастрасӣ ба таҳфифҳо ва имтиёзҳо, (нафар) | X ₆ | 173,0 |
| 13. | Сармоягузорӣ ба соҳаи нақлиёт, (сомонӣ) | X ₁₂ | 185,0 |
| 14. | Музди маоши миёнаи моҳона, (сомонӣ) | X ₈ | 187,0 |
| 15. | Вақти миёнаи сафар, (соат) | X ₂₁ | 195,5 |
| 16. | Шумораи беморхонаҳо, (адад) | X ₁₇ | 196,0 |
| 17. | Синну соли миёнаи аҳоли, (сол) | X ₄ | 224,0 |
| 18. | Шумораи соҳибони мошинҳои шахсӣ, (нафар) | X ₁₀ | 250,0 |
| 19. | Шумораи мактабҳо, (адад) | X ₁₆ | 258,5 |
| 20. | Миқдори донишҷӯён ва хонандагон, (нафар) | X ₅ | 265,0 |
| 21. | Сатҳи шуғл (фоидаи ғайриқонун дар бозори меҳнат, %) | X ₃ | 299,5 |
| 22. | Шумораи хатсайрҳои нақлиётӣ, (адад) | X ₁₄ | 301,5 |
| 23. | Зичии аҳоли, (нафар/км²) | X ₂ | 304,0 |
| 24. | Теъдоди воситаҳои нақлиёти мусофирбар, (адад) | X ₁₃ | 309,5 |
| 25. | Шумораи умумии аҳолии шаҳр, (нафар) | X ₁ | 354,5 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Ҷадвал нишон медиҳад, ки омилҳо бо дарназардошти аҳамияти муайяншуда ба таври тартибододашуда ҷойгир шудаанд.

Марҳилаи 5. Арзёбии дараҷаи мувофиқаи андешаҳои коршиносон.

Мо аз коэффитсиенти конкордатсия дар ҳолате истифода мебарем, ки дараҷаҳои баробар (яъне, арзишҳои якхелаи дараҷаҳо дар баҳогузории як коршинос) мавҷуд бошанд [4, 9, 11]:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} * m^2 (n^3 - n) - m * \sum T_i}; \quad (1)$$

ки, дар ин ҷо: S = 144671, n = 25 омил ва m = 15 коршинос.

$$T_i = \frac{1}{12} * \sum (t_i^3 - t_i); \quad (2)$$

ва дар ин ҷо: T_i - шумораи унсурҳои такроршаванда дар арзёбиҳои коршиноси i -ум; t_i - шумораи онҳо барои коршиноси i -ум мебошад.

Бо дарназардошти арзишҳои мазкур, имкон пайдо мегардад, ки коэффитсиенти мувофиқаи Кендалл (W) барои баҳодихии мувофиқати андешаҳои коршиносон ҳисоб карда шавад:

$$T_1 = [(23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 2,0;$$

$$T_2 = [(33 - 3)]/12 = 2,0;$$

$$T_3 = [(43 - 4) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 7,0;$$

$$T_4 = [(73 - 7) + (23 - 2) + (53 - 5) + (43 - 4) + (33 - 3)]/12 = 5,5;$$

$$T_5 = [(63 - 6) + (23 - 2) + (23 - 2) + (53 - 5) + (23 - 2)]/12 = 29,0;$$

$$T_6 = [(33 - 3) + (33 - 3) + (33 - 3) + (63 - 6) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 25,0;$$

$$T_7 = [(43 - 4) + (43 - 4) + (23 - 2) + (33 - 3) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 14,0;$$

$$T_8 = [(53 - 5) + (73 - 7) + (43 - 4) + (63 - 6)]/12 = 60,5;$$

$$T_9 = [(33 - 3) + (83 - 8) + (33 - 3) + (53 - 5) + (43 - 4)]/12 = 61,0;$$

$$T_{10} = [(63 - 6) + (23 - 2) + (23 - 2) + (33 - 3) + (43 - 4) + (73 - 7)]/12 = 53,5;$$

$$T_{11} = [(23 - 2) + (23 - 2) + (53 - 5) + (73 - 7) + (33 - 3) + (33 - 3)]/12 = 43,0;$$

$$T_{12} = [(33 - 3) + (83 - 8) + (43 - 4) + (43 - 4) + (23 - 2)]/12 = 54,5;$$

$$T_{13} = [(23 - 2) + (63 - 6) + (23 - 2) + (23 - 2) + (53 - 5) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 30,5;$$

$$T_{14} = [(23 - 2) + (23 - 2) + (33 - 3) + (23 - 2) + (23 - 2) + (43 - 4) + (33 - 3) + (23 - 2)]/12 = 11,5;$$

$$T_{15} = [(23 - 2) + (33 - 3) + (23 - 2) + (43 - 4) + (33 - 3) + (23 - 2) + (23 - 2) + (23 - 2)]/12 = 11,5;$$

$$\sum T_i = 2 + 2 + 7 + 45,5 + 29 + 25 + 14 + 60,5 + 61 + 53,5 + 43 + 54,5 + 30,5 + 11,5 + 11,5 = 450,5.$$

Ҳамин тариқ, ҷамъбасти умумии арзишҳои $\sum T_i$ барои 15 коршинос ба 450,5 баробар мебошад ва ин арзиш дар ҳисоб кардани коэффитсиенти мувофиқаи Кендалл (W) истифода мешавад.

$$W = \frac{144671,0}{\frac{1}{12} * 15^2(25^3 - 25) - 15 * 450,5} = 0,51$$

Арзиши $W = 0,51$ гувоҳӣ медиҳад, ки байни андешаҳои коршиносон дараҷаи миёнаи мувофиқа вуҷуд дорад.

Аз ин лиҳоз, метавон хулоса кард, ки баҳогузориҳои коршиносон бо ҳам мутобиқ буда, барои таҳлилҳои минбаъда заминаи лозимаро муҳайё месозад.

Марҳилаи 6. Арзёбии аҳамияти коэффитсиенти мувофиқа.

Барои ин мақсад, меёри мувофиқати Пирсон ҳисоб карда мешавад:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} * m * n(n+1) + \frac{1}{n-1} * \sum T_i} \quad (3)$$

Ин формула барои ҳисоб кардани меёри мутобиқати Пирсон истифода мешавад, ки дар инҷо S - арзиши ҷамъшудаи квадратҳои фарқиятҳо, m - шумораи мутахассисон, n - шумораи омилҳои мушоҳидашаванда ва T_i - шумораи унсурҳои тақдоршавандаи баҳогузориҳои омилҳо мебошанд.

$$\chi^2 = \frac{144671}{\frac{1}{12} * 15 * 25(25 + 1) + \frac{1}{25 - 1} * 450,5} = 182,27$$

Қимати ҳисобшудаи χ^2 бо қимати ҷадвали барои дараҷаи озодии $k = n - 1 = 25 - 1 = 24$ ва сатҳи $\alpha = 0,05$ муқоиса карда мешавад. Азбаски χ^2 -и ҳисобшуда $182,27 \geq$ аз қимати ҷадвали (36,41503) аст, пас $W = 0,51$ арзиши тасодуфӣ нест. Ин маънои онро дорад, ки натиҷаҳои бадастомада дорои аҳамияти омории буда, метавонанд дар тадқиқоти минбаъда истифода шаванд.

Марҳилаи 7. Таҳия ва таҳлили қарори комиссияи экспертӣ.

Бар асоси ҷамъбасти омилҳои баррасишударо метавон ҳисоб намуд. Дар ин марҳила матритсаи натиҷаҳои назарсанҷӣ бо истифода аз формулаи зер ба матритсаи тағйирёфта табдил дода мешавад, ки натиҷаи баҳогузориҳо бо меёри вазни ҳар яки он дар ҳиссаи умумӣ ишора менамояд (ҷадвали 6):

$$S_{ij} = x_{max} - x_{ij}, S_{ij} = x_{max} - x_{ij}, \quad (4)$$

ки дар ин ҷо $x_{max} = 100$ мебошад.

Ҷадвали 6 - Матритсаи тағйирёфтаи натиҷаи баҳогузориҳо бо меъёри вазн

| Омилҳо | Коршиносон | | | | | | | | | | | | | | | Ҷамъи рангҳо | Меъёри вазн λ |
|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
| X ₁ | 8,0 | 15,0 | 30,0 | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 0,0 | 20,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 15,0 | 128 | 0,0084 |
| X ₂ | 26,0 | 35,0 | 20,0 | 0,0 | 0,0 | 20,0 | 20,0 | 10,0 | 10,0 | 40,0 | 10,0 | 10,0 | 20,0 | 40,0 | 35,0 | 296 | 0,01943 |
| X ₃ | 13,0 | 19,0 | 30,0 | 0,0 | 0,0 | 35,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 20,0 | 20,0 | 30,0 | 20,0 | 15,0 | 20,0 | 342 | 0,02245 |
| X ₄ | 37,0 | 38,0 | 50,0 | 0,0 | 0,0 | 45,0 | 40,0 | 50,0 | 50,0 | 40,0 | 30,0 | 40,0 | 30,0 | 35,0 | 40,0 | 525 | 0,03446 |
| X ₅ | 16,0 | 20,0 | 48,0 | 0,0 | 70,0 | 25,0 | 20,0 | 50,0 | 40,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 20,0 | 15,0 | 10,0 | 454 | 0,0298 |
| X ₆ | 45,0 | 50,0 | 40,0 | 30,0 | 50,0 | 50,0 | 60,0 | 20,0 | 40,0 | 20,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 55,0 | 60,0 | 670 | 0,04397 |
| X ₇ | 82,0 | 90,0 | 79,0 | 20,0 | 50,0 | 65,0 | 50,0 | 20,0 | 50,0 | 40,0 | 50,0 | 50,0 | 60,0 | 85,0 | 60,0 | 851 | 0,05585 |
| X ₈ | 18,0 | 25,0 | 36,0 | 20,0 | 20,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 50,0 | 40,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 40,0 | 50,0 | 609 | 0,03997 |
| X ₉ | 30,0 | 35,0 | 45,0 | 20,0 | 80,0 | 45,0 | 50,0 | 40,0 | 50,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 60,0 | 55,0 | 60,0 | 780 | 0,05119 |
| X ₁₀ | 32,0 | 24,0 | 35,0 | 10,0 | 10,0 | 30,0 | 20,0 | 20,0 | 40,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 20,0 | 30,0 | 40,0 | 461 | 0,03026 |
| X ₁₁ | 78,0 | 72,0 | 80,0 | 20,0 | 15,0 | 70,0 | 65,0 | 50,0 | 60,0 | 60,0 | 50,0 | 50,0 | 60,0 | 75,0 | 70,0 | 875 | 0,05743 |
| X ₁₂ | 30,0 | 35,0 | 42,0 | 12,0 | 15,0 | 35,0 | 30,0 | 60,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 60,0 | 40,0 | 28,0 | 30,0 | 587 | 0,03853 |
| X ₁₃ | 22,0 | 18,0 | 34,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 40,0 | 20,0 | 50,0 | 40,0 | 20,0 | 0,0 | 20,0 | 20,0 | 284 | 0,01864 |
| X ₁₄ | 18,0 | 26,0 | 11,0 | 10,0 | 6,0 | 20,0 | 15,0 | 20,0 | 20,0 | 40,0 | 20,0 | 20,0 | 15,0 | 30,0 | 40,0 | 311 | 0,02041 |
| X ₁₅ | 68,0 | 71,0 | 61,0 | 40,0 | 35,0 | 50,0 | 55,0 | 60,0 | 80,0 | 60,0 | 40,0 | 40,0 | 45,0 | 75,0 | 70,0 | 850 | 0,05579 |
| X ₁₆ | 12,0 | 8,0 | 20,0 | 0,0 | 0,0 | 20,0 | 20,0 | 50,0 | 70,0 | 60,0 | 60,0 | 70,0 | 20,0 | 5,0 | 10,0 | 425 | 0,02789 |
| X ₁₇ | 22,0 | 14,0 | 30,0 | 10,0 | 11,0 | 30,0 | 35,0 | 60,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 25,0 | 20,0 | 25,0 | 562 | 0,03689 |
| X ₁₈ | 15,0 | 16,0 | 30,0 | 10,0 | 15,0 | 50,0 | 55,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 45,0 | 20,0 | 25,0 | 631 | 0,04142 |
| X ₁₉ | 56,0 | 65,0 | 68,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 | 25,0 | 60,0 | 70,0 | 60,0 | 80,0 | 80,0 | 25,0 | 60,0 | 70,0 | 854 | 0,05605 |
| X ₂₀ | 45,0 | 55,0 | 40,0 | 35,0 | 40,0 | 65,0 | 70,0 | 40,0 | 60,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 60,0 | 70,0 | 65,0 | 765 | 0,05021 |
| X ₂₁ | 55,0 | 48,0 | 60,0 | 30,0 | 25,0 | 35,0 | 30,0 | 50,0 | 60,0 | 30,0 | 30,0 | 50,0 | 10,0 | 55,0 | 60,0 | 628 | 0,04122 |
| X ₂₂ | 80,0 | 85,0 | 80,0 | 20,0 | 15,0 | 50,0 | 30,0 | 60,0 | 60,0 | 60,0 | 40,0 | 50,0 | 20,0 | 75,0 | 80,0 | 805 | 0,05284 |
| X ₂₃ | 65,0 | 66,0 | 70,0 | 25,0 | 15,0 | 50,0 | 25,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 30,0 | 75,0 | 80,0 | 781 | 0,05126 |
| X ₂₄ | 72,0 | 73,0 | 68,0 | 40,0 | 35,0 | 45,0 | 40,0 | 50,0 | 50,0 | 60,0 | 50,0 | 60,0 | 40,0 | 70,0 | 65,0 | 818 | 0,05369 |
| X ₂₅ | 86,0 | 88,0 | 90,0 | 40,0 | 80,0 | 50,0 | 35,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 85,0 | 90,0 | 944 | 0,06196 |
| Ҷамъбасти умумии баҳогузориҳои ҳамаи омилҳо аз ҷониби коршиносон | | | | | | | | | | | | | | | | 15236 | 1,0 |

Манбаъ: муаллиф тартиб додааст.

Барои арзёбии сифатҳои хизматрасонии нақлиёти мусофирбар, фикри коршиносон дар асоси омилҳои интихобшуда ҷамъоварӣ ва таҳлил гардид. Ҳар як омил аз ҷониби коршиносон баҳогузорӣ гардид.

Натиҷаҳои тадқиқот

Ҷамъи умумии баҳогузориҳои омилҳо аз ҷониби коршиносон 15236-ро ташкил дода, дар асоси он вазнҳои нисбии (λ) ҳар як омил муайян карда шуданд, ки ҷамъи онҳо бояд ба 1,0 баробар бошад, ки тасдиқи худро ёфтааст.

Ҳисоб намудани вазнҳои нисбӣ (λ) дар асоси баҳогузориҳои коршиносон яке аз равишҳои муҳими миқдорӣ дар таҳлилҳои илмӣ ва амалӣ ба ҳисоб меравад. Ин усул имконият медиҳад, ки дараҷаи таъсир ва аҳамияти ҳар як омил бо назардошти фикри мутахассисон ба таври объективӣ муайян карда шавад. Арзиши вазнҳои нисбӣ нишон медиҳад, ки кадом омилҳо сараҳамият ва кадоме аз онҳо камаҳамият мебошанд. Масалан, омиле, ки дорои $\lambda = 0,06$ аст, назар ба омиле дорои $\lambda = 0,0085$ буда, аҳамияти калонтар дорад ва бояд дар қабули муқаррарот мавриди таваҷҷуҳи аввалиндараҷа қарор гирад.

Ин натиҷаҳо барои қабули қарорҳои идоракунӣ дар соҳаи нақлиёти ҷамъиятӣ заминаи бозътимод фароҳам оварда, имкон медиҳанд, ки тадбирҳои ислоҳӣ дар асоси маълумоти воқеӣ ва арзёбиҳои объективӣ роҳандозӣ гарданд.

Муҳокимаҳо

Ин равиш ба таҳлилгарон имкон медиҳад, ки аз миёни шумораи зиёди омилҳо унсурҳои калидиро ҷудо намуда, дар асоси он моделсозӣ ва таҳияи тавсияҳои илмӣ ва амалиро анҷом диҳанд. Илова бар ин, бо истифода аз вазнҳои λ , метавон маълумоти мураккабро бо яқдигар мутобиқ намуд ва барои татбиқи моделҳо

омода сохт. Ин амал заминаи бозътимоди арзёбии қарорҳоро фароҳам меорад ва ба қабули дурусту оқилонаи онҳо кӯмак мерасонад. Ҳамин тавр, муайянсозии вазнҳои нисбӣ воситаи муҳими илмӣ дар тадқиқ ва татбиқи қарорҳои стратегӣ ба ҳисоб меравад.

Бояд таъкид намуд, ки истифодаи усули коэффисиенти конкордатсия барои омӯзиши масъалаҳои иртиботдошта, аз ҷумла сифати хизматрасонӣ, имкониятҳои васеъ фароҳам меорад. Ин усул на танҳо имкони таҳлили дақиқи мувофиқати назарҳоро месанҷад, балки ба роҳбарон ва масъулони соҳа имкон медиҳад, ки тасмимҳоро дар асоси маълумоти бозътимод қабул намоянд.

Дар натиҷаи тадқиқоти гузаронидашуда оид ба самаранокии иҷтимоиву иқтисодӣ ва баланд бардоштани сифати хизматрасонии нақлиёт дар шаҳри Душанбе, муайян карда шуд, ки беҳтар намудани равандҳои идораи нақлиёти мусофирбарии ҷамъиятӣ ва тақмили инфрасохтори нақлиётӣ метавонад ба рушди устувори шаҳрӣ ва қонеъ гардонидани талаботи аҳолии мусоидат намояд [2]. Таҳлили экспертӣ ва истифодаи усулҳои муосири баҳогузори нишон дод, ки омилҳои мухталиф ба сифати хизматрасонӣ таъсири муҳим доранд ва бояд дар сиёсати идоракунии нақлиёт ба инобат гирифта шаванд.

Хулоса

Бо истифодаи усулҳои таҳлили ранҳо ва ҳисоб кардани коэффисиенти конкордатсия муайян гардид, ки дараҷаи мувофиқати назари мутахассисон нисбатан миёна буда ($W = 0,51$), натиҷаҳои тадқиқот дорои асоси илмӣ ва эътимоднок мебошанд. Ин нишон медиҳад, ки пешниҳодҳои мушаххас дар доираи кори мазкур метавонанд ба беҳтар гардидани хизматрасонии нақлиётӣ ва кам кардани хароҷоти иҷтимоию иқтисодӣ оварда расонанд [3].

Илова бар ин, таҳлили омилҳои таъсиррасон нишон дод, ки барои беҳтар кардани сифати хизматрасонии нақлиётӣ бояд тадбирҳои ҳамоҳангшудаи техникӣ-иқтисодӣ, ташкили инфрасохтор, ва идоракунии самаранокии воситаҳои нақлиёт қабул карда шаванд. Ин амалҳо на танҳо сифати хизматрасонию баланд мебардоранд, балки боиси афзоиши қобилияти рақобатпазирӣ дар системаи нақлиётии шаҳри Душанбе мегарданд.

Дар ҷамъбаст, тадқиқоти мазкур заминаи илмӣ барои қабули қарорҳои стратегӣ ва рушди барномаҳои миллии беҳтар намудани хизматрасонии нақлиётӣ дар Душанбе мебошад, ки ба рушди устувори шаҳр ва беҳбудӣ сатҳи зиндагии аҳолии саҳми назаррас хоҳад гузошт.

Муқарриз: Раҷабов А.А. - н.и.у. и.в. дотсенти қабедраи фаъолияти ғумруқии Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибқории Тоҷикистон.

Адабиёт

1. Аррак А.О. Социально - экономическая эффективность пассажирских перевозок / Таллин: А.О. Аррак., 1982. - 139 с.
2. Беленьский М.Н. Экономика пассажирских перевозок / М.Н. Беленьский. - М. : Транспорт, 1974 - 198 с.
3. Герами, В.Д. Концепции формирования системы городского пассажирского общественного транспорта [Текст] / В.Д. Герами // Автотранспортное предприятие. - 2009. - Май. - С.8-11.;
4. Годин А.М. Статистика / А.М. Годин. Учебник, 3-ое изд. - М., 2007.-459с.
5. Ефимов И. С., Кобозев В.М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок / И. С. Ефимов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. - М. : «Высшая школа», 1980 -535 с.
6. Комарова И. А. Экономические методы управления качеством пассажирских автомобильных перевозок: автореф. дисс. ...канд. экон. наук:08.00.05/И.А.Комарова.-М., 2007.-22 с.
7. Комплексная оценка эффективности систем городского пассажирского транспорта. -М. : МГЦНТИ, 1990. - 24 с.
8. Поначугин, В.А. Оценка надежности перевозочного процесса городского пассажирского транспорта [Текст]: монография / В.А. Поначугин; Ниже -город. гос. архитект.-строит. ун-т. - Н. Новгород, 2011. - 96 с.
9. Сангинов О. К. Пассажирский автомобильный транспорт и социально-экономическое развитие горных регионов / - Душанбе: Ирфон, 1999. - 70 с.
10. Сафонов Э.А. Оптимизация систем городского пассажирского транспорта / Э.А. Сафонов. - Омск : ОмПИ, 1985. - 86 с.
11. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования/Е.М. Четыркин. -М. : Статистика, 1975. - 184 с.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Саидзода Фирдавс Ҳамро | Саидзода Фирдавс Ҳамро | Saidzoda Firdavs Hamro |
| унвонҷӯи кафедраи таълиқи интиқол ва идора дар нақлиёт | соискатель кафедры организации перевозок и управления на транспорте | candidate of the Department of Transportation Organization and Management |
| 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: firdavs.saidov.70@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҷалилов Умарҷон Ҷамилович | Джалилов Умарджон Джамилович | Jalilov Umarjon Jamilovich |
| д.и.и., дотсент, мудири кафедраи таълиқи интиқол ва идора дар нақлиёт | доктор экономических наук, доцент, зав. каф. организации перевозок и управления на транспорте | Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department organization of transportation and management of transport |
| 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: umar.dtt.2002@gmail.com | | |

СОХТМОН ВА МЕЪМОРИЙ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК: 727.4-056

DOI: 10.65599/TUDW2865

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВХОДНЫХ ПАНДУСОВ ИНКЛЮЗИВНЫХ УЧЕБНЫХ ЦЕНТРОВ

Р.М. Шокиров, А.Р. Муминов, С.А. Миралиев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена вопросам проектирования пандусов в инклюзивных учебных центрах для маломобильных групп населения (МГН). В статье рассмотрены различные варианты планировочного решения пандусов с учетом современных требований градостроительства. Формирование инклюзивной среды, учитывающей потребности лиц с ограниченными возможностями здоровья и других категорий маломобильных граждан, является актуальной задачей государственной социальной политики. Несмотря на принимаемые меры, в учреждениях образовательного профиля по-прежнему наблюдаются трудности с обеспечением полноценного и беспрепятственного доступа МГН к объектам инфраструктуры. Настоящая работа направлена на выработку проектных рекомендаций по обустройству пандусов как важнейших архитектурных элементов, способствующих организации доступных и безопасных маршрутов передвижения. Пандусы в зданиях и сооружениях, а также на открытых пространствах представляют собой специальную плоскую конструкцию с незначительным уклоном для облегчения передвижения людей с ограниченными физическими возможностями, а также для подъёма или спуска небольшого транспортного средства на колёсах. Они заменяют конструкции лестниц и обеспечивают взаимосвязь между разными уровнями поверхностей по высоте и должны быть надежными и безопасными в эксплуатации.

Ключевые слова: пандус, проектирование, инклюзивные учебные центры, маломобильная группа населения, элемент, современные требования, безопасность, градостроительство.

АСОСҶОИ ТАРҲРЕЗИИ ПАНДУСҶОИ ДАРОМАДҶОҶИ МАРКАЗҶОИ ТАЪЛИМИИ ФАРОГИР

Р.М. Шокиров, А.Р. Муминов, С.А. Миралиев

Мақолаи мазкур ба масъалаҳои лоиҳакашии пандусҳо дар марказҳои фароғири таълимӣ барои гурӯҳи камҳаракати аҳоли (ГКА) бахшида шудааст. Дар мақола вариантҳои гуногуни ҳалли тарҳрезии пандусҳо, бо назардошти талаботи муносири шаҳрсозӣ, баррасӣ карда мешаванд. Таъминоти муҳити дастрас барои маъюбон ва ГКА яке аз муҳимтарин вазифаҳои иҷтимоию иқтисодӣ мебошад. То имрӯз дар марказҳои фароғири таълимӣ барои дастрасии бемамонияти ГКА ба объектҳои инфрасохтори иҷтимоӣ шароити пурра фароҳам оварда нашудааст. Мақсади ин мақола нишон додани роҳҳои дурусти сохтани пандусҳо, ҳамчун яке аз унсурҳои асосии онҳо, таъминоти дастрасии роҳи ҳаракат барои ГКА мебошад. Пандусҳо дар биноҳо ва иншоот, инчунин дар майдонҳои кушод, конструксияи маҳсури ҳамворро ифода мекунанд ва нишебии ночиз доранд, ки ҳаракати ГКА инчунин, имконияти (дар курси- чархҳо) боло рафтани фаромадани нақлиёти хурдро осон мекунанд. Онҳо зинаҳоро иваз намуда, пайвастигии байни сатҳҳои гуногунро таъмин мекунанд ва ҳангоми истифодабарӣ бояд боэҳтимоид ва бехатар бошанд.

Калидвожаҳо: пандус, лоиҳакашӣ, марказҳои фароғири таълимӣ, гурӯҳи камҳаракати аҳоли, унсур, талаботҳои муосир, бехатарӣ, шаҳрсозӣ.

FUNDAMENTALS OF ENTRANCE RAMP DESIGN INCLUSIVE LEARNING CENTERS

R.M. Shokirov, A.R. Muminov, S.A. Miraliev

The article is devoted to the issues of designing ramps in inclusive education center for people with limited mobility (PLM). The article discusses various options for the planning solution of ramps, taking into account modern requirements of urban planning. Ensuring an accessible environment for people with disabilities and other PLM is one of the most important socio-economic tasks. To date, inclusive education center have not fully created the conditions for unhindered access of PLM to social infrastructure facilities. The purpose of this article is to implement the right solutions for the arrangement of ramps, as one of the main elements that ensure the availability of travel routes for PLM. Ramps in buildings and structures, as well as in open spaces, are a special flat design with a slight slope, which greatly facilitates the movement of people with disabilities, as well as lifting or lowering a small vehicle on wheels. They replace ladder structures that provide interconnection between different surfaces in height and must be reliable and safe in operation

Keywords: ramp, design, inclusive education center, low-mobility group, element, modern requirements, safety, urban planning.

Введение

Согласно действующим нормативно правовым документам, главе 2, статьям 34 и 39 Конституции Республики Таджикистан, Закона Республики Таджикистан «О социальной защите инвалидов» от 29 декабря 2010 года № 675, статьям 4 и 64 Градостроительного кодекса Республики Таджикистан от 28 декабря 2012 года, под №933, градостроительных норм и правил Республики Таджикистан, ГНиП РТ 35-01-2012 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» [6], СНиП РТ 35-02-2019 «Социальные учреждения для детей с ограниченными возможностями» [7,8], а также другим законодательным актам Республики Таджикистан, международным стандартам в сфере проектирования, строительства и ремонта новых и существующих, общественных и гражданских зданий необходимо обеспечить доступность архитектурно-пространственной среды для людей с физическими отклонениями.

Методология и методы проведения работы

- обеспечение доступности комфортной и безопасной среды для МГН в инклюзивных учебных центрах;
- разработка рекомендаций по проектированию пандусов в инклюзивных учебных центрах для МГН;
- анализ существующего состояния и разработка принципов проектирования разнообразных пандусов в инклюзивных учебных центрах с учётом современных нормативных требований градостроительства.

Результаты и обсуждение

Доступность в широком смысле слова - это создание доступной среды жизнедеятельности для всех групп населения, обеспечение функциональных условий доступа людей к жилым, общественным и другим зданиям. При проектировании элементов доступной среды для инклюзивных учебных центров должны учитывать ключевые элементы для обеспечения доступности и факторы доступной среды.

Ключевые факторы доступной среды — это совокупность условий, обеспечивающих равные возможности для передвижения, ориентирования, общения и пользования объектами и услугами всеми категориями граждан, в том числе маломобильными группами населения (МГН).



Рисунок 1- Ключевые элементы для обеспечения доступности

1. Безбарьерная архитектура
 - Пандусы с допустимым уклоном
 - Лифты, подъёмники, широкие дверные проёмы
 - Отсутствие порогов или плавные переходы между уровнями
2. Тактильные и визуальные ориентиры
 - Тактильные напольные указатели и плитка
 - Контрастная разметка ступеней
 - Звуковые и световые указатели
3. Удобный доступ к информации
 - Надписи шрифтом Брайля
 - Крупный шрифт и контрастные цвета на указателях
 - Озвученные навигационные панели
4. Доступность инфраструктуры
 - Обустроенные туалеты для МГН
 - Парковочные места, расположенные ближе ко входу
 - Регулируемые по высоте стойки обслуживания, банкоматы, почтоматы
5. Транспортная доступность
 - Низкопольный общественный транспорт
 - Подъёмные платформы и пандусы на остановках
 - Информационное сопровождение (звуковое, визуальное)
6. Обученный персонал
 - Способность персонала оказывать помощь людям с инвалидностью
 - Использование простого, понятного языка и жестов

7. Инклюзивный цифровой доступ

- Сайты и приложения, соответствующие стандартам WCAG (Web Content Accessibility Guidelines)
- Возможность использования экранных дикторов и клавиатурной навигации

Для обеспечения беспрепятственного и свободного входа в здание, использования междуэтажных коммуникационных путей для МНГ применяются специальные наклонные плоскости (пандусы). В соответствии с действующими нормами и правилами проектирования и строительства во всех зданиях и сооружениях независимо от их функционального назначения для обеспечения доступности комфортной и безопасной среды для людей с ограниченными физическими возможностями в обязательном порядке предусматривают пандусы разной величины как внутри зданий, так и на прилегающей территории. Пандус - это наклонный путь, который соединяет объемно-планировочные элементы здания, расположенные на разной высоте. [3,6,7,8] (рисунок 2) . Пандусы бывают простой и сложной формы.

Пандус представляет собой архитектурный элемент, конструкция которого условно делится на три составные зоны. Первая зона — это начальная горизонтальная платформа, обеспечивающая плавный переход к подъёму. Центральная часть образована наклонной плоскостью, по которой осуществляется вертикальное перемещение. Заключительная зона — финишная площадка, расположенная на противоположной отметке уровня, предназначена для стабилизации положения пользователя после преодоления наклона. Пандусы сложной формы в основном выполняются из железобетонных конструкций. Покрытие пандуса должно иметь нескользкую поверхность (асфальт, цемент, брусчатка и т. д.), а их ограждения должны быть выполнены в виде ограждающих поручней лестницы.

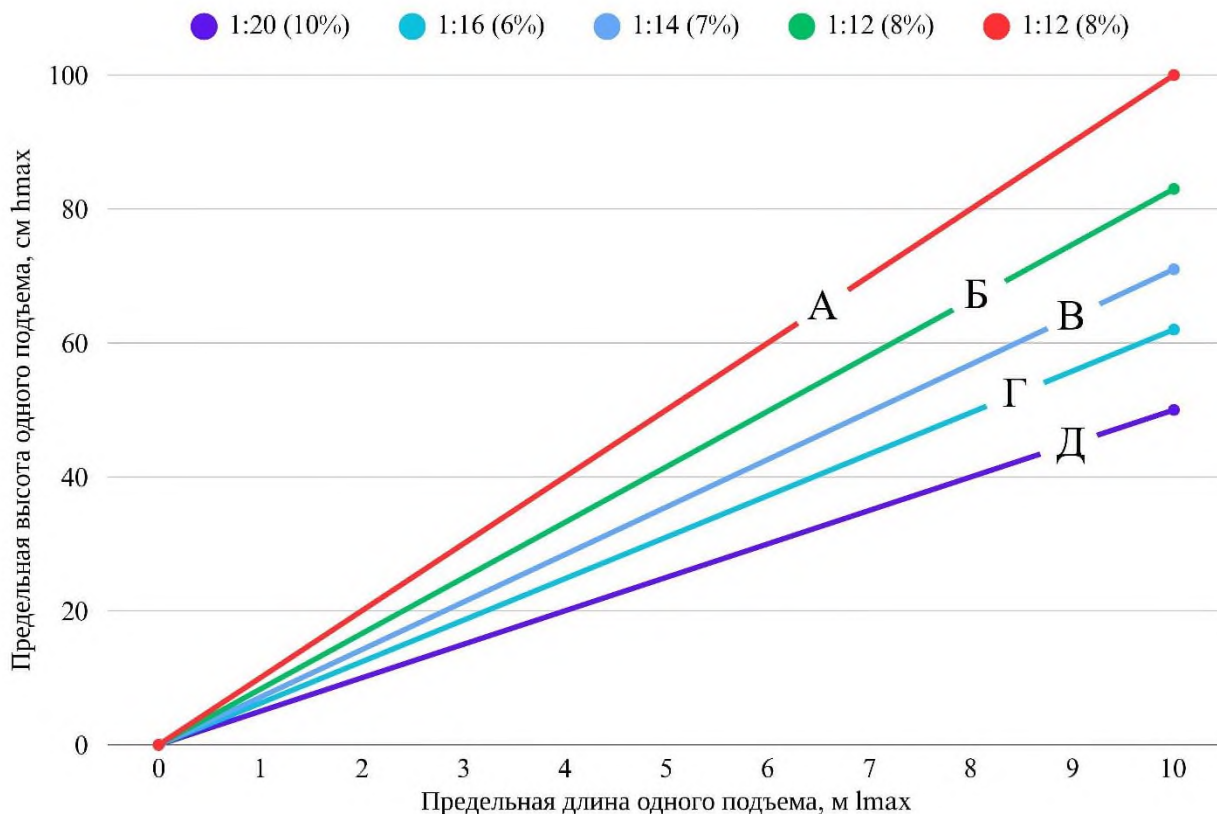


Рисунок 2.- Рекомендуемые параметры пандусов.
А-1:12 (8%), Б-1:12 (8%), В-1:14 (7%), Г-1:16 (6%), Д-1:20 (10%)

Пандусы должны соответствовать четырем следующим основным требованиям:

- 1- доступность;
- 2- безопасность;
- 3- наличие информативных знаков;
- 4- комфортность.

С учётом градостроительных нормативов, регламентирующих доступность архитектурной среды, для пандусных конструкций предусмотрены определённые геометрические параметры:

- Максимально допустимая высота одного пролёта не должна превышать 0,8 метра;

- Рекомендуемый уклон варьируется в диапазоне от 5% до 8%, при этом наиболее комфортными для пользователей инвалидных колясок считаются соотношения наклона 1:12 и 1:10 (см. рисунок 6);
- Минимально допустимая ширина полотна пандуса при одностороннем движении составляет 1,0 метр, а при двустороннем — определяется в соответствии с нормативными таблицами;
- Промежуточные и конечные горизонтальные участки должны иметь глубину не менее 1,5 метра, обеспечивая безопасность и маневренность при передвижении по прямолинейным либо наклонным маршрутам.

Несущие и ограждающие конструкции пандусов должны быть выполнены из негорючих и нескользких материалов.

Для МГН,двигающихся в кресле-коляске, существенное значение имеют размеры площадок, необходимые для поворота инвалидной коляски на 90°, 180° и 360°, рисунок 3 [6, 7, 8].

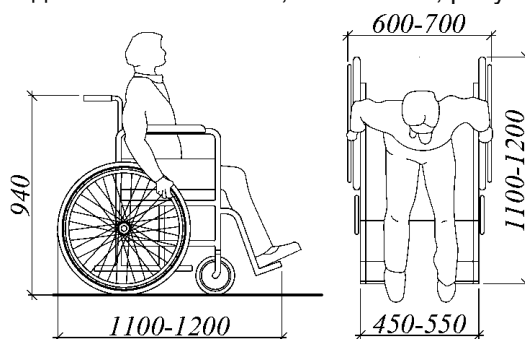


Рисунок 3 – Габаритные размеры кресла-коляски

Рекомендуемые размеры площадки для коляски маломобильных групп населения зависят от ее размера и должны быть не менее: 1,3х1,3 м для поворота на 90°, 1,3х1,4 ÷ 1,5 м, для поворота на 180° и 1,4 ÷ 1,5х1,4÷1,5 м для поворота на 360° (рис. 4) [1, 2, 4, 5].

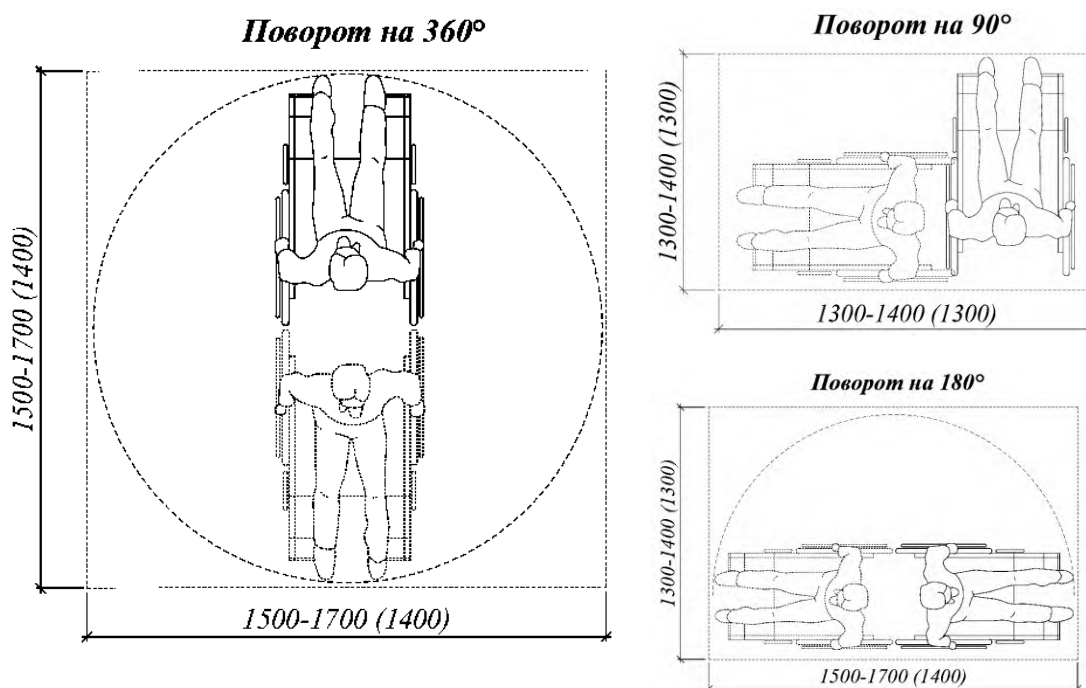


Рисунок 4 - Оптимальные (нормируемые) размеры зон разворота кресла-коляски

Одним из наиболее распространённых недочётов при проектировании пандусов является отсутствие или недостаточная ширина начальной горизонтальной площадки. Это создаёт серьёзное препятствие для пользователей инвалидных колясок, так как подъезд к наклонной части становится затруднённым. В таких

ситуациях человек с ограниченной подвижностью не сможет воспользоваться пандусом без посторонней помощи.

С этой точки зрения крайне важно, чтобы верхняя горизонтальная зона позволяла расположить коляску параллельно наклону, обеспечивая тем самым безопасное и устойчивое положение. В этом положении пользователь может зафиксироваться, отпустить руки от колёс и совершать другие действия. Таким образом, в начале и в конце каждого наклонного участка следует проектировать горизонтальные площадки, по ширине не уступающие самому пандусу.

Горизонтальные площадки и внешние края пандуса, согласно градостроительным нормам, должны быть оборудованы бортиками высотой не менее 0,05м. В соответствии с этой технологией коляска людей с ограниченными физическими возможностями не будет скользить. Ограждающий бордюр является самой важной частью пандуса, о которой ни в коем случае нельзя забывать.

Благодаря данному виду пандусов инвалидная коляска при прохождении промежуточной наклонной поверхности не будет менять своё направление. При устройстве прямого пандуса, согласно нормативу, ширина промежуточной площадки должна составить не менее размеров, приведенных на рисунке 5.

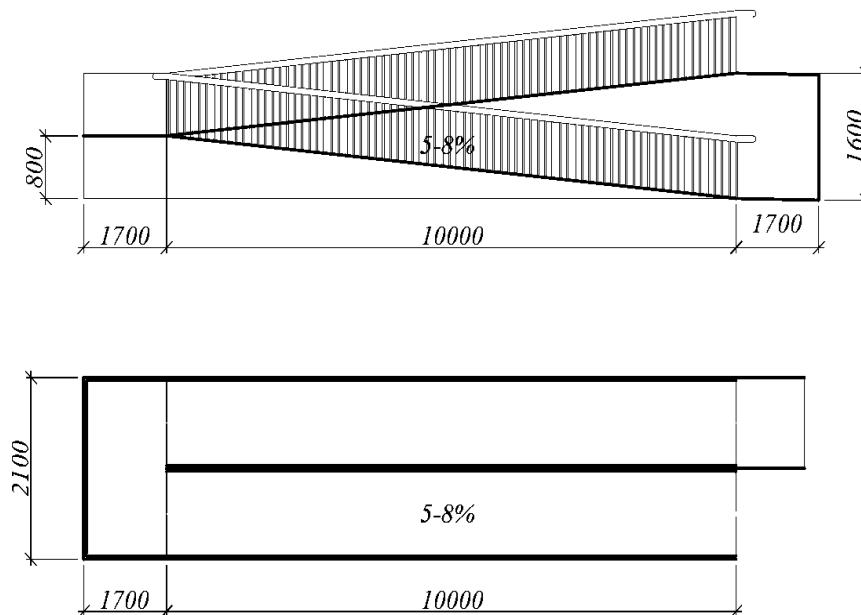


Рисунок 5- Габариты занимаемой зоны при вращении кресла-коляски на площадке пандуса

Площадка, приведённая на рисунке 4, считается достаточной для выполнения поворота инвалидной коляски на 90°, 180° и 360°. Поручни с обеих сторон пандуса должны быть установлены для обеспечения дополнительной устойчивости и безопасности.

Если угол наклона превышает 8%, перемещение в кресле-коляске становится затруднительным. В таких случаях установка поручней по обеим сторонам конструкции значительно упрощает самостоятельное передвижение для пользователей с ограниченной мобильностью.

Как правило, перила оборудуются поручнями на двух уровнях: 0,7 и 0,9 м, а для детей дошкольного возраста – на высоте около 0,5 м. При проектировании систем поддержки на расстоянии 1800 мм важно учитывать, что не все пользователи смогут удерживать поручень с обеих сторон одновременно. Оптимальным расстоянием между поручнями считается 900 мм, а длина самих поручней должна выступать за границу пандуса по 0,3 м с каждой стороны. Это необходимо, так как при подъёме человек использует усилие рук, хватаясь за поручень впереди себя и направляя коляску вверх.

Во время спуска человек притормаживает коляску, удерживаясь за поручни. Отсутствие горизонтального продолжения может создать сложности. Поверхность поручней должна быть параллельной уклону пандуса и непрерывной на всем его протяжении. Сечение поручней должно быть круглым диаметром от 3 до 5 см либо прямоугольным — с шириной не более 4 см.

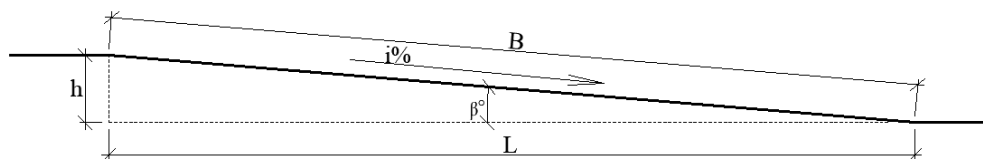
Расчет наклона пандусов геометрическими методами

Рисунок 6 - Определение наклона пандуса

Наклон пандуса определяется по следующей формуле:

$$i = \frac{h}{L} \cdot 100\%$$

где: h-высота пандуса; L –длина пандуса.

$$\text{если } h = 0.8 \text{ м; } L = 10 \text{ м; } i = \frac{h}{L} \cdot 100\% = \frac{0.8}{10} \cdot 100\% = 8\%$$

Рассмотрим связь угла пандуса с его наклоном на основе определения тангенса (tg).

$$\text{Принимаем } tg45^\circ = 100\%; \quad tg\beta = 8\%; \quad tg\beta = \frac{tg45^\circ \cdot 8\%}{100\%} = \frac{1 \cdot 8\%}{100\%} = 0,08;$$

$$\beta = \arctg 0.08 = 4.57^\circ; \text{ или как обычно } tg\beta = \frac{h}{l} = \frac{0.8}{10} = 0,08; \beta = \arctg 0.08 = 4.57^\circ;$$

Предлагаем разнообразные пандусы в гражданских зданиях (таблица 1, рисунок 6).

Таблица 1- Рекомендуемые размеры пандусов в инклюзивных учебных центрах

| Уклон % | $tg\beta^\circ$ | Длина м | | Ширина м | | Высота м | |
|---------|-----------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------|--------------|
| | | Одномарш-ное | Двухмарш-ное | Односторон-ное движение | Двухстороннее движение. | Одно-марш-ное | Двухмарш-ное |
| 5 | 2,86 | 16 | 8 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 5,5 | 3,14 | 14,7 | 7,37 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 6 | 3,43 | 13,4 | 6,7 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 6,5 | 3,72 | 12,2 | 6,1 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 7 | 4 | 11,4 | 5,7 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 7,5 | 4,3 | 10,7 | 5,35 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |
| 8 | 4,57 | 10 | 5 | 1 | 1,8 | 0,8 | 0,4 |

Выводы

В заключении важно отметить, что правильно установленными пандусами, которые соответствуют нормам градостроительства, пользуются не только инвалиды, но и люди без физических ограничений. Потому что они являются более комфортными с точки зрения многих физиологических параметров человека, что позволяет тратить меньше энергии при использовании. Таким образом, проектирование и строительство пандусов гражданских зданий (жилых, общественных, дошкольных, школьных учреждений, медицинских, социальных, зрелищных) является обязательным элементом, которому нужно уделять особое внимание.

Рецензент: Джураҳонзода С.Ш.- канд. архитектуры, Ректор Государственного института изобразительного искусства и дизайна Таджикистана

Литература

1. Choi, Y.O. Effects of ramp slope on physiological characteristics and performance time of healthy adults propelling and pushing wheelchairs / Y.O. Choi, H.Y. Lee, M.H. Lee, O.H. Kwon // Journal of Physical Therapy Science. – 2015. – Vol. 27, № 1. – P. 7–9. – DOI: 10.1589/jpts.27.7.
2. Kim, C.S. Effects of ramp slope on usability when a wheelchair is propelled by attendant / C.S. Kim, D. Lee, M.K. Chung // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 2012. – DOI: 10.1177/1071181312561131.

3. Шокиров, Р.М. Расчёт эвакуации в учебно-воспитательных учреждениях для детей с нарушением опорно-двигательного аппарата / Р.М. Шокиров, Н.Н. Хасанов // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XXII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 156.

4. Леонтьева, Е.Г. Доступная среда глазами инвалида / Е.Г. Леонтьева. – М.: Издательство «БАСКО», 2011. – 64 с.

5. Доступная среда для инвалидов [Электронный ресурс]. – Беларусь, Гомельская обл. – Режим доступа: <http://www.invalid.by> 17.11.2025

6. Градостроительные нормы и правила Республики Таджикистан. ГНиП РТ 35-01-2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения / Комитет по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан. – Душанбе: ГУП «НИИСА», Издательский центр, 2014. – 109 с.

7. СНиП РТ 35-02-2019. Социальные учреждения для детей-инвалидов / Комитет по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан. – Душанбе: ГУП «НИИСА», Издательский центр, 2020. – 24 с.

8. СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. – Утв. постановлением Госстроя РФ от 16.07.2001 г. № 73.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Шокиров Рачабалӣ Маҳмадалевич | Шокиров Раджабали Махмадалиевич | Shokirov Rajabali Mahmadalievich |
| доктор PhD | доктор PhD | doctor PhD |
| 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: Rajabali.1992@bk.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Муминов Ашрафҷон Раҳмоналиевич | Муминов Ашрафджон Рахмоналиевич | Muminov Ashrafjon Rahmonalievich |
| докторант PhD | докторант PhD | PhD student |
| 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: ashrafjon-1997@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Миралиев Сулаймон Абдулвахобович | Миралиев Сулаймон Абдулвахобович | Miraliev Sulaymon Abdolvahobovich |
| докторант PhD | докторант PhD | PhD student |
| 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 |

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

¹Низомов Джахонгир Низомович, ²Иномзода Абдуназар

¹Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ,

²Политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими в г. Худжанде

В данной статье предлагается методика численного решения граничных интегральных уравнений путем сплайн-аппроксимации граничных параметров. Предполагается, что перемещения и напряжения на контуре исследуемого объекта изменяются по определённому закону, соответствующему сплайну нулевого порядка. Численное интегрирование коэффициентов разрешающей системы уравнений выполняется методом Гаусса.

Ключевые слова: сплайн, фундаментальное решение, решение Кельвина, радиус-вектор, метод Гаусса, граничное уравнение, численное интегрирование.

ҲАЛЛИ АДАДИИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРАЛИИ КАНОРӢ БАРОИ МАСЪАЛАИ ДУЧЕНАКАИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ

Низомов Джахонгир Низомович, Иномзода Абдуназар

Дар ин мақола усули ҳалли рақамии муодилаҳои интегралӣ марзӣ бо истифода аз тақриби сплайнии параметрҳои марзӣ пешниҳод карда мешавад. Фарз карда мешавад, ки ҷойивазкунӣ ва фишорҳо дар контури объекти омӯхташуда мувофиқи қонуни муайяне, ки ба сплайни тартиби сифр мувофиқат мекунад, тағйир меёбанд. Интегралсияи рақамии коэффитсиентҳои системаи муодилаҳои ҳалқунанда бо истифода аз усули Гаусс анҷом дода мешавад.

Калимаҳои калидӣ: сплайн, ҳалли асосӣ, ҳалли Келвин, вектори радиус, усули Гаусс, муодилаи марзӣ, интегралсияи рақамӣ.

NUMERICAL SOLUTION OF BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS FOR A TWO-DIMENSIONAL PROBLEM OF ELASTICITY THEORY

Nizomov Jahongir Nizomovich, Inomzoda Abdunazar

This article proposes a method for the numerical solution of boundary integral equations using spline approximation of the boundary parameters. It is assumed that the displacements and stresses on the contour of the studied object vary according to a certain law corresponding to a zero-order spline. Numerical integration of the coefficients of the resolving system of equations is performed using the Gauss method.

Keywords: spline, fundamental solution, Kelvin solution, radius vector, Gauss method, boundary equation, numerical integration.

Рассмотрим двумерную конечную область в условиях плоской деформации с заданными граничными условиями, которая находится под воздействием внешних сил. Предполагается, что на одну часть границы области заданы перемещения, а на другую ее часть – напряжения. Для такой задачи, где неизвестными являются напряжения на одной части контура и перемещения на другой части, система граничных интегральных уравнений, полученная исходя из тождества Соммильяна [1], представляется в матричной форме

$$CU_p = \int_{\Gamma} U^* P_k d\Gamma - \int_{\Gamma} P^* U_k d\Gamma + \int_{\Omega} \bar{U}^* F d\Omega, \quad (1)$$

где

$$U = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}, \quad P = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}, \quad F = \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1-c_{xx} & -c_{yx} \\ -c_{xy} & 1-c_{yy} \end{bmatrix}, \quad U^* = \begin{bmatrix} u_{xx}^* & u_{yx}^* \\ u_{xy}^* & u_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad P^* = \begin{bmatrix} p_{xx}^* & p_{yx}^* \\ p_{xy}^* & p_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$c_{yy} = 1 - \frac{\omega}{2\pi} + \frac{\sin 2\omega}{8\pi(1-\nu)}, \quad c_{xy} = c_{yx} = \frac{\sin^2 \omega}{4\pi(1-\nu)},$$

ω – внутренний угол границы в точке $p(\xi, \eta)$, например, для гладкой границы $\omega = \pi$, $c_{xx} = 0,5$ и $c_{yy} = 0$, p_x, p_y – поверхностные напряжения, u_{xx}^*, p_{xx}^* – перемещения и напряжения, возникающие в точке $k(x, y)$ в направлении оси x от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по этой же оси,

u_{yx}^*, p_{yx}^* – перемещения и напряжения, возникающие в точке $k(x, y)$ в направлении оси y от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по оси x .

Фундаментальное решение системы уравнений (1), определяющее поле перемещений в неограниченной изотропной упругой среде от действия единичных сил e_x и e_y , строится на основе решения Кельвина [2]. Решение Кельвина в условиях плоской деформации можно записать в виде [3]

$$\begin{aligned} u_{xx}^* &= -a \left[(3-4\nu) \ln r_{pk} - \cos^2 \beta_1 \right], \\ u_{xy}^* &= u_{yx}^* = a \cos \beta_1 \cos \beta_2, \\ u_{yy}^* &= -a \left[(3-4\nu) \ln r_{pk} - \cos^2 \beta_2 \right], \end{aligned} \quad (4)$$

здесь $a = 1/8\pi G(1-\nu)$, $r_{pk} = [(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2]$ – расстояние между точками $k(x, y)$ и $p(\xi, \eta)$, β_1, β_2 – углы наклона радиус-вектора r_{pk} к осям x и y соответственно в точке $p(\xi, \eta)$. Компоненты напряжений на любой наклонной по отношению к осям x и y площадки, определяемые из условия равновесия призматического элемента, представляются так:

$$\begin{aligned} p_{xx}^* &= -b(c + 2m_1^2) \cos \gamma / r_{pk}, \\ p_{xy}^* &= -b[c(m_1 n_2 - m_2 n_1) + 2m_1 m_2 \cos \gamma] / r_{pk}, \\ p_{xy}^* &= b[c(m_1 n_2 - m_2 n_1) - 2m_1 m_2 \cos \gamma] / r_{pk}, \\ p_{yy}^* &= -b(c + 2m_2^2) \cos \gamma / r_{pk}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $b = 1/4\pi(1-\nu)$, $c = 1-2\nu$, $m_1 = \cos \beta_1$, $m_2 = \cos \beta_2$,
 $\cos \gamma = \cos \alpha_1 \cos \beta_1 + \cos \alpha_2 \cos \beta_2$,

γ – угол наклона между радиус-вектором r_{pk} и нормалью n в точке $k(x, y)$. Следует отметить, что фундаментальные решения (5) получены для условия, когда напряжения на границе бесконечной области равны нулю.

Уравнение (1) с использованием В-сплайна нулевого порядка [4] можно преобразовать к системе алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} \sum_{j=n_1}^{N_1} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=n_1}^{N_1} b_{ij} u_{yj} - \sum_{j=n_2}^{N_2} e_{ij} p_{xj} - \sum_{j=n_2}^{N_2} f_{ij} p_{yj} &= \sum_{j=n_3}^{N_3} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=n_3}^{N_3} f_{ij} p_{yj}^0, \\ \sum_{j=n_1}^{N_1} c_{ij} u_{xj} + \sum_{j=n_1}^{N_1} d_{ij}^* u_{yj} - \sum_{j=n_2}^{N_2} g_{ij} p_{xj} - \sum_{j=n_2}^{N_2} h_{ij} p_{yj} &= \sum_{j=n_3}^{N_3} g_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=n_3}^{N_3} h_{ij} p_{yj}^0, \end{aligned} \quad (6)$$

где n_i, N_i – номера узлов на контуре с неизвестными перемещениями или напряжениями.

Коэффициенты, входящие в систему уравнений (6), в соответствии с (4)-(5) представляются в виде [3]

$$\begin{aligned} a_{ij}^* &= a_{ij} + 0,5\delta_{ij}, \quad d_{ij}^* = d_{ij} + 0,5\delta_{ij}, \\ a_{ij} &= -b \int_{\Delta S_j} (c + 2m_1^2) \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \quad d_{ij} = -b \int_{\Delta S_j} (c + 2m_2^2) \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \\ b_{ij} &= bc \int_{\Delta S_j} \frac{\sin \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - 2b \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \end{aligned}$$

$$c_{ij} = -bc \int_{\Delta S_j} \frac{\sin \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - 2b \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j, \quad (7)$$

$$e_{ij} = -a \int_{\Delta S_j} [(3-4\nu) \ln r_{ij} - m_1^2] ds_j,$$

$$g_{ij} = a \int_{\Delta S_j} m_1 m_2 ds_j = f_{ij}, \quad h_{ij} = -a \int_{\Delta S_j} [(3-4\nu) \ln r_{ij} - m_2^2] ds_j. \quad (8)$$

Здесь $\cos \gamma_{ij} = n_1 m_1 + n_2 m_2$, $\sin \gamma_{ij} = m_1 n_2 - m_2 n_1$, $n_1 = \cos \alpha_1$, $n_2 = \sin \alpha_1$,

$$m_1 = \cos \beta_1, \quad m_2 = \sin \beta_1, \quad r_{ij} = [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2]^{1/2},$$

$$a = 1/8\pi G(1-\nu), \quad b = 1/4\pi(1-\nu), \quad c = 1-2\nu,$$

δ_{ij} – символ Кронекера, ΔS_j – длина носителя В-сплайна нулевого порядка, в пределах которого производится интегрирование, γ – угол наклона между радиус-вектором r и нормалью n в точке $k(x, y)$ на границе области, α_1, α_2 – углы наклона нормали n к осям x и y в точке $k(x, y)$, β_1, β_2 – углы наклона радиус-вектора r к осям x и y в точке $p(\xi, \eta)$.

Систему уравнений (6) можно представить в матричной форме

$$\begin{bmatrix} A & B & -E & -F \\ C & D & -G & -H \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_x \\ U_y \\ P_x \\ P_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E & F \\ G & H \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_x^0 \\ P_y^0 \end{Bmatrix}, \quad (9)$$

где U_x, U_y, P_x, P_y – векторы искоемых перемещений и напряжений, P_x^0, P_y^0 – заданные векторы напряжений на контуре, A, B, C, D – прямоугольные матрицы размера $NE \times NU$, где NE – общее число элементов нулевого порядка, NU – число элементов, где неизвестными являются перемещения, E, F, G, H – прямоугольные матрицы размера $NE \times NP$, где NP – число элементов с неизвестными напряжениями. Так как $NE = NU + NP$, то можно заметить, что квадратная матрица коэффициентов в (9) имеет порядок $2 \times NE$. Прямоугольные матрицы E, F, G, H в правой части (9) в общем могут иметь размеры $NE \times NU$.

После решения системы уравнений (9) и определения искоемых перемещений и напряжений, соответствующих поверхности рассматриваемого тела Γ , можно перейти ко второму этапу исследования, где определяются перемещений и напряжений в характерных точках внутри области Ω . Компоненты тензора напряжений в точках внутри области тела, находящегося в условиях плоской деформации, выражаются соотношениями

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2G\varepsilon_x + \frac{2\nu G}{1-2\nu} [\varepsilon_x + \varepsilon_y] = \frac{2G}{1-2\nu} [(1-\nu)\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y], \\ \sigma_y &= 2G\varepsilon_y + \frac{2\nu G}{1-2\nu} [\varepsilon_x + \varepsilon_y] = \frac{2G}{1-2\nu} [(1-\nu)\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x], \\ \sigma_z &= \frac{2\nu G}{1-2\nu} [\varepsilon_x + \varepsilon_y], \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy}, \end{aligned} \quad (10)$$

где G – модуль сдвига, ν – коэффициент Пуассона.

Третий этап анализа напряженно-деформированного состояния двумерной задачи теории упругости сводится к вычислению тангенциальных напряжений на контуре тела

$$\sigma_s = \frac{2G}{1-2\nu} [(1-\nu)\varepsilon_s + \nu\varepsilon_n], \quad (11)$$

$$\sigma_n = \frac{2G}{1-2\nu} [(1-\nu)\varepsilon_n + \nu\varepsilon_s]. \quad (12)$$

Из (12) находим $\varepsilon_n = -\nu\varepsilon_s / (1-\nu) + \sigma_n(1-2\nu) / 2G(1-\nu)$ и, подставив в (11), получаем

$$\sigma_s = (2G\varepsilon_s + \nu\sigma_n) / (1-\nu), \quad (13)$$

где $\varepsilon_s = \partial u_s / \partial s$, u_s – тангенциальное перемещение, положительное направление которого совпадает с направлением оси s в локальной системе координат.

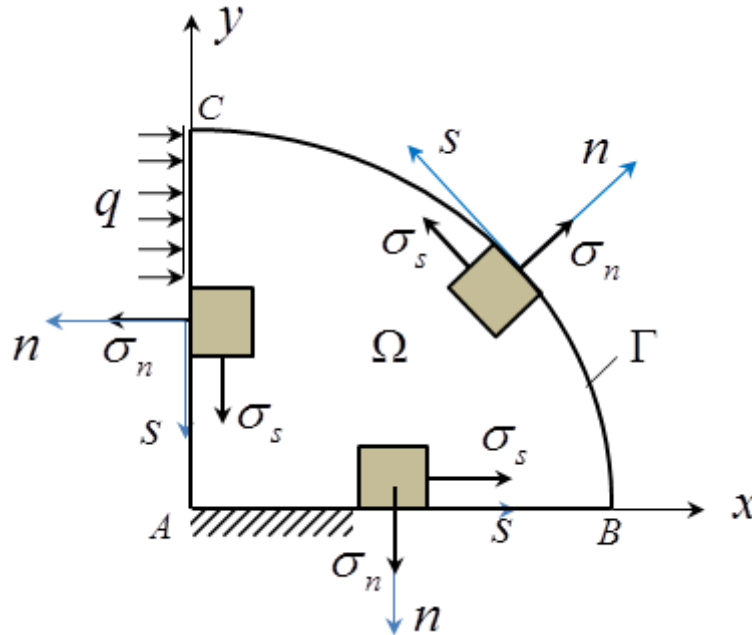


Рисунок 1 – К определению тангенциальных напряжений и перемещений

Численное интегрирование коэффициентов разрешающей системы уравнений (1) методом Гаусса [5] в пределах носителя сплайна нулевого порядка сводится к следующему

$$a_{ij} = \int_{\Gamma_j} p_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 p_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k p_{xx}^*(s_k),$$

$$e_{ij} = \int_{\Gamma_j} u_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 u_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k u_{xx}^*(s_k), \quad (14)$$

где n – число ординат, s_k, A_k – координаты точек интегрирования и их весовые коэффициенты, Δs_j – длина элемента. Остальные коэффициенты в (7) и (8) вычисляются аналогично (14).

Таким образом, разработан алгоритм численного моделирования плоской задачи теории упругости на основе метода граничных интегральных уравнений. Данный алгоритм может быть запрограммирован, и получены результаты численного решения плоской задачи теории упругости при различных воздействиях.

Рецензент: Каландарбеков И.К. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» СПбПУ им. акад. М.С. Осими.

Литература

1. Новацкий В. Теория упругости. – М.: «МИР», 1975. – 872 с.
2. Ляв А. Математическая теория упругости. – М.-Л.: ОНТ Издательство НКТП СССР, 1935. – 674 с.
3. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2000, 282 с.
4. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошников В.Л. Методы сплайн -функций. -М.: Наука, 1980. - 350 с.
5. Демидович Б.П., Морон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1970. - 664 с.
6. В. В. Стружанов, Н. В. Бурмашева Теория упругости: основные положения

7. Екатеринбург Издательство Уральского университета 2020 г. М-во науки и высш. Образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. — 204 с.

8. Лалин, В. В. Решение плоской задачи теории упругости в напряжениях методом граничных элементов / В. В. Лалин, Д. А. Семенов // Вестник Евразийской науки. — 2025. — Т 17. — № 4.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Низомов Ҷаҳонгир Низомович | Низомов Джахонгир Низомович | Nizomov Jahongir Nizomovich |
| д.и.т., профессор, узви вобастаи АМИТ | д.т.н., профессор, член-корр. НАНТ | Doctor of Technical sciences, professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| Мудир лабораторияи «Зилзилатобовари бино ва иншоот»-и Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон | Заведующий лабораторией сейсмостойкости зданий и сооружений Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ | Head of the Laboratory of Seismic Resistance of Buildings and Structures of the Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan |
| E-mail: nizomov-jn@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Иномзода Абдуназар | Иномзода Абдуназар | Inomzoda Abdunazar |
| Омӯғори калони кафедраи сохтмон | Старший преподаватель кафедры строительства | Senior Lecturer, Department of Construction |
| Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд | Политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими в г. Худжанде | Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi in Khujand |
| E-mail: dadaboev61@inbox.ru | | |

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С ДОБАВКОЙ ИЗ ВОЛЛАСТОНИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Дж.Х. Саидзода, А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В практической деятельности нередко встречаются условия, характеризующиеся ограниченностью количества связанной воды в цементном материале. Данное обстоятельство может тормозить реакции гидратации и, как следствие, уменьшать долговечность получаемого материала. Для изучения влияния мелкодисперсного волластонита из месторождения Западный Джангалик (Таджикистан) на свойства цементного камня при дефиците влаги была проведена оценка изменения механической прочности образцов, подвергнутых термическому воздействию при температурах 200 °C и 550 °C. Полученные результаты показали, что добавление волластонита в состав цементного камня способствует более стабильному сохранению прочности, благодаря комплексному воздействию минерала на формирование структуры материала и смягчению последствий разрушения, вызванного нагревом.

Ключевые слова: волластонит, минеральная добавка, цементный камень, прочность, долговечность.

ВОБАСТАГИИ МУСТАҲКАМИИ САНГИ СЕМЕНТИИ ИЛОВАИ ВОЛЛАСТОНИТДОР АЗ ТАЪСИРИ ҲАРОРАТИ БАЛАНД

Ҷ.Ҳ. Саидзода, А.А. Акрамов, А.Ҳ. Комилзода

Дар татбиқи амалӣ, шароитҳое, ки аксар вақт дучор мешаванд, бо миқдори маҳдуди оби пайвастишуда дар маводи сементӣ тавсиф карда мешаванд. Ин метавонад реаксияҳои гидратсияро боздорад ва аз ин рӯ, устувории маводи ҳосилшударо коҳиш диҳад. Барои омӯзиши таъсири волластонити маҳин дисперси кони Ҷангалики Ғарбӣ (Тоҷикистон) ба ҳосиятҳои санги сементӣ дар ҳолати норасоии намӣ баҳодихии тағирёбии устувории механикии намунаҳое, ки дар ҳарорати 200 °C ва 550 °C ба таъсири гармӣ дучор шудаанд, баҳо дода шуд. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки ба таркиби санги семент илова кардани волластонит ба устувортар нигоҳ доштани мустаҳками мусоидат мекунад, зеро таъсири комплекси минералӣ ба ташаккули сохтори модди ва кам кардани таъсири ҳаробшавӣ дар натиҷаи гармкунӣ оварда мерасонад.

Калидвожаҳо: волластонит, иловаи минералӣ, санги сементӣ, мустаҳкамӣ, дарозмӯҳлат.

DEPENDENCE OF THE STRENGTH OF CEMENT STONE WITH A WOLLASTONITE ADDITIVE ON THE IMPACT OF HIGH TEMPERATURE

J.H. Saidzoda, A.A. Akramov, A.H. Komilzoda

In practical applications, conditions often encountered are characterized by a limited amount of bound water in cementitious materials. This can inhibit hydration reactions and, consequently, reduce the durability of the resulting material. To study the effect of finely dispersed wollastonite from the Western Dzhangalik deposit (Tajikistan) on the properties of cement stone under moisture deficiency, an assessment was made of the change in the mechanical strength of samples subjected to thermal effects at temperatures of 200 °C and 550 °C. The results obtained showed that the addition of wollastonite to the composition of cement stone contributes to a more stable retention of strength, due to the complex effect of the mineral on the formation of the material structure and mitigation of the effects of destruction caused by heating.

Keywords: wollastonite, mineral additive, cement stone, strength, durability.

Введение

В настоящее время важным направлением разработки бетонов с улучшенными характеристиками выступает внедрение модификаторов – минеральных, органических или их сочетаний, а также применение композитных связующих [1-7]. При этом особое внимание уделяется использованию разнообразного природного сырья, включая волластонит [8-13].

Уже установлено, что добавление минеральных компонентов позволяет сократить долю клинкера и одновременно наделить материалы новыми качествами, обусловленными составом и свойствами исходного материала.

Настоящее исследование было направлено на изучение того, как нагрев влияет на механическую стойкость бетона на основе цемента с добавлением 12,5% тонкого волластонита из месторождения Западный Джангалик, расположенного в Таджикистане.

При повышенных температурах в цементном камне наблюдается дефицит подвижной фазы и запускаются разнообразные изменения, ухудшающие его механическую стойкость. Например, нагрев до 300 °C вызывает выпаривание связанной воды – она удаляется из структуры гидратов портландцемента (клинкера), включая воду, поглощенную ими, и кристаллизационную воду гидросульфатоалюмината кальция. Параллельно с этим процессом высвобождения влаги в цементном камне возникают значительные объемные и геометрические искажения, создающие внутреннее напряжение, которое иногда приводит к появлению мелких и крупных трещин. Повышение температуры приводит к разрушению структуры известняка из-за разных упругих свойств кристаллов гидроксида кальция и не вступивших в реакцию компонентов. Около 510 °C начинается удаление воды из гидроксида кальция и распад связанных с водой соединений. В диапазоне

температур около 800°C фиксируется процесс расщепления молекул, а последующий нагрев вызывает активное разложение карбонатного кальция при температуре выше 1240°C.

Методика исследований

В эксперименте использовали кубы цементного материала размерами 5х5х5 см, некоторые из которых включали 12,5% волластонита с удельной поверхностью 400 м²/кг. Эти образцы подвергали термической обработке при 200°C и 550°C, после чего измеряли предел их прочности на сжатие. Для сравнения брали контрольные группы образцов, которые не обрабатывали нагревом; их прочность принималась за базовый уровень в 100%.

Оптимальные значения удельной поверхности волластонита и его доля в смеси определялись данными предыдущих экспериментов, выявивших, что определенная степень измельчения материала и конкретная концентрация позволяют достичь наибольшего увеличения прочности цементного основания – до 24%.

Основная часть

Согласно результатам исследования после воздействия температуры в 200°C прочность материала на основе цемента снизилась до 78,72% по сравнению с исходными значениями; добавление волластонита привело к еще большему уменьшению – до 69,75% (иллюстрация представлена на рис. 1).

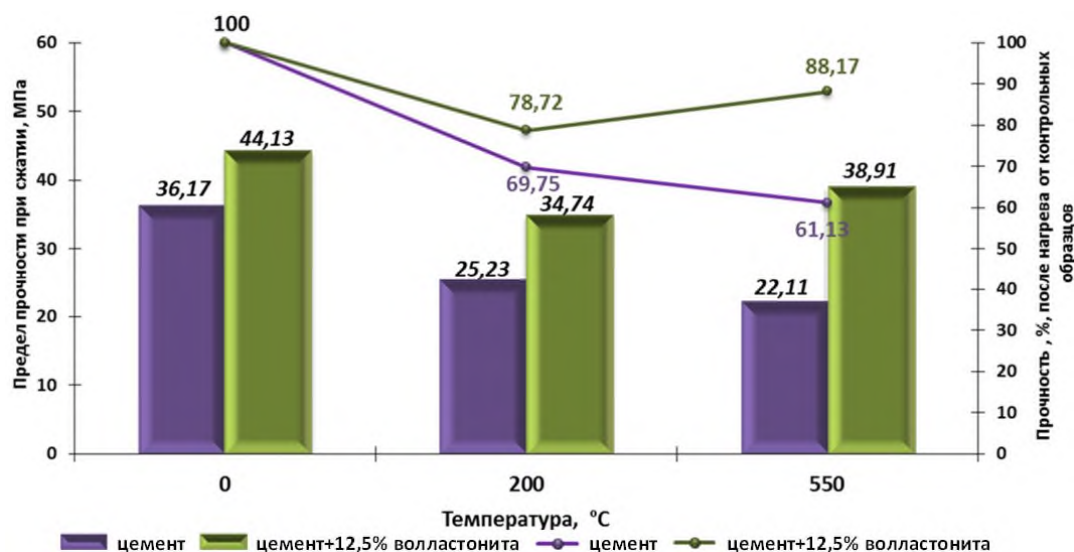


Рисунок 1 – Прочность образцов при сжатии и после нагрева

При использовании цементного камня, полностью состоящего из тонкомолотых вяжущих веществ, подвергнутых обжигу при 550 °C, отмечается увеличение прочности на 9,5% относительно показателей, полученных при другой температуре обжига. В противоположность этому прочность образцов обычного цемента уменьшается на 8,5%.

Установлено, что у вяжущих соединений, подвергнутых термообработке при 200 °C, выраженность характеристических пиков C_2S , C_3S и $Ca(OH)_2$ на дифрактограммах цементных пород с добавлением мелкого волластонита оказывается меньше, чем в образцах чистого цемента (см. рис. 2, а). Уменьшение выраженности пиков алитата и белита связано со свойствами глинистых минералов, присутствующих в составе волластонита. Их слоистая структура позволяет им абсорбировать влагу и удерживать её даже при нагревании до 200°C. В этот период, когда в цементном камне ощущается недостаток жидкости, это способствует активации гидратации и смягчает влияние разрушающих процессов, включая усадку. Кроме того, при нагревании до этой же температуры формируется среда, благоприятствующая реакции гидроксида кальция с активными минеральными составляющими волластонита – кристобалитом и мелкими глинистыми частицами, что приводит к ослаблению интенсивности пиков портландита.

Именно эта взаимосвязь явлений обуславливает более высокую остаточную прочность испытанных на разрушение образцов бетона, подвергнутых воздействию температуры 200 градусов Цельсия и включающих 2,5% мелкодисперсных вулканических отложений осадочного происхождения.

Характерной чертой дифрактограмм проб, подвергнутых воздействию температуры 550°C, выступает невыявленность характерных максимумов портландита с межплоскостными расстояниями 2,63; 4,93 Å и уменьшение интенсивности сигнала при $d/n = 1,93$ (рисунок 2, б). Это указывает на декомпозицию $Ca(OH)_2$ в условиях заданной термообработки. Интересно отметить, что оба исследованных образца демонстрируют

сопоставимую интенсивность упомянутого пика. Кроме того, на рентгеновских снимках модифицированной цементной породы (рисунок 2, б, 2) зафиксировано дальнейшее ослабление интенсивности дифракционных линий клинкерных составляющих по сравнению как с исходным цементным камнем, так и с образцом сходного состава, обработанным при 200 °С.

Несмотря на сопоставимую концентрацию гидроксидов кальция, уменьшение интенсивностей характеристических сигналов алюминатов и железосодержащих силикатов согласуется с предыдущими результатами, демонстрирующими благоприятное воздействие мелкодисперсного волластонита на формирование структуры цемента. Это выражается в ускорении гидратации и реакции образования портландита, что приводит к увеличению прочности материала после термообработки при 550 °С. Изучение микроструктуры вяжущих веществ после нагрева до 200 °С показало образование пластинчатой структуры в образцах с добавлением волластонита (ил. 3, 2а), что указывает на позитивное влияние этого компонента на структуру цементного камня при данной температуре.

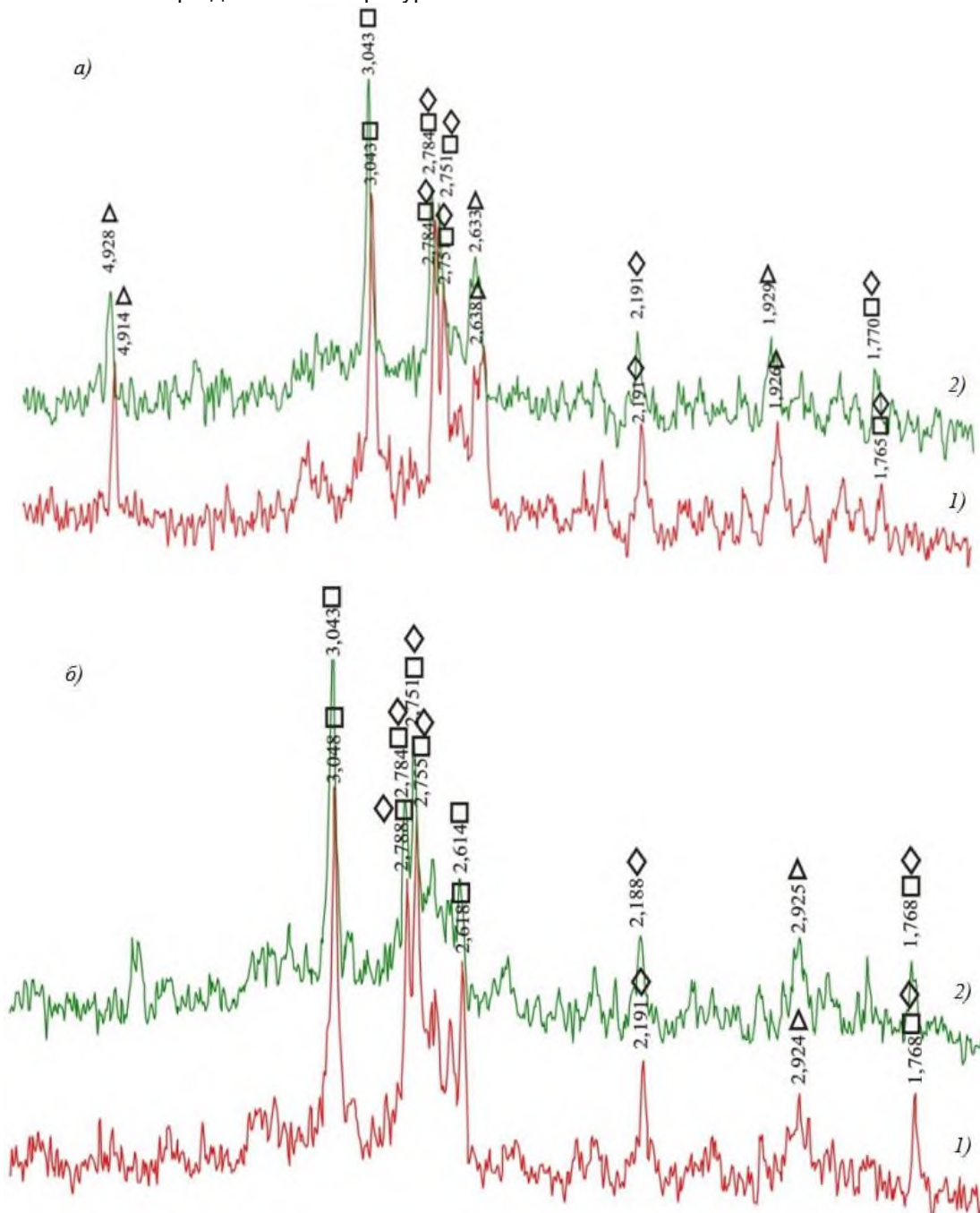


Рисунок 2 – Рентгенограммы образцов, выдержанных при температуре 200°C (а) 550°C (б): 1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень, содержащий 12,5 % тонкомолотого волластонита

Микроскопическое строение цементного материала характеризуется преобладанием дискретных агрегатов, визуально схожих с хлопьевидными структурами (см. рис. 3,1б). Эти образования выделяются невыраженным контактом между составляющими их частицами, что негативно сказывается на общей механической стойкости материала. Важно подчеркнуть, что независимо от температурной обработки, микроструктура цементного камня с добавлением волластонита демонстрирует повышенную плотность и сниженное количество дефектов в виде трещин и пустот (на иллюстрациях 3, 2а и 3, 2б).

Выводы

Анализ полученных данных позволяет заключить, что добавление мелкодисперсного волластонита оказывает положительное влияние на свойства вяжущего состава, уменьшая разрушительные эффекты, связанные с нагревом. Кроме того, опираясь на результаты предыдущих работ, вероятно, поведение глиносодержащих компонентов волластонита при высокой температуре будет аналогично их действию в процессе гидратации цемента при стандартных условиях.

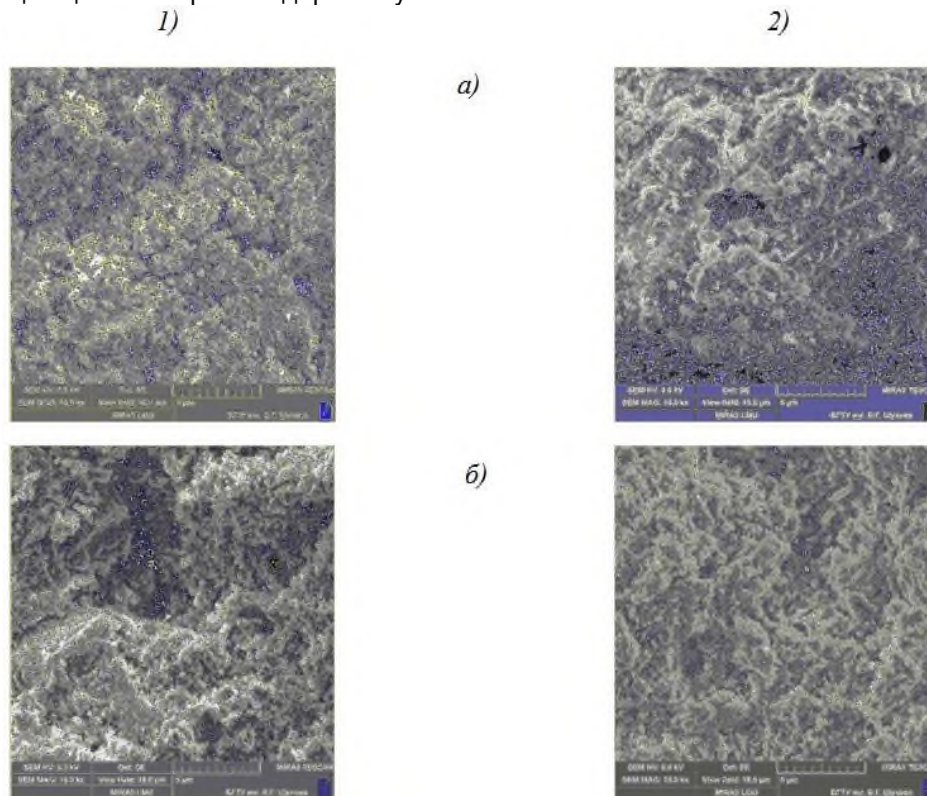


Рисунок 3 – Микроструктура образцов, выдержанных при температуре 200 °С (а) 550 °С (б): 1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень, содержащий 12,5 % тонкомолотого волластонита

Рецензент: Хасанзода Н.М. — д.т.н., и.о.профессора кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ПИФУ им. акад. М.С.Осими.

Литература

1. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.
2. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфодерритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.
3. 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.
4. Акрамов А.А. Магнезиально-карналлитовое вяжущее. / Косимов О.Б, Акрамов А.А., Косимов К.О. углы. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(66), Душанбе. 2024. – С. 139-142.
5. Акрамов А.А. Исследование свойств магнезиально-карналлитовых вяжущих. / Косимов О.Б, Акрамов А.А. // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №3 – С. 175-177.
6. Акрамов А.А. Исследование возможности синтеза клинкера белого портландцемента на основе пиррофиллитсодержащего сырья и каолининовой глины. / Акрамов А.А // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(67), Душанбе. 2024. – С. 102-106.

7. Акрамов А.А. Влияние условий термического воздействия на процессы минералообразования на смеси ООО «Хуаксин Гаюр цемент» / Акрамов А.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Новые направления развития науки в технических отраслях» ТТУ им. акад. М.С. Осими. (10-11 октября 2024 г.) С.11-16.

8. Акрамов А.А. Влияние тепловой обработки на структурообразование шлакощелочного лёгкого бетона на органических заполнителях / Косимов О.Б., Акрамов А.А., Баракаев К. Т. Углы. // Материалы научно-технической конференции в рамках фестиваля “Архитекторов-строителей и дизайнеров”, проводимая под лозунгом “История, настоящее и будущее Бухары” Бухарский инженерно-технологический институт (18-19 октября 2024 г.). С.559-562.

9. 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.

10. Акрамов А.А. 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.

11. Акрамов А.А. Влияние углещелочной добавки на дегидратацию каолинита / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Материалы международной научно-технической конференции “В строительстве энергоэффективных и ресурсоэффективных зданий, современных строительных материалов и технологий”. Ферганский политехнический институт (19-20 декабря 2024 г.). С.382-385.

12. Акрамов А.А. Влияние алюмосиликатных минеральных добавок в производстве смешанных цементов // Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 171-177.

13. 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.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Саидзода Чамшед Ҳамро | Саидзода Джамшед Хамро | Saidzoda Jamshed Hamro |
| д.и.т., профессор | д.т.н., профессор | Doctor of Technical Sciences, Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: jamshed66@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич | Акрамов Авазжон Абдуллоевич | Akramov Avazjon Abdulloevich |
| Номзади илмҳои техники, дотсент | Кандидат технических наук, доцент | Candidate of technical sciences, assistant professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: akramov.avaz@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Комилзода Абдували Ҳаким | Комилзода Абдували Хаким | Komilzoda Abduvali Hakim |
| Номзади илмҳои техники, и.в. дотсент | Кандидат технических наук, и.о. доцента | Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон баноми академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: a.komilov@yahoo.com | | |

ТАҲҚИҚИ ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКИЮ – ДЕФОРМАЦИЯШАВИИ КОНТУРҲОИ ИНШООТҲОИ ЗЕРИЗАМИНИИ МАҲКАМКАРДАШУДА БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРАЛИИ КАНОРӢ

С.С. Зарифов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола ҳолати шиддатнокию-деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминӣ бо крепи сарбаст набуда аз таъсири гуногун дар асоси методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ тадқиқ карда мешавад. Барои ҳалли масъалаи таъсири ҳамдигарии иншооти маҳкамкардашудаи зеризаминӣ бо массиви чинсҳо дар шароити деформатсияи ҳамвор алгоритм коркард шудааст ва модели математикӣ пешниҳод карда мешавад. Дар натиҷаи аппроксимонии параметрҳои канорӣ системаҳои муодилаҳои ҳалшаванда ба даст оварда шудаанд. Аз ҳалли ин системаҳои муодилаҳо ҳолати шиддатнокию-деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминӣ аз таъсири гуногун муайян карда мешаванд.

Калидвожаҳо: контур, креп, тоннель, коркард, саҳади васлӣ, концентратсияи шиддатҳо, моделсозӣ, массиви чинсҳои кӯҳӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТУРОВ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

С.С. Зарифов

В статье исследуется напряжённо-деформированное состояние контуров подземных сооружений с незамкнутой крепью от различных воздействий на основе метода граничных интегральных уравнений. Разработан алгоритм и предлагается математическая модель решения задач взаимодействия подкреплённых подземных сооружений с массивом пород в условиях плоской деформации. В результате аппроксимации граничных параметров получены системы разрешающих уравнений. Из решения этих систем уравнений определяется напряжённо-деформированное состояние контуров подземных сооружений от различных воздействий.

Ключевые слова: контур, креп, тоннель, выработка, контактная граница, концентрация напряжений, моделирование, массив горных пород.

STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF CONTOURS OF REINFORCED UNDERGROUND STRUCTURES BY THE METHOD OF BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS

S.S. Zarifov

The article examines the stress-strain state of the contours of underground structures with open support from various impacts based on the method of boundary integral equations. An algorithm has been developed and a mathematical model has been proposed for solving problems of interaction between reinforced underground structures and a rock mass under conditions of plane deformation. As a result of approximation of boundary parameters, systems of resolving equations were obtained. From the solution of these systems of equations, the stress-strain state of the contours of underground structures from various impacts is determined.

Keywords: contour, fortification, tunnel, working, contact boundary, stress concentration, modeling, rock mass.

Муқаддима

Масъалаҳои, ки бо омӯхтани ҳолати шиддатнокию – деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминии бе креп ва бо креп, ки дар чуқурии ба қадри кофӣ калон ҷойгир шудаанд, амалан манфиатнок мебошанд. Қобилияти борбардорӣ чунин иншоот одатан бо ҳолати шиддатнокӣ ва шартҳои мустаҳкамӣ дар ҷойҳои концентратсияи шиддатҳо нишон дода мешавад. Барои баҳодиҳии мустаҳкамӣ ва сахтии онҳо шиддатҳо ва деформацияҳоро дар минтақаҳои концентратсияи шиддатҳо муайян кардан лозим аст. Концентратсияи шиддатҳо, ин падидаи пайдоиши зиёдшавии шиддатҳои маҳаллӣ дар минтақаҳои тағирёбии якбораи шакли ҷисми чандир мебошад. Концентратсияи шиддатҳо дар минтақаҳои кунҷӣ, дар ҷойҳое, ки буриши арзии конструксия аз як намуд ба намуди дигар мегузарад, ҳангоми кам шудан ё зиёд шудани андозаи конструксия, дар ҷойҳое, ки маводди бегона ворид мешавад, дар он ҷойҳое, ки чокҳо, заифӣҳо, буридагиро, сӯрохиҳо, тарқишҳо дар сатҳи конструксия, инчунин дар ҷойҳои пайваستшавии ҷузвҳо, ба амал меоянд.

Моделсозӣ

Ҳалли масъалаи васлии таъсири мутақобилаи креп бо массиви чинсҳо бо методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ дида мебароем. Тартиби сохтани модели математикиро дар мисоли крепи сарбаст набудаи шакли ихтиёридоштаи нақби дар чуқурии зиёд ҷойгиршударо дида мебароем (расми 1). Фарз карда мешавад, ки креп бо соҳаи дохилии Ω_0 ва контури $S_0 = S_{00} + S_{01} + 2\Delta$, ки дар ин ҷо $\Delta = b - a$ ғафсии креп дар қисми истинодгоҳӣ (паҳноии пошна) мебошад, ҳам дар пошнаи коркард ва ҳам дар контури беруна дар бадани массиви деформацияшавандаи Ω_1 пайванд шудааст.

Ишораҳои зеринро ворид мекунем: M_1, \dots, M_4 – нуқтаҳои кунҷӣ дар контури креп; M_5, \dots, M_8 – нуқтаҳои хос дар сарҳади васлии (контактии) массив S_{11} ; M_8, M_9 - нуқтаҳои канорагии контури озоди пошнаи коркард S_{02} . Дар ҳудуди нуқтаҳои нишондодашуда дискретикунони контурҳоро бо элементҳои канории тартиби сифри иҷро мекунем. Он гоҳ, барои модели баррасишаванда муодилаҳои интегралӣ канорӣ [1-4], ки ба контурҳои креп, сарҳади васлии массив ва пошнаи коркард мувофиқанд, дар шакли зерин ифода карда мешаванд:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=M1}^{M4} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M1}^{M4} b_{ij} u_{yj} - \sum_{j=M2}^{M4} e_{ij} p_{xj} - \sum_{j=M2}^{M4} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} = \\ & = - \left(\sum_{j=M1}^{M4} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M1}^{M4} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M1, \dots, M4); \end{aligned} \quad (1)$$
$$\begin{aligned} & \sum_{j=M7}^{M5} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} b_{ij} u_{yj} + \sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} = \\ & = - \left(\sum_{i=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{i=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{i=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{i=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M5, \dots, M7); \end{aligned} \quad (2)$$

152

$$\sum_{j=M7}^{M5} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} b_{ij} u_{yj} + \sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} =$$

$$= - \left(\sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M8, \dots, M9-1). \quad (3)$$

Дар сарҳади васлӣ шартҳои бефосилагӣ иҷро мешаванд, ки ба таври зерин навишта мешаванд:

$$u_x^{01} = u_x^{11}, \quad u_y^{01} = u_y^{11}, \quad p_x^{01} = -p_x^{11}, \quad p_y^{01} = -p_y^{11}, \quad (4)$$

дар ин ҷо индексҳои болоии 01 ва 11 мувофиқан ба гиреҳҳои элементҳои канорӣ дар сарҳадҳои васлӣ S_{01} ва S_{11} дахл доранд. Дар асоси шартҳои муштараки ва мувозинат (4), муодилаҳои (1)-(3) – ро ба як системаи муодилаҳои ҳалшаванда якҷоя мекунем, ки онро дар шакли матритсавӣ нишон додан мумкин аст [4]

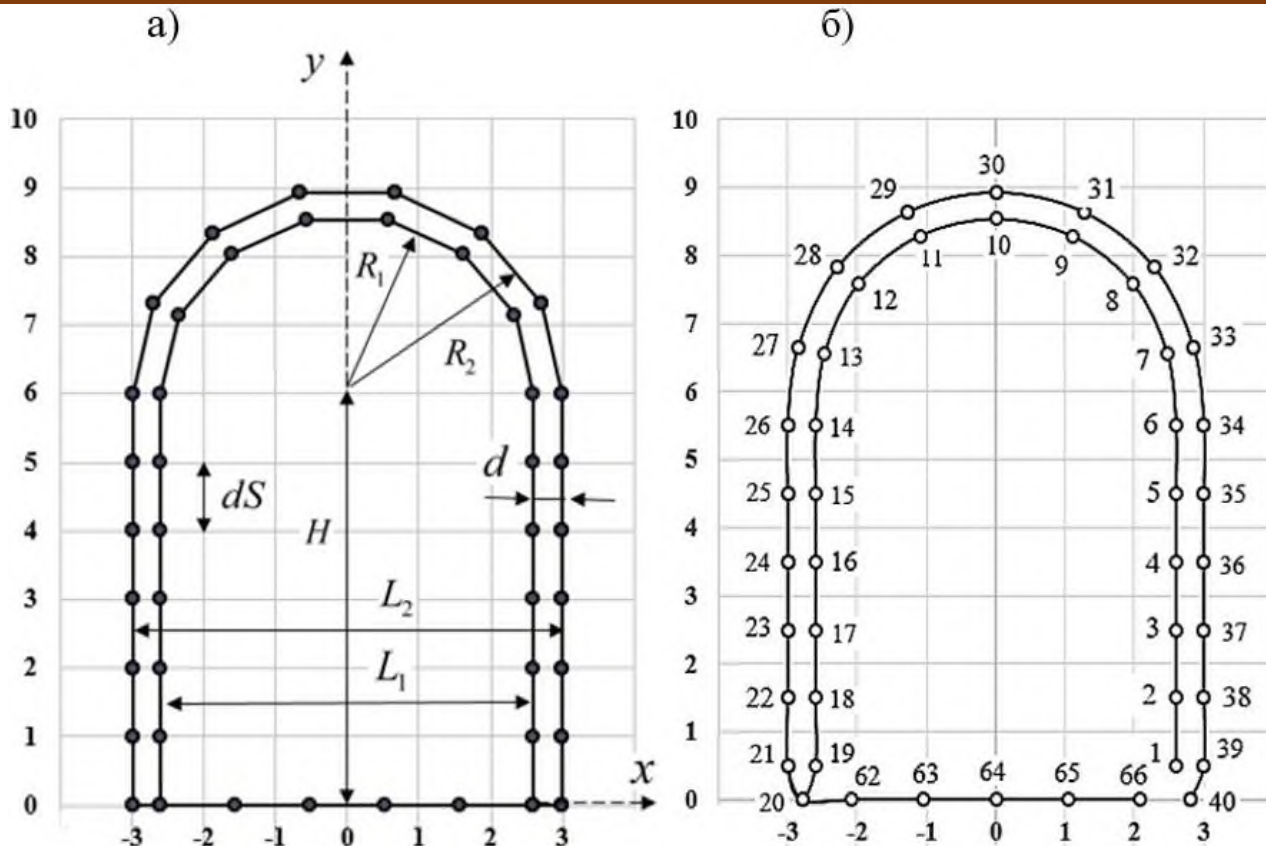
$$\begin{bmatrix} A_{01} & -E_{01} & A_{02} \\ A_{11} & E_{11} & A_{12} \\ A_{21} & E_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ P_1 \\ W_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E'_{01} & E_{02} \\ E'_{11} & E_{12} \\ E'_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1^0 \\ P_2^0 \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

$$W_1 = (U_{x0} \ U_{y0}), \quad P_1 = (P_{x1} \ P_{y1}), \quad W_2 = (U_{x2} \ U_{y2}),$$

дар ин ҷо A_{01} , E_{11} , A_{22} – матритсаҳои квадратии тартиби $2N_0$, $2N_{01}$, $2N_{02}$ ба таври мувофиқ, ки дар ин ҷо N_0 – шумораи элементҳо дар контурҳои креп, N_{01} – шумораи элементҳо дар сарҳади васлӣ, N_{02} – шумораи элементҳо дар контури пошнаи коркард S_{02} . Векторҳои U_{x0} , U_{y0} мувофиқан аз N_0 компонентҳои ҷойивазкунӣ u_{xj} , u_{yj} иборатанд, векторҳои U_{x2} , U_{y2} бошад N_{02} элементро дар бар мегиранд. Векторҳои P_{x1} , P_{y1} аз N_{01} компонентҳои шиддатҳои сатҳӣ дар сарҳади васлӣ S_{01} иборатанд. Системаи муодилаҳои пешниҳодшудаи (5) тартиби $2(N_0 + N_{01} + N_{02})$ имкон медиҳанд консентратсияи шиддатҳоро дар контурҳои креп, сарҳади васлӣ ва пошнаи коркард таҳқиқ кунем.

Ҳамин тавр, дар асоси методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ модели математикӣ ва алгоритми ҳисоб оиди таъсири мутақобилаи иншооти зеризаминӣ бо фазои чандир дар шароитҳои деформатсияи ҳамвор кор карда баромада шуд.

Мисол. Ба сифати мисол, крепи росткунҷаи тоқдори сарбаст набуда, дар зери таъсири шиддатҳои фишороварандаи уфуқӣ ва амудӣ σ_x^0 , σ_y^0 дида баромада мешавад. Шакл ва андозаҳои буриши арзии креп дар расми 2 нишон дода шудаанд. Натиҷаҳои ҳалли ададӣ бо додашудаҳои зерин ба даст оварда шуданд: $L_2 = 6.0\text{м}$, $L_1 = 5.2\text{м}$, $R_1 = 2.6\text{м}$, $R_2 = 3.0\text{м}$, $H = 6.0\text{м}$, $E_0 = 3 \cdot 10^4 \text{МПа}$, $\nu_0 = 0.2$, $E_1 = 3 \cdot 10^3 \text{МПа}$, $\nu_1 = 0.33$, дар ин ҷо E_0 , ν_0 , E_1 , ν_1 , модули чандирӣ ва коэффисиенти Пуассони креп ва массиви чинс ва ҳангоми тақсимот, ки дар он $N_0 = 40$, $N_{01} = 21$, $N_{02} = 5$ (расми 2). Дар айни ҳол элементҳои 1-19 ба сатҳи дохилии креп М1-М2 дахл доранд, элементҳои 20-40 ба сатҳи васлии креп, элементҳои 41-61 ба сатҳи васлии массиви чинс, элементҳои 62-66 ба сатҳи пошна.



Расми 2 – Нақшаи тақсироти контурҳои креп ва коркард дар соҳаи беохир: а) координатаҳои элементҳои канорӣ, б) координатаҳои маркази элементҳо.

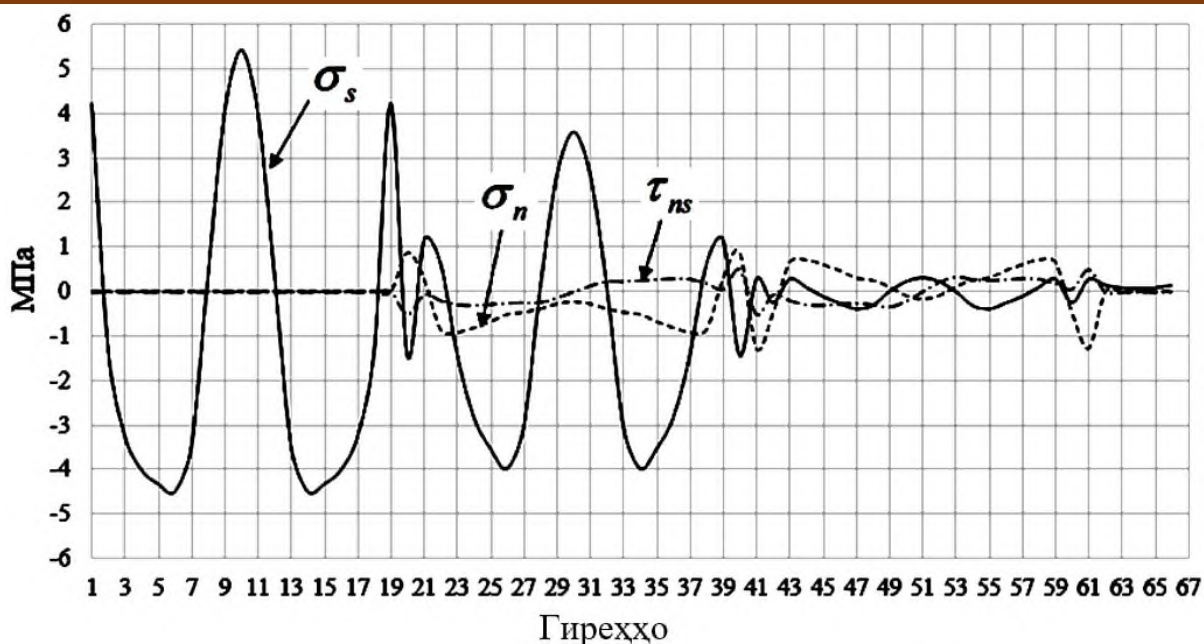
Тақсироти шиддатҳо дар контурҳои системаи «креп-массив» аз таъсири $\sigma_x^0 = -0.1$ МПа, $\sigma_y^0 = -0.2$ МПа дар расми 3 нишон дода шудааст, ва аз ин ҷо бармеояд, ки шиддатҳои нормалии калонтарин лар элементҳои васлии 20 ва 23 ба вуҷуд меоянд. Консентратсияи шиддатҳои тангенсалии дар минтақаҳои кунҷи дида мешаванд, ки дар ин нуқтаҳои кунҷи онҳо ба беохир майл мекунанд, шиддатҳои тангенсалии калонтарини ёзанда бошад дар нуқтаҳои калидии арка пайдо мешаванд. Аз рӯи қиматҳои ёфташудаи шиддатҳои нормалии тангенсалии σ_s дар контурҳои дохилии ва берунии креп қувваҳои дохилии – моментҳои ҳамшавӣ M ва қувваҳои нормалӣ N – ро дар ҳар як буриши арзии креп бо формулаҳои зерин муайян кардан мумкин аст:

$$M = \frac{l \cdot d^2}{12} \cdot (\sigma_s^{\text{дохилии}} - \sigma_s^{\text{беруни}}); \quad N = \frac{l \cdot d}{2} \cdot (\sigma_s^{\text{дохилии}} + \sigma_s^{\text{беруни}}), \quad (6)$$

дар ин ҷо d ва l – ғафсӣ ва дарозии 1 метри тӯлоии креп, масалан дар буриши 6-34 (расми 2б ва 3)

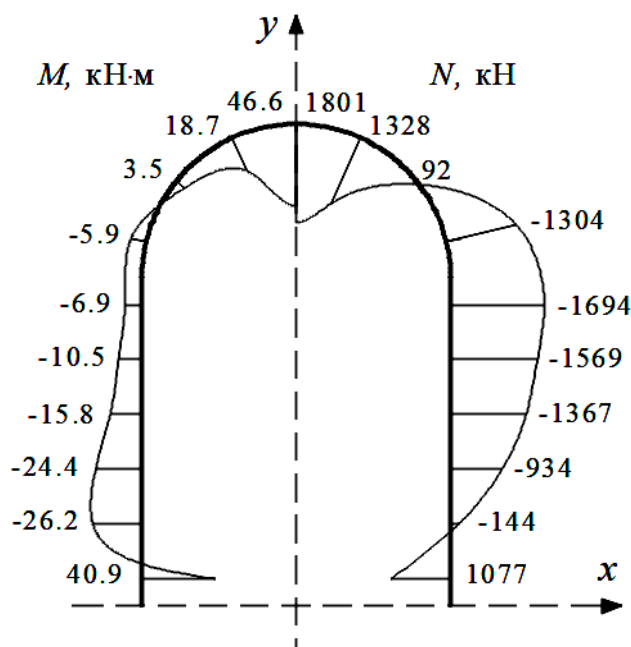
$$M = \frac{1 \cdot 0.4^2}{12} \cdot (-4.4945 + 3.9766) = -0.00691 \text{ МН} \cdot \text{м} = -6.91 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$N = \frac{1 \cdot 0.4}{2} \cdot (-4.4945 - 3.9766) = -1.694 \text{ МН} = -1694 \text{ кН}.$$



Расми 3 – Тақсимои шиддатҳо дар контурҳои креп ва коркард

Дар расми 4 эпюраҳои моментҳои ҳамшавӣ ва қувваҳои нормалӣ аз таъсири шиддатҳои фишороваранда нишон дода шудаанд. Аз расми 4 бармеояд, ки хатарноктарин буришҳои креп буришҳое мебошанд, ки ба қисми истинодгоҳ ва маркази арка наздиктар ҷойгир шудаанд, зеро дар ин буришҳо моменти ҳамкунандаи максималӣ ба амал меояд. Қувваҳои максималии нормалии кашишхуранда N дар буришҳои наздик ба қисми истинодгоҳ ва дар нуқтаи калидии арка ва қувваҳои фишурда дар буриши 6-34 ба амал меоянд.



Расми 4 – Эпюраҳои қувваҳои дохилӣ дар буришҳои креп

Хулоса

Алгоритми метод хеле универсалӣ буда, барои барномасозӣ мувофиқ аст. Барои ҳалли масъалаи пешниҳодшуда барномаи компютерӣ дар забони ФОРТРАН сохта шудааст. Дар асоси натиҷаҳои ба даст овардашуда хулоса баровардан мумкин аст, ки методикаи пешниҳодшударо барои ҳалли масъалаҳои

иншооти зеризаминии шаклҳои гуногуни буриши арзӣ дошта бо крепи сарбаст набуда, ки бо массиви чинсҳои таъсири мутақобила дорад истифода бурдан мумкин аст.

Муқарриз: Иқромов И.И. – н.и.т., дотсент, мудири қабедраи механикаи сохтмон ва иншоотҳои гидротехникии ДАИТ ба номи Ш. Шотемур

Адабиёт

1. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2000, 282с.
2. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении двумерных задач теории упругости. – Душанбе: Дониш, 2019, 435 с.
3. Зарифов С.С. Численное исследование концентрации напряжений на контурах подземных сооружений методом граничных уравнений: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Душанбе 20019, 23 с.
4. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Зарифов С.С. Концентрация напряжений на контуре незамкнутой крепи // Изв. АН РТ.-2012. -№2.- Вып. 147.- С. 58-63.
5. Зарифов С.С., Саидов Р.Р. Муминов И.С. Исследование напряженно – деформированного состояния контуров подземных сооружений методом граничных уравнений // Политехнический Вестник №2. ТТУ, 2024. - С.143-148.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Зарифов Сирочиддин Садриддинович | Зарифов Сироджиддин Садриддинович | Zarifov Sirojiddin Sadriddinovich |
| Номзади илмҳои техники | Кандидат технических наук, старший преподаватель | Candidate of technical sciences, senior lecturer |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, |
| E-mail: zarifovsirojidin@gmail.com | | |

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНО-ОРГАНИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Дж.Х. Саидзода, Р.Х. Сайрахмонов, Я.Г. Назиров, А.С. Рахматзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведены исследования влияния порошка волластонита (ПВ), золы уноса (ЗУ), модифицированного лигносульфоната (МЛСТ) и щелочного экстракта хлопчатника (ЩЭХ) на физико-механические свойства мелкозернистого бетона. Проведённое исследование позволило установить значительное влияние как минеральных, так и органических добавок на физико-механические свойства мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: цемент, высокопрочный бетон, добавка, пластификатор, бетонная смесь, волластонит, зола, прочность, коррозионная стойкость.

БЕТОНҲОИ СОҲТМОНИ РОҶ БО ИЛОВАҲОИ ХИМИЯВӢ АЗ КОРКАРДИ МАВОДИ РАСТАНӢ

Ҷ.Ҳ. Саидзода, Р.Х. Сайрахмонов, Я.Г. Назиров, А.С. Рахматзода

Дар мақола тадқиқоти ҳосиятҳои физикию-механикии бетонҳо, бо иловаҳои химиявӣ дар асоси экстракти аз растаниҳо ҷудо карда шуда омухта шудааст. Нишон дода шудааст, ки истифодаи иловаҳои номбурда ҳосиятҳои физикавӣ-механикии бетонро баланд менамоянд.

Калидвожаҳо: семент, бетони роҳ, иловагиҳо, пластификатор, мустаҳкамӣ, экстрактҳои растани, устворӣ.

INVESTIGATION OF THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FINE-GRAINED CONCRETE BASED ON MODIFIED CEMENTS WITH MINERAL AND ORGANIC ADDITIVES

J.H. Saidzoda, R.H. Sairakhmonov, Ya.G. Nazirov, A.S. Rakhmatzoda

The article presents studies of the effect of wollastonite powder (WP), fly ash (FA), modified lignosulfonate (MLST) and alkaline extract of cotton (AEC) on the physical and mechanical properties of fine-grained concrete. The conducted research allowed us to establish a significant influence of both mineral and organic additives on the physico-mechanical properties of fine-grained concrete.

Keywords: cement, high-strength concrete, additive, plasticizer, concrete mix, wollastonite, ash, strength, corrosion resistance.

Введение

В настоящее время развитие транспортной системы требует повышенного внимания к качеству и надёжности дорожного покрытия. Основной задачей в области дорожного строительства остаётся обеспечение долговечности, ремонтпригодности и устойчивости покрытий к климатическим и эксплуатационным нагрузкам. В условиях роста автопарка и увеличения интенсивности движения на ключевых автомагистралях страны этот фактор становится решающим при выборе конструктивного решения дорожной одежды. Для этих целей внедрение технологии цементобетона в Республике Таджикистан является востребованным. Тем не менее, внедрение цементобетонных технологий в Республике Таджикистан сталкивается с рядом объективных сложностей, включая высокую стоимость портландцемента, ограниченность специализированной техники и отсутствие нормативной базы, адаптированной под местные условия. Одним из путей решения этих проблем является использование модифицированных цементов с добавками минерального и химического происхождения, что позволяет существенно снизить расход цемента, улучшить реологические свойства бетонной смеси и повысить эксплуатационные характеристики готового покрытия.

Теоретическая часть

В практике созданием высококачественных дорожных покрытий является проект прочной основы, которая будет стойкой к подземным водам, дождям, снегу, а также резким перепадам температур. Можно предполагать, что составляющие материалы к покрытиям дорог подбираются таким образом, чтобы сделать его устойчивым и качественным [1-10]. Известно, что цементобетон является основным альтернативным материалом асфальтобетону. Один из важнейших показателей свойства бетона, определяющих его долговечность, кроме устойчивости его структуры при действии на них агрессивной среды, является прочность. В условиях Республики Таджикистан природно-климатические условия региона, характеризующиеся резкими перепадами температуры, значительным уровнем солнечной радиации, а также сезонными обильными осадками, существенно влияют на работоспособность традиционных типов дорожного покрытия, так как в настоящее время большинство из них являются асфальтобетонами. На этой основе можно предполагать, что цементобетонные покрытия, обладая высокими физико-механическими характеристиками, являются эффективной альтернативой асфальтобетонным покрытиям, широко распространённым в республике. Для этих целей применение цементобетона в дорожном строительстве при устройстве дорожных покрытий позволяет значительно повысить срок службы дорог и снизить частоту ремонтов и обеспечить устойчивость к воздействию агрессивных факторов окружающей среды [10-11].

Уместно отметить, что цементобетон имеет повышенную прочность на сжатие, минимальные усадочные деформации, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, а также отсутствие пластических деформаций при высоких температурах. В производственных условиях чтобы достичь выносливость цементных бетонов производят различные работы: -повышают однородность цементного камня; -применяют цементы с повышенным содержанием алюмоферитов; используют различные химические добавки: -увеличивают расход цемента. Однако на практике не все эти вышеупомянутые мероприятия дадут бетону всестороннюю выносливость. Например, добавление ускорителей твердения, повышенное содержание C_3A , пропаривание в определённой мере уменьшают устойчивость бетона при эксплуатации. Отсюда можно предположить, что в практике технологии цементных вяжущих и бетонов на их основе существенно возрос интерес к поверхностно-активным и тонкодисперсным минеральным добавкам, которые, в основном, используются в качестве пластифицирующих, гидрофобизирующих или активных и инертных наполнителей цемента [6-8].

Анализ ряда работ авторов [2, 3] показывает, что для дорожного бетона, эксплуатируемого в дорожных покрытиях, подвергающегося воздействию агрессивной окружающей среды, существует проблема его преждевременного разрушения вследствие недостаточной эксплуатационной стойкости. Известно, что на сегодняшний день дорожный портландцемент достаточно популярен для создания бетона для автомобильных дорог, ведь он обладает именно теми свойствами, которые необходимы для создания качественного покрытия. Такой вид портландцемента характеризуется: -максимальной прочностью; -стойкостью к морозу; -ударной вязкостью; -водонепроницаемостью. Практика показывает, что обычный портландцемент не может иметь подобные качества без специальных добавок. Для дорожного цемента характерно присутствие в составе пластифицирующих и гидрофобных добавок. Также в составе можно обнаружить доменный шлак (около 15% от общей массы) и трехкальциевый алюминат (не более 8%) [9-11]. Они должны иметь определенную стандартную скорость схватывания и набор прочности, высокую износоустойчивость, высокую морозостойкость и ударную вязкость. Начало схватывания таких цементов должно наступать не ранее чем через 24 от начала затвердения [9-11]. Можно отметить, что способность дорожного цемента к медленному схватыванию помогает при строительстве сооружения, находившегося на больших расстояниях. Обычно в среднем такой специальный портландцемент начинает застывать только через 120 минут, а вот обычный схватывается уже через 45 минут.

По мнению авторов [8, 9], важным фактором, влияющим на структуру бетона, является количество воды, принимаемое для приготовления бетонной смеси. По их мнению, для гидратации цемента необходимо 30-40% воды от общего принимающего количества воды в единице объема бетонной смеси. Однако в практике для обеспечения подвижности бетонной смеси количество воды берут с некоторым избытком. По мнению авторов [9-10], избыточная вода остается в структуре бетона, свободна при эксплуатации. Впоследствии вступает в химическое соединение с менее активными частицами цемента, а в результате заполняет поры и капилляры в цементном камне и полостях между зернами крупного заполнителя по истечении времени, испаряясь, освобождает их. В практике технологии цементных вяжущих и бетонов на их основе существенно возрос интерес к поверхностно-активным и тонкодисперсным минеральным добавкам, которые, в основном, используются в качестве пластифицирующих, гидрофобизирующих или активных и инертных наполнителей цемента. В производственных условиях применение пластифицирующих добавок придает бетонным и растворным смесям нерасслаиваемость, сохранение удобоукладываемости во времени [4-6]. Для придания бетону подвижности необходимо в его составе применять химические добавки: модифицированный лигносульфонат (МЛСТ), щелочной экстракт хлопчатника (ЩЭХ) и другие пластифицирующие добавки. Химические добавки имеют ресурсные базы производства в Республике Таджикистан, характеристика и их способы получения приведены в ряде работ отечественных авторов [12-16].

Целью эксперимента являлось изучение прочности цементного теста, его реологических характеристик и структурных изменений при введении добавок. Образцы цементного теста изготавливались в соответствии с ГОСТ 30744-2001 и выдерживались в стандартных климатических условиях. Для проведения комплексного исследования были выбраны материалы, которые обеспечивают получение мелкозернистого бетона с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Подбор материалов производился с учётом климатических, экономических и ресурсных условий Республики Таджикистан, а также в соответствии с современными требованиями к прочности, долговечности и устойчивости бетонных конструкций.

Материалы и методы исследования

Для исследования применялись материалы местного значения.

В качестве основного вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ 400-Д20, тонкость помола 96%, истинная плотность $3,06 \text{ г/см}^3$; величиной удельной поверхности $3376 \text{ см}^2/\text{г}$, активность 40,6МПа, соответствующая ГОСТ 31108-2016. Цемент обладает стабильной прочностью, нормированной тонкостью

помола и высокой активностью. Его применение обусловлено широким распространением и хорошей совместимостью с минеральными и химическими добавками. Особое внимание уделялось контролю удельной поверхности и сроков схватывания, так как они напрямую влияют на структуру и формирование прочностных характеристик.

Минеральные добавки

а) **Порошок волластонита** — природный минерал, состоящий в основном из метасиликата кальция (CaSiO_3).

б). Обладает игольчатой структурой, повышающей ориентацию частиц и способствующей образованию направленной прочной структуры цементного камня. Применяется в качестве микрофиллера, повышает раннюю прочность, уменьшает усадку и улучшает адгезионные свойства [8, 15, 16].

в) **Зола-унос** — продукт сгорания угля на ТЭЦ. Имеет сферическую форму частиц и высокую пуццолановую активность. Применяется для частичной замены цемента с целью снижения стоимости и повышения долговечности. Уменьшает проницаемость и повышает устойчивость к сульфатной агрессии [1-5].

Химические добавки

а) **Модифицированный лигносульфонат технический** — пластификатор на основе продуктов сульфитной варки древесины. Обеспечивает увеличение подвижности бетонной смеси, снижение водопотребности и повышение плотности структуры. Уменьшает водоцементное отношение, способствуя росту прочности и трещиностойкости [8, 15, 16].

б) **Щелочной экстракт хлопчатника** — органическая добавка, получаемая из переработки отходов хлопкового производства. В составе имеет полисахариды, которые выполняют роль диспергатора. Повышает равномерность распределения цементных частиц, улучшает удобоукладываемость и снижает усадочные деформации [8, 15, 16].

Заполнитель

В качестве заполнителя использован природный карьерный песок средней крупности, соответствующий требованиям ГОСТ 8736-2014. Песок предварительно просеивался и промывался. Особое внимание уделялось модулю крупности, наличию глинистых и органических примесей.

Вода

Вода применялась питьевого качества в соответствии с ГОСТ 23732-2011. Она не содержала агрессивных примесей, способных негативно повлиять на процессы гидратации и взаимодействие с химическими добавками.

Выбор каждого компонента был обоснован с точки зрения его вклада в достижение заданных свойств бетона: прочности, морозостойкости, плотности, трещиностойкости и водонепроницаемости. Особое внимание уделялось возможности использования местных и доступных материалов, что важно для экономики строительства в Таджикистане.

Для всесторонней оценки эффективности модифицирующих добавок в составе цемента применялся комплекс лабораторных и инструментальных методов, соответствующих отечественным и международным стандартам. Методы исследования охватывали физико-механические, структурные и технологические характеристики вяжущего вещества. Количество добавки выбрали с учётом нормативных показателей (ГОСТ 26633-2015, ГОСТ 10060-2012).

Исследование проводилось в соответствии с ГОСТ 310.3-76 — "Цементы. Метод определения сроков схватывания", ГОСТ 310.4-81 — "Цементы. Метод определения равномерности изменения объёма". Использовалась стандартная методика с применением прибора Вика. Определение нормальной густоты позволяло оценить водопотребность цементного теста, а сроки схватывания — реакционную активность и совместимость добавок с клинкерной составляющей. Прочность при сжатии и изгибе определялась по ГОСТ 30744-2001 "Цементы. Методы испытаний на прочность" на образцах $40 \times 40 \times 160$ мм. Испытания проводились на возрастах 2, 7 и 28 суток для оценки ранней и марочной прочности. Образцы хранились в стандартных условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность $>95\%$). В практических условиях оптимизация соотношения между вяжущим и добавками в зависимости от их природы производится экспериментальным путем [1-6]. Для этого в пневматическом смесителе перемешивали цемент с добавкой из волластонита и золы угля. Для исследования влияния добавки на физико-механические и деформационные свойства подобран состав бетона, и были изготовлены смеси бетона. Смеси готовились по обычной лабораторной технологии и были изготовлены образцы различных размеров. После образцы хранились при нормально-влажных условиях.

Для оценки влияния добавок на плотность и пористость цементного камня готовились образцы цементного камня с одинаковым водоцементным отношением. Добавки вводились в соответствующих количествах от массы цемента. После твердения в нормальных условиях ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность 95%) в течение 28 суток определялись средняя плотность и общая пористость образцов.

Метод РФА применялся для идентификации гидратных новообразований и фазового состава цементного камня с добавками. Анализ позволял оценить вовлечённость добавок в химические реакции и характер продуктов гидратации (C-S-H, портландит, этtringит и др.). Во всех исследованиях контрольным считался состав без добавок.

В таблице 1 приведены результаты экспериментального исследования по определению нормальной густоты теста дорожного цемента.

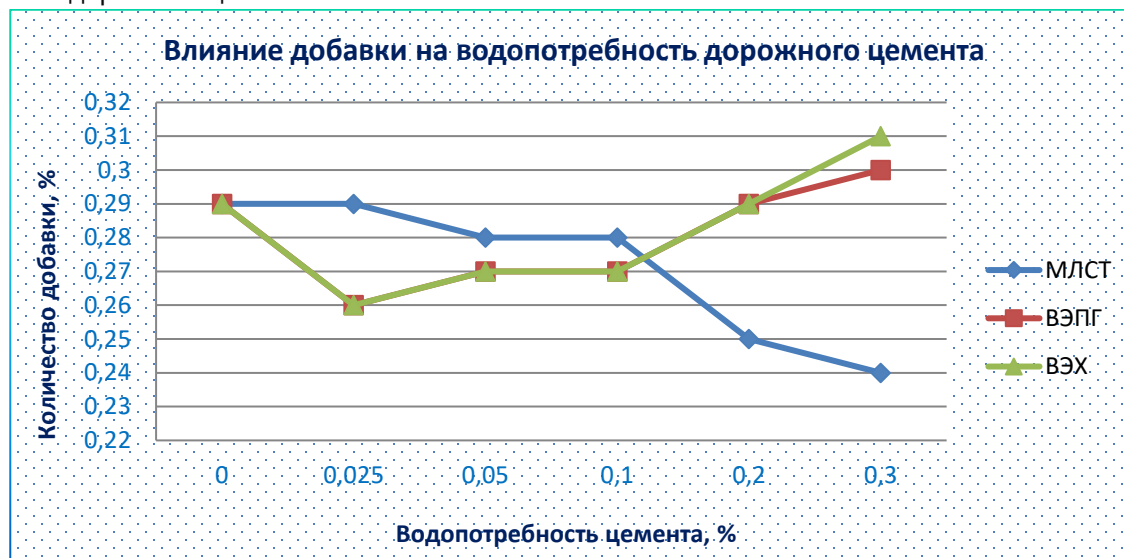


Рисунок 1 - Изменения водопотребности цемента при введении в его состав добавки

Из данных эксперимента (см. рисунок 1) добавка из различных веществ в зависимости от их количества, от веса цемента по-разному изменяют водоцементное отношение по сравнению с тестом без добавок. Добавка ВЭХ в малом количестве от веса цемента уменьшает его водопотребность, однако при увеличении количества добавок из ВЭХ до 0,3% от веса цемента повышает водопотребность цемента. С введением добавок из ВЭПГ в количестве 0,01 до 0,1 % от веса цемента водопотребность цемента понижается, при увеличении количества добавок ВЭПГ от 0,1 до 0,3 повышается вода и цементные отношения. Введение добавок из МЛСТ в количестве до 0,3% коэффициент нормальной густоты цементного теста резко уменьшается. МЛСТ имеет полифункциональные свойства и [10] характеризуется стабильностью.

Результаты определения прочностных характеристик цементного теста приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Прочность цементного теста на сжатие (МПа)

| №п/п | Состав | 2 суток | 7 суток | 28 суток |
|------|------------------------------------|------------|------------|-------------|
| 1 | Контрольный образец, (без добавок) | | 28,5 | 40,06 |
| 2 | Волластонит 10% | | 30,8 | 44,5 |
| 3 | Зола-унос 10% | | 29,2 | 43,1 |
| 4 | Волластонит 10% + МЛСТ 0,3% | | 33,4 | 46,8 |
| 5 | Зола-унос 10% + ЩЭ 0,075% | | 32,1 | 45,7 |
| 6 | Волластонит 10% + ЩЭ 0,075% | | 33,5 | 46,1 |
| | Зола-унос 10% + МЛСТ | | 32,2 | 45,2 |

Анализ данных таблицы 1 показывает, что добавки минерального происхождения повышают прочность цемента на 10-12% в сравнении с контрольным образцом без добавки. Однако применение минеральных добавок с химическими в комплексе позволяет одновременно улучшить реологические свойства цемента, микроструктуру бетона, устойчивость к влаге и морозу, трещиностойкость, усталостную выносливость и термостабильность. Испытания цементобетонных образцов показали, что использование минеральных и химических добавок значительно повышает их прочность, именно образцы с волластонитом и МЛСТ имеют показатели прочности 47Мпа, когда образец с добавкой, имеющий только волластонит, показатель по прочности 44,5Мпа. Зола-унос в количестве 10% увеличила прочность образцов на 12% в сравнении с контрольным образцом. В данной части экспериментальных исследований рассмотрено влияние местных минерально-органических добавок на плотность и пористость цементного камня. Применение этих добавок направлено на уплотнение структуры, повышение степени гидратации цемента и снижение капиллярной пористости, что способствует росту долговечности и прочности цементных композитов.

Таблица 2 – Влияние добавок на плотность и пористость цементного камня

| Наименование добавки | количество % от массы цемента | Плотность образцов, г/см ³ | Пористость, образцов, % | Изменение относительно контроля, % |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Без добавки (контроль) | — | 2,19 | 16,4 | — |
| Волластонит (ВП) | 5 | 2,29 | 13,1 | +5,1 / -16,2 |
| Зола угля (ЗУ) | 10 | 2,24 | 13,8 | +3,4 / -14,01 |
| Модифицированный лигносульфонат | 0,3 | 2,26 | 14,0 | +4,2 / -14,9 |
| Щелочной экстракт хлопчатника | 0,8 | 2,22 | 14,8 | +2,1 / -10,8 |
| ЗУ+ МЛСТ | 10+0,3 | 2,28 | 13,9 | +3,1 / -12,6 |
| ВП + МЛСТ | 10+0,3 | 2,34 | 13,6 | +5,8 / -16,9 |

Из приведённых данных таблицы 2 следует, что введение исследуемых добавок способствует увеличению плотности цементного камня и уменьшению его пористости. Наиболее выраженный эффект достигается при использовании волластонита, который за счёт игольчатой структуры и пуццолановой активности обеспечивает микрофибриллярное армирование цементной матрицы. Зола угля проявляет эффект микрозаполнения и участвует в образовании вторичных гидросиликатных минералов. Модифицированный лигносульфонат улучшает диспергирование частиц цемента и снижает водопотребность смеси, что приводит к уплотнению структуры. Щелочной экстракт хлопчатника активизирует процессы гидратации и взаимодействует с минеральной частью системы, создавая органоминеральные связи, что также снижает общую пористость. В итоге, можно отметить, что все исследованные добавки положительно влияют на плотность цементного камня и снижают его пористость. Где наибольший эффект отмечается при введении волластонита и МЛСТ (повышение плотности на 5,8 % и снижение пористости на 16,9 %). Можно отметить, что комплексное использование добавок органо- и минерального типа позволяет достигнуть более равномерной структуры цементного камня и повысить долговечность цементных композитов.

Для анализа влияния добавок на микроструктуру цементного камня был проведен рентгенофазовый анализ (РФА). Образцы цементного теста исследовались в возрасте 28 суток. На рис. 2. соответственно выборочно приведена рентгенограмма фазового структурного анализа проб цементного камня и камня с добавками в возрасте 28 сут.

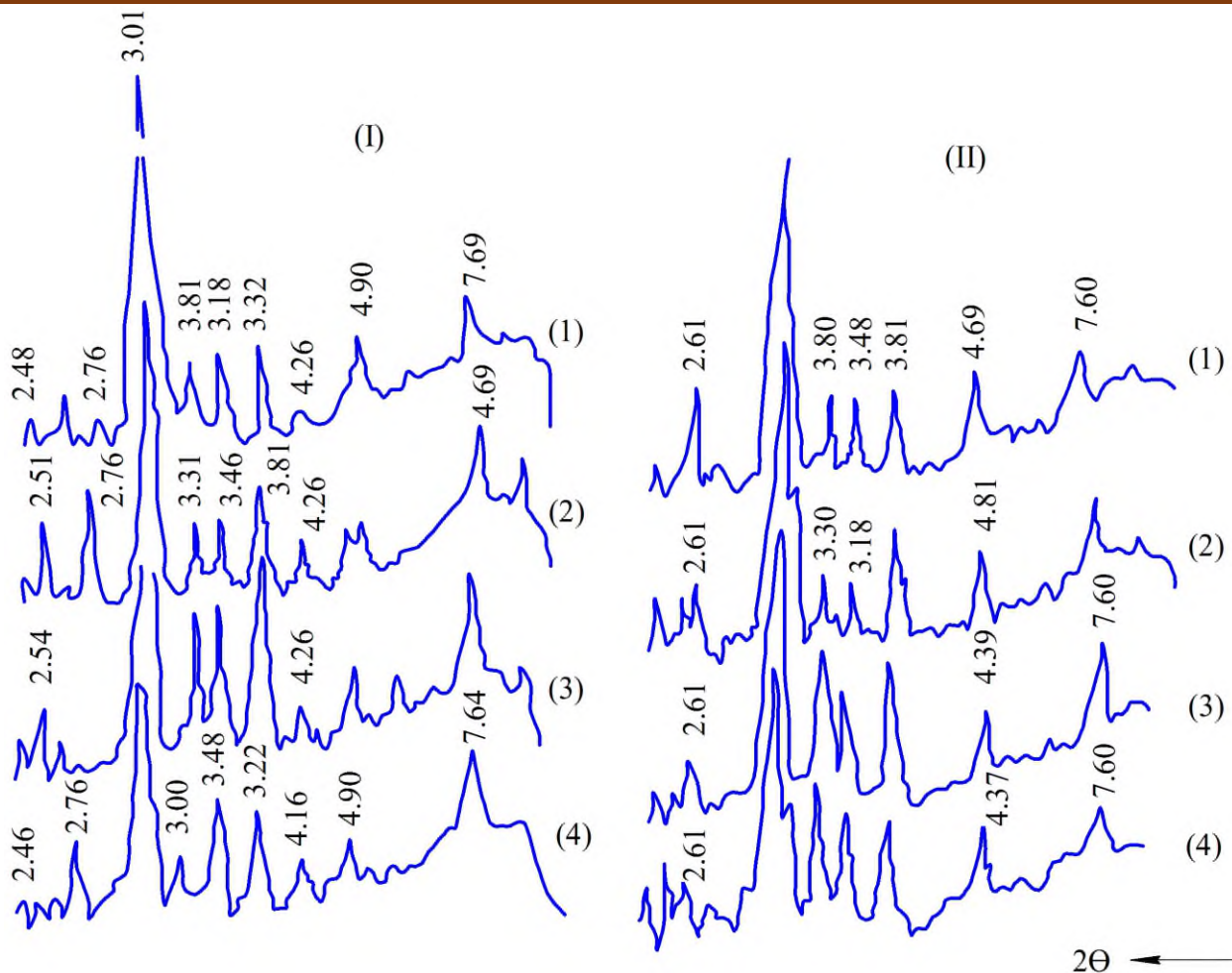


Рисунок 2 - Рентгенограмма цементного камня и камня с добавками:

1) Цемент без добавок; 2) Ц+ВП10% + МЛСТ 0,3%; 3) Ц+ 3У10%+0,05%ВЭХ; 4) Ц+ ВП10% + 3У10%+0,3% МЛСТ.

Оценка состояния пиков рентгеновского сектора проведенных выбранных образцов показывает, что добавки ВЭХ способствуют ускорению структурообразования цементных минералов типа тоберморита и т.п., обеспечивающих высокую прочность цементного камня. Добавка МЛСТ, не изменяя морфологии состава цементного камня, способствует разложению разнообразных продуктов гидратации цемента и способствует образованию новых кристаллогидратов в составе цементного камня.

Для исследования комплексного воздействия минеральных и химических добавок на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона были применены следующие добавки:

- порошок минерала волластонита (ВП) (до 10%);
- зола-унос (ЗУ) (до 10%);
- модифицированный лигносульфонат (МЛСТ) (до 0,3%) ;
- щелочной экстракт хлопчатника (ЩЭХ) (до 0,075%).

Для работы был выбран состав мелкозернистого бетона с применением песка из отсева дробления щебня с модуля крупности 2,5мм. При этом -цемент 400 кг, вода 180 кг В/Ц= 0,45, песок 1780 кг - были отлиты образцы пяти различных составов:

1. Контрольный образец (без добавок).
2. С добавлением порошка волластонита (ВП).
3. С добавлением золы-уноса (ЗУ).
4. С комплексом: ВП + МЛСТ.
5. С комплексом: ЗУ+ЩЭХ.
6. С комплексом 7%ВП+8%ЗУ+ЩЭХ.
7. С комплексом 7%ВП+8%ЗУ+МЛСТ

Результаты исследования приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Физико-механические свойства бетона с добавками

| № состава | Прочность, МПа | | | | ОК, см | Плотность, кг/м ³ | В _п | W | F |
|-----------|----------------|------|------|-------|--------|------------------------------|----------------|----|-----|
| | сжатие | | | изгиб | | | | | |
| | 2 | 7 | 28 | 28 | | | | | |
| 1 | 14,3 | 21,2 | 40,4 | 4,63 | 2 | 2372 | 5,25 | B6 | 200 |
| 2 | 14,4 | 22,3 | 44,3 | 5,81 | 2 | 2400 | 4,76 | B7 | 300 |
| 3 | 13,5 | 21,3 | 43,1 | 5,12 | 2 | 2395 | 4,88 | B8 | 300 |
| 4 | 14,6 | 22,5 | 46,6 | 6,80 | 3 | 2425 | 4,21 | B8 | 400 |
| 5 | 14,4 | 23,6 | 44,5 | 6,16 | 3 | 2421 | 4,28 | B8 | 400 |
| 6 | 15,5 | 23,1 | 46,4 | 6,28 | 4 | 2435 | 4,18 | B8 | 450 |
| 7 | 14,9 | 22,9 | 45,8 | 6,91 | 4 | 2440 | 4,16 | B8 | 450 |

Полученные результаты, приведенные в таблице 3, показывают, что минеральные и химические добавки положительно влияют на прочность как при сжатии, так и при растяжении. Наилучшие результаты достигнуты при комплексном введении добавок, особенно при сочетании волластонита и лигносульфоната, что подтверждает их синергетический эффект. Незначительное увеличение объёмной массы объясняется уплотнением структуры бетона благодаря улучшенному структурообразованию.

Применение комплексных добавок в составе мелкозернистого бетона позволяет повысить его физико-механические свойства, обеспечивая более высокую прочность и плотность. Это делает такие составы перспективными для использования в дорожном строительстве в условиях повышенной эксплуатационной нагрузки.

Одним из важнейших показателей качества бетонной смеси является модуль упругости — способность материала восстанавливать свою форму после снятия нагрузки. Модуль упругости цементобетона — это основной параметр, характеризующий его жёсткость и способность сопротивляться деформациям под действием нагрузок. Измерения проводились в соответствии с ГОСТ 24452-80 на цилиндрических образцах размером 150×300 мм. Трещиностойкость бетона — это его способность сопротивляться зарождению и развитию трещин под действием нагрузок и деформаций (механических, температурных, усадочных). Определение трещиностойкости бетона - важный параметр для оценки его долговечности, особенно при проектировании транспортных, гидротехнических сооружений и железобетонных конструкций.

Трещиностойкость определяли по методу одноосного растяжения (по ГОСТ 29167-91), в лабораторных условиях приготавливали образцы призмы 100×100×400 мм с добавками и без них. Для оценки использовался коэффициент трещиностойкости (K_{LC}), измеряемый в МПа·м^{0,5}. Испытания проводились на образцах с надрезом при трёхточечном изгибе. После определяли напряжение, при котором возникала первая трещина. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Влияние добавки на модуль упругости и трещиностойкости бетона

| № | Состав | Модуль упругости, ГПа | Трещиностойкость K_{LC} (МПа·м ^{0,5}) |
|---|-----------------|-----------------------|---|
| 1 | Контрольный | 28.5 | 0.47 |
| 2 | Волластонит 10% | 31.0 | 0.51 |
| 3 | Зола-унос 10% | 30.2 | 0.53 |
| 4 | ВП+МЛСТ | 33.4 | 0.58 |
| 5 | ЗУ+ЩЭХ | 32.6 | 0.6 |
| 6 | ЗУ+ ВП +ЩЭХ | 33.4 | 0.65 |
| 7 | ЗУ+ ВП+МЛСТ | 33.6 | 0.68 |

Анализ результатов показывает, что комплексные добавки обеспечивают значительный прирост модуля упругости по сравнению с контрольным составом. Особенно эффективным оказалось сочетание

волластонита с модифицированным лигносульфонатом. Это указывает на улучшенную микроструктуру и более плотную цементную матрицу. Кроме того, из данных таблицы 4 видно, что добавки способствуют увеличению трещиностойкости бетона на 10–18% по сравнению с контрольным образцом. Особенно эффективным оказалось комплексное применение минеральных и органических добавок. Это связано с улучшением микроструктуры, более равномерным распределением напряжений и повышением сопротивляемости к зарождению и росту микротрещин.

Выводы

Проведённое исследование позволило установить значительное влияние как минеральных, так и органических добавок на физико-механические свойства мелкозернистого бетона. Полученные результаты можно резюмировать следующим образом:

1. Применение порошка волластонита и золы-уноса в количестве до 10% способствует повышению прочности цемента и улучшению его физико-механических характеристик.
 2. Добавки органического происхождения, такие как модифицированный лигносульфонат и щелочной экстракт хлопчатника, положительно влияют на структуру цементного камня, улучшая его однородность и плотность.
 3. Комплексное применение минеральных и органических добавок демонстрирует синергетический эффект, обеспечивая максимальные показатели прочности, модуля упругости и трещиностойкости.
 4. Наибольшие значения модуля упругости и коэффициента трещиностойкости были зафиксированы у составов с комплексными добавками, что говорит о высокой перспективности их применения в дорожном строительстве.
 5. Влияние добавок на процессы структурообразования подтверждает формирование более прочной, устойчивой и микроплотной структуры цементного камня, что положительно отражается на эксплуатационных свойствах бетона.
- Таким образом, внедрение комплексных модифицирующих добавок в состав цементных композиций позволяет повысить качество, прочность и надёжность мелкозернистого бетона, что особенно важно в условиях повышенных нагрузок и агрессивного климата Республики Таджикистан.

Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература

1. Толмачев С.Н. Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожного бетона и фибробетонов. / Толмачев С.Н., Беличенко Ё.А. // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С.68-72.
2. Назиров Я.Г. Прочность и деформативность бетонов с добавкой щелочного экстракта стеблей хлопчатника /Шарифов А. Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. //Известия академии наук Республики Таджикистан. №4(153), -2013.-С.106-112.
3. Назиров Я.Г. Повышение прочности и коррозионностойкости цементосодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника /Шарифов А. Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К.//Известия Академии наук Республики Таджикистан. 2016. №5-6.- С.248-252.
4. Зайцев П.А. Бетонные смеси и бетоны с химическими добавками на основе модифицированных лигносульфонатов /П. А. Зайцев и др. //Цемент и его применение. - 2004. - № 1. - С. 70-72.
5. Зайцев П.А. О регулировании свойств бетонных смесей и бетонов химическими добавками на основе лигносульфонатов / П.А. Зайцев, Е.С. Шитиков; А.Феднер; С.Н. Ефимов; А.Б. Самохвалов //Строительные конструкции зданий и сооружений дорожного сервиса: сб. науч. тр. - М.: МАДИ (ГТУ). - 2004. - С. 68-77.
6. Тараканов О.В. Химические добавки в растворы и бетоны. Пенза: ПГУАС, 2016. – 156 с
7. Шитиков Е.С. Особенности применения комплексов химических добавок для производства бетонных смесей различного назначения / Е.С. Шитиков, Л.И. Алебастрова, Е.В. Гордеева //Строительные материалы. - 2005. - № 6. - С. 38-40.
8. Сайрахмонов Р.Х. Цементно-волластонитовые вяжущие с химическими добавками и материалы на их основе. Душанбе. ТТУ, 2020, 148 с.
9. Носов В.П., Фотиади А.А. Причины образования уступов на цементобетонных покрытиях автомобильных дорог./ Носов В.П., Фотиади А.А. // Наука и техника в дорожной отрасли, 2008 №. 3, с.20–22.
10. Зайцев П.А. Некоторые вопросы качества бетонных смесей и бетонов в транспортном строительстве /Зайцев П.А. и др. //Прогрессивные конструктивно-технологические решения для тоннеле- и метростроения в России: сб. науч. тр. - М: ОАО ЦНИИС. - 2004. - Вып. 221. - С. 213.
11. Феднев Т.А. Требования к цементам для бетонов различного назначения / Л.А. Феднер, С.Н. Ефимов, П.А. Зайцев //Цемент и его применение. - 2005. - № 3. - С. 7-8.
12. Шарифов А. Опыт применения модифицированного лессом СДБ в бетоне / Шарифов А., Дусмурадов Т., Голубев М.Н. и др. //Бетон и железобетон. -1988- № 3,- С. 15-16.

13. Каримов Э.Х. Влияние водного экстракта гетерокомпонентов растительного сырья на физико-химические процессы в тампонажных и пластовых дисперсных системах. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Душанбе, 2019. 43. с.
14. Шарифов А.Ш., Дустмурадов Т., Голубев М.Н. Опыт применения модифицированного лессом СДБ в бетоне.//Бетон и жезобетон.-ю1988.-№3.-С.15-16.
15. Сайрахмонов Р.Х. Тонкодисперсные минеральные материалы в комплексе с химическими добавками для дорожного бетона / Сайрахмонов Р.Х., Рахматзода А..С. и др. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2 (65), -Душанбе, - 2024. С.184. ISSN: 2520-222.
16. Сайрахмонов Р.Х. Теоретические предпосылки и экспериментальное исследование создания бетонов высокого качества для покрытия аэродромов / Сайрахмонов Р.Х., Хасан Мухаммадёр, Гафурзода Д.С. // - Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №3 (71), -Душанбе, - 2025. С.234. ISSN: 2520-2227.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Саидзода Чамшед Ҳамро | Саидзода Джамшед Хамро | Saidzoda Jamshed Hamro |
| д.и.т., профессор | д.т.н., 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: Jamshed66@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Сайрахмонов Раҳимҷон Ҳусейновӣ | Сайрахмонов Рахимджон Хусейнович | Sayrakhmonov Rahimjon Huseynovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | candidate of technical sciences associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: srivakn@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Назирова Яҳё Гиёҳовӣ | Назирова Яхё Гиёхович | Nazirov Yahyo Giyohovich |
| н.и.т., и.в. дотсент | к.т.н., и.о. доцента | candidate of technical sciences, acting associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: yakhyo80@gmail.com | | |
| TJ | RU | EN |
| Раҳматзода Алишер | Рахматзода Алишер | Rakhmatzoda Alisher |
| унвончу | соискатель | graduate student |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: srivakn@mail.ru | | |

ГРАНИЧНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Иномзода Абдуназар (Дадобоев Абдуназар Иномович)

Политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими в г. Худжанде

В статье рассматривается процесс получения граничных интегральных уравнений, которые применяются для решения двумерных задач теории упругости. Особенность этих уравнений заключается в том, что неизвестными в них являются перемещения или напряжения на контуре исследуемого объекта. После определения этих параметров на следующем этапе вычисляются перемещения и напряжения внутри области. Следовательно, применение метода граничных уравнений на единицу уменьшает размерность задачи.

Ключевые слова: неограниченное пространство, дифференциальные уравнения, граничные уравнения, фундаментальное решение, дельта функция, поверхностные напряжения.

МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРАЛИИ КАНОРӢ БАРОИ ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲОИ ДУЧЕНАКАИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ

Абдуназар Иномзода (Дадобоев Абдуназар Иномович)

Ин мақола раванди ба даст овардани муодилаҳои интегралӣ марзиро, ки барои ҳалли масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ истифода мешаванд, баррасӣ мекунад. Хусусияти фарқкунандаи ин муодилаҳо дар он мебошад, ки номаълумҳо ҷойивазкунӣ ё шиддатҳо дар канори объекти тадқиқшаванда мебошанд. Пас аз муайян кардани ин параметрҳо, қадами навбатӣ ҳисоб кардани ҷойивазкунӣ ва шиддатҳо дар дохили домен мебошад. Дар натиҷа, истифодаи усули муодилаи марзӣ андозаи масъаларо як маротиба кам мекунад.

Калимаҳои калидӣ: фазои бемаҳдуд, муодилаҳои дифференсиалӣ, муодилаҳои марзӣ, ҳалли асосӣ, функсияи дельта, шиддати сатҳӣ.

BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS FOR SOLVING TWO-DIMENSIONAL PROBLEMS OF ELASTICITY THEORY

Abdunazar Inomzoda (Dadoboev Abdunazar Inomovich)

This article examines the process of deriving boundary integral equations used to solve two-dimensional problems of elasticity theory. A distinctive feature of these equations is that the unknowns are the displacements or stresses on the contour of the object under study. After determining these parameters, the next step is to calculate the displacements and stresses within the domain. Consequently, using the boundary equation method reduces the problem dimension by one.

Keywords: unbounded space, differential equations, boundary equations, fundamental solution, delta function, surface stress.

Введение

Одним из основных методов вычисления граничных уравнений в теории собственных дифференциальных состояний является сведение решения уравнений в виде линейных интегралов к потенциалам, основанное на фундаментальном решении. Этот метод потенциалов, берущий начало в трудах выдающихся немецких математиков прошлого И. Фредгольма и К. Неймана, не утратил своей актуальности и в наши дни. Этот прикладной метод, наряду с другими вычислительными методами, такими как метод разделения переменных и функции источника (метод функций Грина), применяется для данного типа граничных уравнений. Дано пояснение для получения граничных интегральных уравнений, используемых для решения двумерных уравнений теории упругости. Отличительной особенностью этих уравнений является то, что искомыми неизвестными являются перемещения или напряжения на границе жёсткой диафрагмы. Основатели теории потенциала тесно связаны со многими учёными прошлого и настоящего веков, такими как Н. П. Векуа, К. Ф. Гаусс, Д. Гильберт, Д. Грин, Н. М. Гюнтер, П. Г. Л. Дирихле, В. Д. Купрадзе. Применение метода граничных условий для решения задач однослойного и многослойного потенциального типа приводит к интегрированию уравнений. Основную часть вычисления составляет возникновение особого интеграла. В сложившейся ситуации важен подход к работе и выбор её схемы. С развитием строительной механики и вычислительной техники различные приложения численных расчётов стали более точными и чёткими.

Поскольку этот метод граничных уравнений основан на фундаментальном решении дифференциальных уравнений.

Метод граничных уравнений

Граничные интегральные уравнения двумерных задач теории упругости можно получить исходя из тождества Соммильяна [1], полученные на основе теоремы о взаимности работ. Погружаем конечную область $\Omega + \Gamma$ с заданными на поверхности Γ компонентами напряжений и перемещений в неограниченное пространство, которое последовательно загружается единичными силами и описывается дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} G_1 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x \partial y} &= -\delta(k, p) e_x, \\ G_1 \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y^*}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x^*}{\partial x \partial y} &= -\delta(k, p) e_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где $u_x^* = u_{xx}^* + u_{xy}^*$, $u_y^* = u_{yx}^* + u_{yy}^*$, $G_1 = 2G(1-\nu)/(1-2\nu)$, $G_2 = G/(1-2\nu)$, G – модуль упругости при сдвиге согласно теореме Бетти, получаем

$$\begin{aligned} \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega &= \\ = \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma + \int_{\Omega} \delta(p, k) u_x d\Omega, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь $u_{xx}^*, \dots, p_{yx}^*$ – фундаментальные перемещения и напряжения. С учётом свойств дельта-функция Дирака

$$\delta(p, k) = 0 \text{ при } p \neq k, \quad \delta(p, k) = \infty \text{ при } p = k,$$

$$\int_{\Omega} \delta(p, k) u_x(k) d\Omega(k) = u_x(p),$$

второй интеграл в правой части будет равняться $u_x(p)$, где точка $p(\xi, \eta) \in \Omega$, тогда уравнение (2) можно представить в виде

$$\begin{aligned} u_x(p) &= \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k + \\ &+ \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega, \end{aligned} \quad (3)$$

где p_x, p_y – поверхностные напряжения, u_{xx}^*, p_{xx}^* – перемещения и напряжения, возникающие в точке $k(x, y)$ в направлении оси x от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по этой же оси, u_{yx}^*, p_{yx}^* – перемещения и напряжения, возникающие в точке $k(x, y)$ в направлении оси y от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по оси x . Индекс k в (3) подчеркивает, что переменным интегрирования по контуру являются координаты x, y . Формула (3) определяет перемещения по направлению оси x в точке $p(\xi, \eta)$ внутри области Ω при заданных значениях p_x, p_y, u_x и u_y на контуре, а также объемных сил γ_x и γ_y в области Ω .

Проведя аналогичную процедуру от действия единичной сосредоточенной силы, действующей по оси y , получаем

$$\begin{aligned} u_y(p) &= \int_{\Gamma} (p_x u_{xy}^* + p_y u_{yy}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k + \\ &+ \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xy}^* + \gamma_y u_{yy}^*) d\Omega. \end{aligned} \quad (4)$$

Граничные интегральные уравнения можно получить из (3) и (4) при предельном переходе, когда точка $p(\xi, \eta)$ устремится к границе Γ , а при этом точка $k(x, y)$ находится на границе. При перемещении точки $p(\xi, \eta)$ к границе интегралы в правой части (3), как несобственные, можно представить в виде суммы двух интегралов

$$\int_{\Gamma} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k = \int_{\Gamma - \Gamma_\varepsilon} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k + \int_{\Gamma_\varepsilon} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k, \quad (5)$$

где $d\Gamma_k = d\varepsilon = \varepsilon d\varphi$, тогда с учетом $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_\varepsilon} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k = 0$ [5,6], получаем

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma - \Gamma_\varepsilon} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k = \int_{\Gamma} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k, \quad \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_\varepsilon} p_x u_{xx}^* d\Gamma_k = 0. \quad (6)$$

В этом простом случае вторая подынтегральная функция эквивалентна первой степени подынтегрального выражения (4). В другом случае, т.е. второй степени подынтегрального выражения интеграла (4), рассматривая базисное решение как нечастный интеграл при выполнении условия Гёльдера [2], получаем [5, 6].

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma - \Gamma_\varepsilon} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k = \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k, \quad (7)$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma_\varepsilon} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k = -(c_{xx} u_{xp} + c_{yx} u_{yp}) \quad (8)$$

здесь

$$c_{xx} = 1 - \frac{\omega}{2\pi} - \frac{\sin 2\omega}{8\pi(1-\nu)}, \quad c_{yx} = \frac{\sin^2 \omega}{4\pi(1-\nu)}, \quad (9)$$

ω – внутренний угол края в рассматриваемой области точке $p(\xi, \eta)$, в виде примера, для гладкой плоской края $\omega = \pi$, $c_{xx} = 0,5$ и $c_{yx} = 0$. Таким образом, с отчетами по остальным частям получаем результат, равный (4).

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k = -(c_{xy} u_{xp} + c_{yy} u_{yp}), \quad (10)$$

где

$$c_{yy} = 1 - \frac{\omega}{2\pi} + \frac{\sin 2\omega}{8\pi(1-\nu)}, \quad c_{xy} = c_{yx} = \frac{\sin^2 \omega}{4\pi(1-\nu)}. \quad (11)$$

Таким образом, при переходе точки $p(\xi, \eta)$ к границе области второй интеграл в (3) и (4) понимается в смысле главного значения по Коши, а остальные интегралы в обычном смысле. Следовательно, при $p(\xi, \eta) \in \Gamma$ уравнения (3) и (4) с учетом (5)-(11) преобразуются в граничные интегральные уравнения [3, 4]

$$u_x(1 - c_{xx}) - u_y c_{yx} = \int_{\Gamma} (p_x u_{xx}^* + p_y u_{yx}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xx}^* u_x + p_{yx}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xx}^* + \gamma_y u_{yx}^*) d\Omega, \quad (12)$$

$$-u_x c_{xy} + u_y(1 - c_{yy}) = \int_{\Gamma} (p_x u_{xy}^* + p_y u_{yy}^*) d\Gamma_k - \int_{\Gamma} (p_{xy}^* u_x + p_{yy}^* u_y) d\Gamma_k + \int_{\Omega} (\gamma_x u_{xy}^* + \gamma_y u_{yy}^*) d\Omega. \quad (13)$$

Граничные интегральные уравнения (12) и (13) можно представить в матричной форме

$$\mathbf{C} \mathbf{U}_p = \int_{\Gamma} \mathbf{U}^* \mathbf{P}_k d\Gamma - \int_{\Gamma} \mathbf{P}^* \mathbf{U}_k d\Gamma + \int_{\Omega} \bar{\mathbf{U}}^* \mathbf{F} d\Omega, \quad (14)$$

где векторы перемещений, поверхностных напряжений и объемных сил представляются в виде

$$\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix}. \quad (15)$$

Симметричные матрицы коэффициентов, фундаментальных перемещений и напряжений записываются так:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1-c_{xx} & -c_{yx} \\ -c_{xy} & 1-c_{yy} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{U}^* = \begin{bmatrix} u_{xx}^* & u_{yx}^* \\ u_{xy}^* & u_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}^* = \begin{bmatrix} p_{xx}^* & p_{yx}^* \\ p_{xy}^* & p_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$\bar{\mathbf{U}}^*$ – матрица фундаментальных решений, компоненты которых соответствуют точкам внутри области Ω , в отличие от матрицы \mathbf{U}^* , где компоненты перемещений принадлежат границе Γ .

Из решения (14) вычисляют векторы напряжений и перемещений, соответствующие контуру исследуемого объекта, а затем вычисляются перемещения и внутренние усилия в произвольных сечениях внутри области [5-8].

Вывод

Полученное интегральное уравнение позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние для плоских уравнений теории упругости для видимой области жесткой диафрагмы. Система граничных уравнений сводится к алгебраическому уравнению, в котором напряжение и перемещение определяются системой округлений граничных параметров (сплайн-аппроксимации) или преобразований. На следующем этапе определяются перемещения и напряжения внутри области.

Рецензент: Қаландарбеков И.Қ. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ПИГТУ им. акад. М.С. Осими.

Литература

1. Новацкий В. Теория упругости. – М.: «МИР», 1975. – 872 с
2. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 939 с.
3. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Метод граничных элементов. -М.: Мир, 1987. - 524с.
4. Партон В.З., Перлин П.И. Интегральные уравнения теории упругости. –М.: Наука, 1977, 312с.
5. Низомов Д.Н. Методы граничных уравнений и сплайн-аппроксимаций в решении статических и динамических задач строительной механики// Автореферат дисс. д.т.н.- М., МГСУ, 1999. – 40 с.
6. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2000, 282 с.
7. В. В. Стружанов, Н. В. Бурмашева Теория упругости: основные положения. Екатеринбург Издательство Уральского университета 2020 г. М-во науки и высш. Об разования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. — 204 с.
8. Лалин, В. В. Решение плоской задачи теории упругости в напряжениях методом граничных элементов / В. В. Лалин, Д. А. Семенов // Вестник Евразийской науки. — 2025. — Т 17. — № 4.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Иномзода Абдуназар | Иномзода Абдуназар | Inomzoda Abdunazar |
| Омуғори калони кафедраи сохтмон | Старший преподаватель кафедры строительства | Senior Lecturer, Department of Construction |
| Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд | Политехнический институт Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими в г. Худжанде | Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi in Khujand |
| E –mail: dadaboev61@inbox.ru | | |

ПРИНЦИПҲОИ МУОСИРИ ЛОИҲАКАШИИ БИНОҲОИ МУАССИСАҲОИ ТАҲСИЛОТИИ ФАРОГИР

А.Р. Муминов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур принципҳои муосири лоиҳакашии биноҳои муассисаҳои таҳсилоти фарогир, ки ҷиҳати ташаккул додани муҳити боҳузуру ҳаловати универсалӣ, дастрас ва меъморӣ барои қулли хонандагон, аз ҷумла қӯдакони имкониятҳои маҳдуд равона шудаанд, баррасӣ гардидааст. Дар он муносибатҳои калидии лоиҳакашӣ, ба монанди муҳити бемонеа, ҳалли фасеҳии тарҳрезӣ, мутобикгардонии фазоҳои таҳсилотӣ ва инчунин, талабот нисбати системаҳои муҳандисиву робитавӣ мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд. Дар ҷардидааст, ки риояи гардидани меъёрҳои таъмини дастрасӣ бо истифодаи ҳалҳои эргономикиву беҳатар дар раванди лоиҳакашии меъморӣ устувору башардӯстона ниҳоят муҳим мебошад.

Калидвожаҳо: таҳсилоти фарогир, муҳити дастрас, фарогирӣ, муҳити меъморӣ, мутобикгардонӣ, лоиҳакашӣ.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ УЧРЕЖДЕНИЙ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.Р. Муминов

В статье рассмотрены современные принципы проектирования зданий учреждений инклюзивного образования, направленные на создание универсальной, доступной и комфортной архитектурной среды для всех категорий учащихся, включая детей с ограниченными возможностями здоровья. Освещаются ключевые проектные подходы, такие как безбарьерная среда, гибкость планировочных решений, адаптация учебных пространств, а также требования к инженерным системам коммуникациям. Подчеркивается важность соблюдения норм доступности и использования эргономичных, безопасных и устойчивых решений в контексте устойчивого и гуманного архитектурного проектирования.

Ключевые слова: инклюзивное образование, доступная среда, инклюзивность, архитектурная среда, адаптация, проектирование.

MODERN PRINCIPLES OF DESIGN OF BUILDINGS OF INCLUSIVE EDUCATION INSTITUTIONS

A.R. Muminov

The article examines modern principles of building design for inclusive education institutions aimed at creating a universal, accessible and comfortable architectural environment for all categories of participants, including children with disabilities. Key design approaches such as barrier-free environment, flexibility of planning solutions, adaptation of learning spaces, as well as requirements for communication engineering systems are highlighted. The importance of compliance with accessibility standards and the use of ergonomic, safe and sustainable solutions in the context of sustainable and humane architectural design is emphasized.

Keywords: inclusive education, accessible environment, inclusivity, architectural environment, adaptation, design.

Муқаддима

Ҷомеаи пешрафтаи ҷаҳонӣ, аз ҷумла дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дар ин марҳилаи муосири рушди устувори раванди таҳсилотӣ барои таъмини иштироки баробари тамоми шаҳрвандон дар ҳаёти иҷтимоиву таҳсилотӣ ва маърифатии сайю қӯшиши назаррас менамояд. Дар ин ҷода, мавқеи муҳиммеро, хусусан рушди таҳсилоти фарогир доро буда, муносибатҳои махсусу муосири ҳалли муҳити меъмориву фазоии биноҳои муассисаҳои таҳсилотиро талаб менамояд.

Биноҳои муассисаҳои таҳсилоти фарогир бояд аз нуқтаи назари ҳалли дурусти муҳити меъморӣ-сохтмонӣ, барои тамоми хонандагон, новобаста аз хусусиятҳои ҷисмонӣ ва рӯҳиву равонии онҳо дастрасу беҳатар ва мувофиқу мутобик тарҳрезӣ карда шаванд. Лоиҳакашии муассисаҳои мазкур пешбинӣ намудани дизайни универсалӣ, ташаккул додани муҳити бемонеаву дастрас, истифодаи васеи ҳалҳои мусоиду мутобикгардонидашудаи тарҳрезии системаҳои муҳандисӣ ва унсурҳои дохилаи меъмориро талаб менамояд.

Баназаргирии принципҳои мазкур метавонад сабабгори иштироки бевоситаи тамоми хонандагон дар раванди таҳсилотӣ гардида, барои ташаккул додани муҳити меъморӣ мусоиду бароҳат, ки ҳамгироии иҷтимоӣ ва инкишофи шахсиятро дар сатҳи зарурӣ таъмин менамояд, мусоидат кунад [1, 2, 5].

Мавод ва усулҳои таҳқиқот

Таҳлилу тадқиқи таҷрибаи ватаниву хориҷии лоиҳакашӣ, бунёд ва истифодабарии муассисаҳои таҳсилоти фарогир, ки дар мақола мавриди иҷро қарор дода шудаанд, имкон медиҳанд, ки аз ҷониби муаллиф як қатор принципҳои асоситарини муосири лоиҳакашии муассисаҳои таҳсилоти фарогир (МТФ) таҳия ва тавсия дода шаванд (Расми 1). Аз ҷумла:

1. *Тағйирпазирии таъйинотӣ.* Вобаста ба таъйинот, фасеҳии тарҳӣ маънои онро ифода менамояд, ки тағйирпазирии таъйиноти ин ва ё он қитъа, кабинету ҳуҷраҳои таълимӣ на танҳо имконияти иваз намудани вазифаҳои онҳоро доранд, балки он имконпазирии истифодабарии ҳуҷраҳои гуногунтаъйинотаро бо назардошти хусусиятҳои синнусоли хонандагони муассиса ифода менамояд. Масалан, дар раванди таълиму

тарбияи хонандагон бояд дар бораи иваз намудани тарзу усулҳои таълим, ҳамдигаривазкунии вазифаҳои асосии зинаҳои томуассисай (дар ҳоли мавҷуд доштан), ибтидоӣ, миёнаи нопурра ва миёнаи умумӣ фикру андеша намуд.

2. *Ғунҷоиши таъйинотӣ.* Меъёри мазкур истифодабарии самараноки ҳуҷраҳо ва ҳудуди муассиса, ҳаҷму миқдори вазифаҳоро, ки дар вақти истифодабарии масоҳати муфиди муайяни ҳуҷраҳо амалӣ мешаванд, ифода менамояд. Афзоиш додани ғунҷоиши таъйиноти МТФ зарурати коҳиш додани миқдори ҳуҷра ва қитъаҳои махсусгардонидашуда ва афзоиш додани масоҳатҳои универсалиро тақозо менамояд.

Истифодабарии самараноки фазои муҳит имкон медиҳад, ки ихчамии лоиҳаи бино баланд карда шавад. Масалан, муччаҳаз гардонидани бом (боми истифодашаванда), ҳуҷраву кабинетҳо барои истифодабарии хонандагону омӯзгорон ва ва чорабиниҳои дигар.

3. *Бартариҳои вазифаҳои ҷамъиятии фазои дохилаи муассиса.* Ҳангоми таҳияи лоиҳаи сохтмони бинои МТФ таваҷҷуҳи ҷиддӣ бояд ба вазифаҳои муҳими иҷтимоӣ дода шавад. Онҳо дар навбати худ метавонанд бо воситаҳои композитсионӣ, муттаҳидшавии ҳуҷраҳои таъйиноти якхеладоштаро дар қитъаҳои умумӣ, бо қитъабандии уфуқӣ ва мутаҳидкунии амудии фазои муассиса таъмин намоянд. Ин ҳолат имконият медиҳад, ки муайянсозии дурусти таваҷҷуҳро оиди фаъолияти тарбиявӣ таълимии хонандагону омӯзгорон амалӣ карда шавад.

Фазо дар муассиса ва атрофи он бояд вазифаҳои ҳам таълимиву ва ҳам истироҳатиرو иҷро намуда, ба муносибатҳои байниҳамдигарии онҳо, бе ҷудосозӣ ба гуруҳҳои алоҳида мусоидат намояд. Аз нуқтаи назари ғоявӣ бадеӣ фазои умумии муассисаи таҳсилоти фарогир бояд ҳамчун майдони марказие, ки дар он китобхонаву лавҳаҳои намоиш ва инчунин, унсурҳои амудии интерер (амфитеатр, зинаҳо ва ғайра) ҷойгиронида шудаанд, баррасӣ карда шавад.

4. *Тағйирпазирии тарҳӣ.* Шакли тарҳиву ҳаҷми бинои МТФ бояд фасеҳ тарҳрезӣ карда шавад. Бо ибораи дигар, дар тамоми давраи истифодабарӣ он бояд муҳимияти сохтори дар оғози лоиҳакашӣ доштаашро нигоҳ дорад. Барои иҷрои ин вазифаи муҳим, азнавтәрҳрезии геометрӣ, қитъабандӣ, муттаҳидкунӣ, ҷудосозӣ ва тақсими нави ҳудуди муассиса бояд амалӣ карда шавад. Дар ин маврид, фасеҳияти тарҳӣ бо роҳи иҷрои шартӣ қобилияти тағйирпазирии тарҳӣ, ҷобачогузориҳои ҷиҳози интерер дар раванди як дарси таълимӣ ва имконияти тағйирдиҳии вазифаҳои муҳити фазо, бо роҳи трансформатсияи тавсифоти геометрии он, амалӣ карда мешавад.

5. *Трансформатсияшавӣ ва ҷойивазкунии унсурҳои фазои муҳит.* Баъзе аз унсурҳои асноби бисот ва воситаҳои таълимии муассисаҳои таҳсилотӣ имкон медиҳанд, ки истифодабарии онҳо ҳамчун воситаи ташаккули фазои муҳит ва инкишофи динамикаи он бошад. Бо ин мақсад, дар муҳити дохилаи биноҳои МТФ метавон миёнадеворҳои ҷойивазшаванда мебели шаклтағйирпазир(трансформатсияшаванда) пешбинӣ карда шаванд. Трансформатсияи муҳити фазо бо ду роҳи асосӣ амалӣ карда мешавад. Якум – пешбинӣ намудани пардаҳои ҷорҷубадор, миёнадевор ва ба он монанд ва дуюм – истифодаи асноби бисоти, ки дар қатори иҷрои вазифаҳои ҷудосозии фазо, ҳамзамон вазифаҳои асосии ҳудро иҷро менамоянд. Фазои дохилаи ҳуҷраҳои таълимӣ, бояд пеш аз ҳама вобаста ба шумораи хонандагони синф ва гурӯҳи онҳо иваз гардад. Асноби бисот дар ин маврид бояд гуногуншакл – ҷамъшаванда, модуль, аз ҷой ба ҷой гузаронида шаванда ва ғайра бошад.

6. *Арзиши эстетикӣ.* Дар раванди лоиҳакашии биноҳои МТФ меъморону лоиҳакашонро мебояд, ки кӯшиш ба ҳарч диҳанд то сатҳу сифати меъмориву бадеӣ ва эстетикӣ биноҳои тарҳрезӣшаванда ҳарчи зебову ҷолибтар бошанд. Муҳити мусоиду ҷолиби меъморӣ-бадеии биноҳо бевосита ба тафаккури хонандагону омӯзгорони МТФ таъсири муфид расонида, бо ин роҳ сатҳи азҳудкунии умумии хонандагонро беҳтар гардониди, мафкураи эҳсосоти онҳоро баланд бардорад. Иҷрои талаботи эстетикӣ дар муассисаҳои таълимиву тарбиявӣ бояд ҳамчун васоити интиқоли ғояҳо, ки асоси таъйиноти педагогиро ташкил медиҳад, амалӣ карда шавад.

7. *Коҳишдиҳии батартибандозии рафтор.* Ҳалҳои дурусти меъморӣ ва тарҳрезии биноҳои МТФ бояд батартибандозии рафтори хонандагонро дар сатҳи зарурӣ коҳиш диҳад. Он имконият медиҳад, ки муҳити фазои муассисаҳои таълимиву тарбиявӣ ба қисматҳои умумӣ ва инфиродӣ тақсим карда шавад. Бо ибораи дигар, як қисмати масоҳати корӣ барои баргузориҳои машғулиятҳои фардӣ, бо мақсади инкишофи бештари зеҳнии хонандагони болаёқат ё ниёзу эҳтиёҷоти махсусдошта аз хонандагони дигар, ҷудо карда мешавад.

Дар натиҷа шароитҳои дигари зарурии ҳам иҷтимоиётшавии кӯдакон ва ҳам фардиёти онҳо ташкил дода мешаванд.

8. *Дастрасии фазои муҳити таҳсилот.* Озоду кушода будани раванди таҳсилот интиҳоби дурусти хонандагонро таъмин намуда, ҳамзамон барои пайдо гардидани малакаҳои худшиносии онҳо мусоидат менамояд. Бо назардошти мундариҷаи ғоявӣ бадеӣ, он дар дастрасии гирифтани таълиму тарбия, ташаккули асосҳои концептуалии таҳсилоти ғайрирасмӣ хонандагон метавонад таҷассум ёбад. Бо таъки ба мавқеъҳои меъмориву тарҳии биноҳои МТФ, принсипи мазкур сохтори шаклтағйирпазири муайянеро ифода менамояд, ки барои дарку эҳсоси падидаҳои навин аз ҷониби хонандагон мусоидат менамояд. Дар ин маврид, фароғату дамгирии онҳо низ дар қатори дарсҳои таълимӣ муҳимияти махсус дорад. Фазоҳои кушодаи бевосита барои муоширати байниҳамдигарии хонандагон мусоидат намуда, тақсимшавии минбаъдаи фазои ягона ба қисматҳои алоҳида бо назардошти таъиноти ҳар яки он имконпазир мебошад.

9. *Моҳияти иҷтимоӣ ва маърифатӣ.* МТФ—ро метавон ҳамчун маркази маърифативу ҷамъиятии истиқоматкунандагони маҳали гирду атрофи муассиса баррасӣ намуд. Дар муассисаҳои таҳсилотӣ на танҳо раванди таълимиву тарбиявӣ хонандагон амалӣ мегардад, балки дар онҳо бояд ниёзҳои ҷомеаи маҳаллӣ, аз қабيلي фаъолиятҳои солимгардонӣ, варзишӣ, маърифатӣ ва истироҳативу фароғатӣ барои сокинони биноҳои гирду атроф низ, қонеъ карда шаванд. Дар раванди лоиҳакашии биноҳои муассисаҳои таҳсилотии фарогир бояд ҳатман масъалаҳои таъминоти дастрасии тамоми кӯдакон, аз ҷумла хонандагони имкониятҳои маҳдудшуда, ба китобхона ва толорҳои маҷлисиву варзишӣ пешбинӣ қада шавад.



Расми 1 - Принсипҳои муосири лоиҳакашии биноҳои МТФ

10. *Таъмини талаботи экологӣ.* Дар раванди тарҳрезии биноҳои МТФ бояд аз имкониятҳои пешбинӣ намудани синфхонаҳои шакли муосир, ки дар қатори таъмин намудани раванди таълиму тарбияи босамар, инчунин риояи меъёру стандартҳои беҳатариҳои экологиро ба назар гирифтаанд, истифода гарданд. Бо ин мақсад, бояд таъминоти энергия бо истифода аз манбаъҳои барқароршавандаи энергия, пешбинӣ намудани масолеҳҳои табиӣ дар ороиши дохилару берунӣ бинои МТФ, таъмини алоқамандии байниҳамдигарии ҳуҷраҳои муассиса бо муҳити атроф, қатъиян ба назар гирифта шаванд.

11. *Рушди устувор.* Дар ин ҷода, бояд нақшаҳои рушди дурнамои муассиса таҳия ва самтҳои стратегии он муайян карда шуда, муҳити фазои МТФ бо назардошти афзоиши эҳтимолии намудҳои тарҳрезии бино ташаккул дода мешавад. Дар ин ҳол, усулҳои гуногуни ҳам конструктивӣ ҳам муҳандисӣ, ки ба

воситаҳои онҳо нақшаҳои тарҳии бино дар раванди истифодабарӣ метавонад тағйир дода шаванд, бояд пешбинӣ гарданд. Ҳамзамон, тағйироти қитъаи замин, иловасозӣ ба бинои мавҷуда ва ғайра имконпазир мебошад.

Натиҷаҳо

Ҳуҷраи асосии МТФ синф-кабинети таълимӣ ба ҳисоб рафта, он бояд ҷавобгӯи талаботи фаёлона гузаронидани машғулиятҳои таълимӣ бо ташкили ҳам шакли васеъ (фронталӣ), инчунин гурӯҳию фардии таълим бо истифодаи васеи воситаҳои техникаӣ бошад.

Ҳуҷра бояд минтақаҳои фаёолияти хонандагон, қисми кории омӯзгор, фазои иловагӣ барои ҷойгиркунонии асбобҳои таълимӣ-айёни, воситаҳои техникаӣ таълим, ашёҳои шахсии хонандагон, минтақа барои кори гурӯҳӣ ва барои машғулиятҳои фардии хонандагон ва имкониятҳои барои иҷрои кори фаёолро дар бар гирад. Ҳамзамон, ҷойҳои алоҳида чун маҷмуи фазо бояд шартҳои муносиби таълимиву тарбиявиро таъмин намоянд [3, 4, 6].

Ҳуҷраҳои таълимии хонандагони синфҳои 1-9 бояд бо мизҳои сабук барои 1 хонанда ҷиҳозонида шуда, дар онҳо пешбинӣ намудани ҷевонҳои деворӣ, инчунин таҷҳизоти ҷойивазшавандаи иловагӣ барои ҳалли мушкилоти ташкили фазои муносиб бо мақсади фаёолонидани шаклҳои таълим зарур мебошад.

Тамоми ҳуҷраҳои асосии таълимӣ бояд на камтар аз қимати меъёрии коэффитсиенти равшании табиӣ (KPT) дар сатҳи болои мизи таълимӣ дошта бошанд ва чун қоида, рӯшноӣ аз паҳлӯи чап пешбинӣ шавад. Барои ташкили шакли мобилии гузаронидани дарс мебояд рӯшноӣ баробар дар тамоми сатҳи кори ҳуҷраҳо аз ҳисоби рушноии бологии иловагӣ (омехта: якҷояшавии болоӣ ва паҳлугӣ) ё рӯшноӣ сунъии иловагӣ дар дарунтари ҳуҷра берун аз минтақаи мизҳои асосии таълимиро дар назар доштан зарур аст.

Дар баъзе аз ҳуҷраҳои МТФ, аз ҷумла: роҳҳои алоқа ва доробитавию роҳравҳо, ки ҳуҷраҳои истироҳатӣ нестанд; шустушӯйхона, душхона ва ҳочатхона, дар толори варзишӣ ва ҳавз, ҳочатхона барои кормандон, ҳуҷраи гигиенаи шахсии занон; маркази радиошунавонӣ, кинофотоозмоишгоҳ, ҳуҷра барои системаи телевизиони дохилимуассисавӣ, анбори китобнигохдорӣ, борхона; ҳуҷраи таҷҳизоти гармидиҳӣ (бойлер), ҳуҷраи таҷҳизоти фишорафзоҳои обтаъминкунӣ ва обихроҷӣ, камераҳои ҳавотозакунӣ, қисми идоракунии ва ҳуҷраҳои дигар барои идоракунии таҷҳизоти муҳандисӣ ва технологияи бино, пешбинӣ кардани танҳо рушноии сунъӣ имконпазир мебошад.

Дар ҳолатҳои фавқуллода барои риоя кардани талаботи ихчамии назаррастари биноҳои МТФ, толори маҷлисиву дахлезҳо (кулуарҳо), қисмҳои санитарӣ барои хонандагон истифодаи рушноии сунъӣ роҳ дода шуда, ҳамзамон бояд қаратнокии ивазшавии ҳаво (аз рӯи ҳисоб) афзоиш дода шавад.

Таъмини равшании роҳравҳо бо рушноии дуҷум (дар сатҳи бологии тавораҳо), бо роҳи пешбини миёнадеворҳои шаффоф ё болодарӣ дар деворҳои роҳравҳо роҳ дода мешавад.

Барои таъмини намоёнӣ нозратӣ мусоиди тахтаи синфӣ, он бояд бо қатори чароғакҳо (софитҳо) таҷҳизонида шуда, бо ду чароғпояи оинагии рушноитақсимкунандаи нобаробари намуди ЛПО-30-40-122(125) –и ба таври мувозӣ дар он часпонидашуда равшан карда шавад. Чароғпояҳо болотар аз қанори болои тахтаи синф ба 0,3 м ва ба 0,6 м ба тарафаи синф рӯ ба рӯи тахтаи синф ҷойгир карда мешаванд [7, 8].

Нурафкании ҳуҷраҳои таълимии МТФ-ро бояд бо назардошти талаботи бандҳои марбутатаи меъёри қоидаҳои амалкунанда амалӣ карда шуда, тамоюли тирезаҳои ҳуҷраҳои асосии таълимиро, ки кунҷи тамоюли муносиби ҳуҷраҳо вобаста аз шароитҳои воқеии шаҳрсозии биноҳои муассисаҳои таҳсилоти фарогир аниқ менамояд, пешбини намуд.

Тирезаҳои ҳуҷраҳои таълимие, ки дар онҳо истифодаи воситаҳои техникаӣ таълим пешбинӣ шудаанд, бояд бо парда ва воситаҳои дигари зарурӣ ҷиҳозонида шаванд.

Муҳокима

Чуноне, ки қаблан қайд гардида буд, барои таъмини амалишавии раванди таълимиву тарбиявии МТФ, пеш аз ҳама пешбинӣ намудани маҷмуи гурӯҳҳои таъйиноти ҳуҷраҳо, ки бояд дар асоси талаботи сохтори ташкилӣ ва таъинотиву педагогии муассиса муайян мегардад, зарур мебошад. Маҷмуи гурӯҳҳои таъйинотӣ, таркиб ва масоҳати ҳуҷраҳои муассисаҳо бояд ба шаклу сохтори ташкиливу таъйиноти он мувофиқати бе чунучаро дошта бошад.

Микдори ҳуҷраҳои таълимӣ (синфхона ва кабинетҳо) барои муассисаҳои таҳсилоти фарогир баробар ва шумораи гурӯҳҳои таълимӣ, бо назардошти сохти ташкилӣ-педагогии он бояд пешбинӣ карда шавад. Дар ин маврид, ба ҳар як синфҳои мувозӣ (I-XI) бо тариқи иловагӣ пешбинӣ намудани ҳуҷраҳои таълимӣ имконпазир буда, қисми иловагии ҷойҳои нишаст дар ғунҷоии умумии МТФ бояд ба эътибор гирифта шавад.

Дар асоси таҳлилу тамоми омилҳои тиббиву педагогӣ, хусусиятҳои раванди таълиму тарбия, талаботи санитариву беҳдошти муҳити физикии биноҳои муассисаҳои таҳсилотӣ, хусусиятҳои антропометрӣ ва махсуси хонандагони имкониятҳои маҳдуддошта, ҷобаҷогузорию аснобу бисот (мебелу таҷҳизот) вобаста ба таъиноти ҳуҷраҳои алоҳида ва ғунҷоии онҳо, талаботи меъёри қоидаҳои амалкунандаи лоиҳакашии муассисаҳои таҳсилоти умумӣ ва ғайра, ки дар қисматҳои аввали кор мавриди баррасӣ қарор дода шуда буданд, нақшаҳои тарҳии намунавии унсурҳои асосии инфрасохтори МТФ тарҳрезӣ ва тавсия карда шуда, масоҳатҳои меъёрии онҳо барои як ҷойи хонанда муайян гардидаанд.

Синфхонаҳои таълимӣ ва гурӯҳҳои машғулиятшоян бардавоми МТФ бояд бо назардошти ғунҷоии онҳо барои на зиёда аз 24 нафар, аз ҷумла як-ду ҷойи нишаст барои хонандагони ниёзҳои махсусдошта (нуқсонҳои биниш, шунавонӣ ва узвҳои таъия ва ҳаракат) пешбинӣ карда шаванд [1, 9, 10].

Дар синфхонаҳои хонандагони синну соли калони МТФ, коҳиш додани ғунҷоиши онҳо то 20 хонанда роҳ дода мешавад. Дар вақти таҷдид ва таъмири асосии биноҳои мавҷудаи муассисаҳои таҳсилотӣ, пешбини намудани ғунҷоиши синфҳо то 30 ҷойи нишаст, бо назардошти масоҳати нисбӣ барои як хонанда на камтар аз 1,8 м² имконпазир мебошад.

Дар натиҷаи тарҳрезии нақшаҳои намунавии ҳучраҳои таъйиноти асосии муассисаҳои таҳсилоти фарогир тавсия дода мешавад, ки масоҳати умумии ҳучраҳои таълимӣ, бояд барои синфхонаҳо бо шаклҳои фронталӣ машғулиятҳо, на камтар аз 1,8 м² ба як хонанда, шаклҳои омехтаи таълим (фронталӣ ва гурӯҳӣ), инчунин дар кабинетҳо ва озмоишгоҳҳои махсусгардонидашуда оид ба фанҳои табиӣ 3м² барои ҳар як хонанда масоҳат ба назар гирифта шуда, масоҳати ҳучраҳои таълимӣ барои баргузори шаклҳои гурӯҳӣ кор ва машғулиятҳои фардӣ пешбинишуда на кам аз 3м², масоҳати устохонаҳо барои омӯзиши технология ва меҳнат 4,5 м², устохонаҳои махсусгардонидашуда барои таълими тафриқавӣ аз рӯи равияҳо 5,5 м² барои ҳар як хонанда тарҳрезӣ гардад.

Ҷиҳозонидани ҳучраҳои таъйиноти МТФ бояд дар асоси талаботи стандартҳои амалкунанда (ГОСТ 5994-93 “партаҳо”, ГОСТ 11015-93 “мизҳои хонандагон” ва ГОСТ 11016-93 “курсиҳои хонандагон”) ва бо назардошти пешбини намудани мизу курсиҳои мутобиқ барои хонандагони ниёзу эҳтиёҷоти махсусдошта амалӣ карда шавад.

Хулосаҳо

Лоихакашии биноҳои МТФ бояд дар асоси мутобикгардонии меъморӣ амалӣ гардида, он бояд дар асоси баназаргирии тамоми ниёзу эҳтиёҷоти хонандагон, новобаста аз хусусиятҳои ҷисмонӣ ва рӯҳиву равонияшон амалӣ карда шаванд. Дар ин маврид яке аз принципи асоситарин, дизайни универсалӣ ба ҳисоб меравад, ки он бояд барои ташаккули муҳити бароҳату беҳатар равона гардад.

Шартҳои асоситарини лоихакашии муассисаҳои таҳсилоти фарогир таъмин намудани муҳити бемонеа, фасеҳии таъйиноти ҳучраҳо, ҳалҳои мусоиди муҳандисиву технологӣ ва иштироки бевоситаи мутахассисони самтҳои гуногун бо мақсади дастрас гардидани ҳалҳои босамар мебошад.

Муқарриз: С.Ш. Ҷурахонзода — номзоди меъморӣ, Реҷтори Донишқадаи давлатии Санъати тасвирӣ ва дизайни Тоҷикистон

Адабиёт

1. Кудрявцева, Н. М. Инклюзивные практики в образовании: от теории к практике / Н. М. Кудрявцева. — Казань: Казанский университет, 2022. — 300 с.
2. Абаев, З. Г. Социальная инклюзия в образовании: теоретические аспекты / З. Г. Абаев. — Тверь: Тверской государственный университет, 2019. — 150 с.
3. Волосникова Л. М., Патрушева И. В. Проектирование инклюзивных образовательных сред на основе универсального дизайна: обзор научных публикаций // Научные труды. – 2024. – Доступ: CyberLeninka.
4. Мавру К. Доступность и универсальный дизайн в высшем образовании: межстрановые перспективы // Teaching in Higher Education. – 2025.
5. Олодеоку М. Изучение принципов универсального дизайна в построенной среде // African Journal of Environmental Sciences & Renewable Energy. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 86–...
6. Коль Т., Шранц Т., Хофманн Э., Коркоран К., Швайгер Г. Введение в разрыв показателей комфорта в новых учебных зданиях: исследование // arXiv preprint. – 2024.
7. Гош С., Коппола С. Этот класс не для меня: распознавание эйблистских тенденций в дизайн-образовании // arXiv preprint. – 2024.
8. Что такое DeafSpace и как он может улучшить архитектуру для всех? // Wallpaper. – 2025.
9. Абаев, З. Г. Социальная инклюзия в образовании: теоретические аспекты / З. Г. Абаев. — Тверь: Тверской государственный университет, 2019. — 150 с.
10. Шевченко, И. А. Инклюзивное образование: подходы и реализация / И. А. Шевченко. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2021. — 220 с.

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

| TJ | RU | EN |
|---|---|---|
| Муминов Ашрафҷон Раҳмоналиевич | Муминов Ашрафджон Рахмоналиевич | Muminov, Ashrafjon Rahmonalievich |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон баноми акадмик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| Докторанти PhD | Докторант PhD | Doctor of Philosophy |

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА С ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВОК

А.А. Акрамов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена повышению долговечности бетона с помощью добавок. Увеличение срока службы бетона достигается за счет его улучшения, неспособность материала пропускать влагу – важнейшее свойство, обеспечивающее высокую прочность конструкций из бетона и железобетона. В представленном материале приводятся вычисления, необходимые для оценки характеристик бетоносмеси.

Ключевые слова: бетон, долговечность, проницаемость, морозостойкость, стойкость, пористость, плотность.

УСУЛҲОИ БАЛАНД НАМУДАНИ ДАРОЗМУДДАТИИ БЕТОН БО ВОРИД НАМУДАНИ ИЛОВАҲО

А.А. Акрамов

Мақола ба баланд намудани дарозмуддати бетон бо ворид намудани иловаҳо бахшида шудааст. Зиёд намудани мӯҳлати истифодабарии бетон аз ҳисоби беҳтар намудани обнагузаронии масолеҳи бетон, ки яке аз хусусиятҳои асосии он аст, иборат буда баландмустаҳкамии конструксияҳои бетонӣ ва оҳанубетониро таъмин менамояд. Дар мақола ҳисобҳо оиди баҳодиҳии ҳислатҳои маҳлули бетонӣ пешниҳод гардидаанд.

Клидвожаҳо: бетон, дарозмуддати, гузаранда, хунукитобовар, устуворӣ, ковоки, зичӣ.

METHODS OF INCREASING THE DURABILITY OF CONCRETE BY ADDING ADDITIVES

A.A. Akramov

This article is devoted to improving the durability of concrete using additives. Concrete's service life is extended through its improvement; the material's impermeability to moisture is a key property that ensures the high strength of concrete and reinforced concrete structures. The presented material provides calculations necessary for assessing the characteristics of concrete mixture.

Keywords: concrete, durability, permeability, frost resistance, resistance, porosity, density.

Введение

Бетон характеризуется высокой долговечностью благодаря способности сохранять свои физико-механические характеристики в течение всего периода его эксплуатации [1]. Под долговечностью бетона подразумевают его свойство сохранять заявленные характеристики на протяжении всего срока службы сооружений, подвергающихся воздействию окружающей среды [2]. Бетон считается долговечным, если способен противостоять внешним факторам и оставаться целостным в течение значительного количества лет, соответствующих условиям его эксплуатации [3-9].

Долговечность бетонных конструкций подвержена влиянию разнообразных факторов – как находящихся внутри материала, так и действующих извне. К числу внешних причин, вызывающих разрушение, относятся физическое воздействие окружающей среды, резкие колебания температуры и агрессивное действие газов, содержащихся в атмосфере. К внутренним факторам относятся взаимодействия между щелочными компонентами цемента и кремнезёмом в составе заполнителя, а также различные изменения объёма цементного камня и заполнителя, обусловленные разницей в их температурном расширении.

При должном внимании к технологии производства и эксплуатации прочность бетонных конструкций способна увеличиваться даже при воздействии колебаний температур и уровня влажности.

Качество бетона во многом определяется его надежностью – способностью выдерживать эксплуатационные нагрузки в течение определенного периода времени. Долговечность же тесно связана как со сроком службы материала, так и с условиями, в которых он используется или хранится. Исходя из этого определения, можно обосновать методы оценки долговечности бетона, используя устойчивость к различным факторам как основной критерий. Стойкость бетона делят на фактическую и относительную. Последнюю характеризуют как способность бетона или железобетона противостоять воздействию определенных материалов, например, известковых составов. Важно учитывать, что фактические испытания могут требовать значительного времени; искусственное ускорение процесса посредством изменения условий воздействия или типа агрессивной среды может исказить механизм разрушения материала.

Согласно исследованию, проведенному автором [11], надежность эксплуатации бетона, железобетона и изделий из них напрямую зависит от их способности противостоять негативным факторам окружающей среды. Долговечность этих конструкций обеспечивается лишь в том случае, если бетон, стальная арматура и сами железобетонные элементы выдерживают нагрузки и воздействия, характерные для условий их применения. Ожидаемый срок службы различных типов бетонов и железобетонных конструкций представлен в последующей таблице 1.

Таблица 1 – Сроки службы бетонов и железобетонных конструкций

| Материал конструкции | | Срок службы (предел), годы | | |
|-----------------------------------|----|----------------------------|---------|----------------|
| | | нижний | средний | верхний |
| Обычный бетон | | 30 | 70 | Нет предела |
| Автоклавный легкий бетон | | 10 | 35 | 60+а |
| Бетонные блоки | | 10 | 45 | 70+а |
| Сборный железобетон, толщиной, см | 4 | 15 | 40 | 60+а |
| | 8 | 25 | 55 | 80 |
| | 12 | 30 | 70 | Неопределенный |
| Плиты | | 15 | 40 | 60+а |

Примечание: а – учитывается при умеренном воздействии внешней нагрузки.

Для увеличения срока службы бетона и железобетонных конструкций принципиально важно грамотно сформулировать исходные данные для технико-экономического обоснования проекта. Это сложный процесс, требующий значительных затрат времени, поскольку необходимо взвесить все расходы, связанные с увеличением прочности, с непосредственными результатами и рядом дополнительных преимуществ, таких как улучшение экологической ситуации и создание благоприятной санитарно-гигиенической среды в помещениях здания. Анализ проблемы обеспечения долговечности бетона и железобетона следует проводить, учитывая два ключевых аспекта: воздействие внешних факторов на материал и влияние самого материала и конструкции (включая арматуру и бетон) на окружающую среду.

При анализе второго фактора необходимо детально исследовать воздействие внешней среды на стальную арматуру и бетон в железобетонных конструкциях, включая изучение процессов и скоростей коррозии. На этом этапе следует также определить методы улучшения устойчивости бетона и железобетона к негативному влиянию агрессивных сред [10]. Продолжительность службы бетона напрямую связана с его способностью противостоять проникновению влаги, что является ключевым показателем качества этого материала.

Для определения путей увеличения срока службы конструкций необходимо анализировать влияние внешних условий и определять основные факторы их воздействия на арматурное железо и бетон, прежде всего на железобетонные сооружения. Также важно исследовать механизм и скорость протекания процессов коррозии с целью разработки методов улучшения устойчивости бетона и железобетона к негативному воздействию окружающей среды [10]. Значительную роль в обеспечении долговечности бетона играет его способность пропускать влагу и другие вещества.

Методы определения пористости и проницаемости бетона

Способность бетона к проникновению газов и жидкостей является важной характеристикой материала и определяется с использованием различных методов оценки пористости и прочности. Данное свойство определяется как возможность бетона пропускать сквозь себя жидкости или газы под воздействием разницы давлений – этот параметр указывается в маркировке бетона буквой "W", обозначающей водонепроницаемость. Также бетон может обладать способностью к диффузии – процессу перемещения веществ, растворённых в воде, даже при отсутствии разности давлений; эта особенность оценивается посредством нормативных значений плотности потока и электрохимического потенциала [12].

Авторы исследования [3-9] отмечают, что воздействие воды и агрессивных жидкостей на бетон ухудшает его эксплуатационные качества, включая устойчивость к низким температурам. В результате проникновения этих компонентов внутрь структуры материала происходит вымывание гидроксида кальция – $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Интенсивность этого процесса зависит от проницаемости бетона, являющейся ключевым показателем его надежности, то есть морозостойкости. Коррозия арматуры происходит в результате проникновения влаги и воздуха в армированном бетоне и это приводит к нарастанию объема бетона, в результате которой появляются трещины и отслаивание защитного слоя. Прохождение воды через толщину бетона зависит не только от её давления, но и от избыточного давления, возникающего при осмосе.

Даже в твердом цементном теле и заливочном материале присутствуют воздушные пустоты. В готовом бетоне эти пустоты могут занимать от 1 до 10 процентов общего объема из-за отделения воды или неполного уплотнения. Это происходит потому, что частицы заполнителя в плотном бетоне тесно соприкасаются с цементным камнем. Именно свойства цементного камня оказывают ключевое влияние на общую проницаемость бетона.

При создании бетонной смеси важно обеспечить высокую плотность материала, однако даже при этом в бетоне формируются капилляры и гелевые пустоты. Доля капиллярных пор может варьироваться от нуля до сорока процентов от общего объема цементного камня, а доля пор в геле – до тридцати процентов, что определяется степенью гидратации и соотношением воды к цементу.

Водопоглощение бетона вычисляется как отношение массы влажного образца к массе сухого образца – эта величина отражает количество пор в бетонной структуре, то есть его проницаемость.

Водопроницаемость бетона обусловлена принципами фильтрации жидкостей сквозь материалы с порами. В цементном камне отдельные составляющие связаны между собой, поэтому вода способна к адгезии лишь на ограниченной площади. Активное участие воды в процессе фильтрации связано с её высокой мобильностью и увеличенной вязкостью. Характеристики пор в бетоне – их расположение, величина и протяженность – оказывают существенное воздействие на степень его водопроницаемости, которая является сложной функцией зависящий от его пористости.

Эксперименты, выполненные на основе цементного геля, показали, что при пористости 28 % его способность к проникновению составляет $7 \cdot (10-14)$ см/сек. Таким образом, капиллярная структура цементного материала позволяет оценить степень его водопроницаемости. Процесс фильтрации воды через бетон влияет на эту проницаемость. Анализируя изменение размера, формы и количества цементных составляющих, возможно установить количество связанной воды в цементном растворе. В результате гидратации происходит увеличение объема структуры с порами примерно на 2,1 раза по сравнению с исходным цементом, что приводит к значительному снижению проницаемости; водные полости замещаются продуктами реакции [3-9].

На характеристики прочности и способности к проникновению влаги в затвердевшем цементном растворе значительное влияние оказывают степень закрытости пор, их размер, форма и количество гелеобразующего вещества. Таким образом, прочность материала напрямую зависит от его структуры. При идентичном соотношении воды и цемента использование цемента с крупным помолом приведет к образованию более неоднородной и пористой структуры, в отличие от цемента мелкого помола. Влияние химического состава цемента на его способность пропускать воду обратно пропорционально уровню завершенности процесса гидратации.

Исходя из этого, можно заключить, что на долговечность цементного материала влияет уровень связанной воды; при этом уменьшение способности к проникновению свидетельствует о повышении его устойчивости, что позволяет предположить зависимость прочности от соотношения объема гелевой структуры и доступного пространства.

Проницаемость бетона, показывающая объем воды, прошедшего за час через единицу площади при заданном давлении, выражается числом K_{np} и рассчитывается с использованием следующей формулы [13]:

$$K_{np} = \frac{B}{At(\rho_1 - \rho_2)}$$

где: A – площадь образца в квадратных сантиметрах; t – продолжительность испытания в часах; ρ_1 и ρ_2 – значения градиента давления.

Как показывает практика, достаточно редко подтверждается зависимость непроницаемости цементного камня от его водоцементного отношения, так как технологический процесс играет основную роль.

Наличие крупных пор в цементной матриксе при одинаковых пропорциях воды и цемента определяется объемом используемого цемента, его типом, а также качеством сжатия, которое нередко нарушается, что существенно сказывается на способности материала пропускать воду.

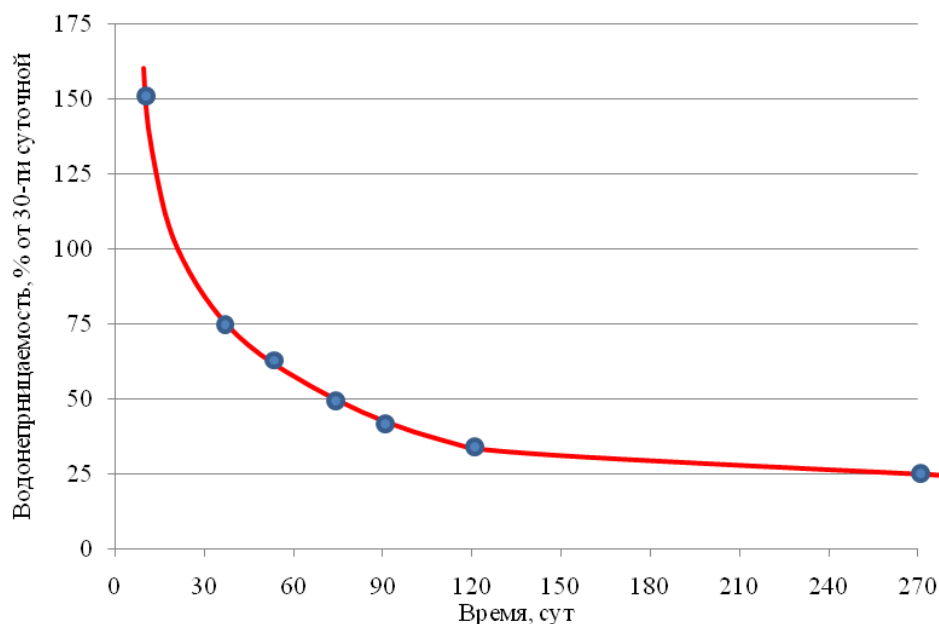


Рисунок 1 – Динамика водопроницаемости бетона в зависимости от его возраста. Через 30 суток водопроницаемость считается равной 100%.

Вода, попадая в бетон при поливке, проникает в его микропоры и микрокапилляры. Под действием поверхностных сил вода теряет способность свободно перемещаться и задерживается в этих структурах. Этот процесс, известный как кольтмация пор и капилляров, уменьшает проницаемость бетона. Со временем прочность бетона растёт, поскольку объём пор уменьшается вследствие заполнения их продуктами гидратации цемента. Это изменение пористости бетона также приводит к снижению его проницаемости. В графике 1 показано, как возраст бетона сказывается на его водопроницаемости.

Влияние плотности на проницаемость

Связь между пористостью и плотностью бетона тесно связана с размером капилляров в его паровом пространстве. Диаметр этих капилляров варьируется от 15 ангстрем до сотых долей микрометра. В ходе длительного процесса гидратации капилляры бетона заполняются веществами, образующимися в результате реакции.

Эти продукты имеют свойства перекрывать капилляры бетона на отдельных участках. Разновидность размера радиуса капилляров в бетоне даёт возможность определять различные механизмы переноса через толщу бетона газов и жидкостей.

Пропуск газов и жидкостей через бетон зависит от его типа и подчиняется разным физическим законам. Крупнопористые бетоны следуют законам аэро- и гидродинамики. Тяжёлые и лёгкие бетоны массового производства подчиняются закону Пуазейля, но в зависимости от режима течения – ламинарного или турбулентного. Специальные бетоны же характеризуются диффузионным переносом, который может быть капиллярным (для жидкостей) или кнудсеновским (для газов).

Для бетонов, которые используются в химической промышленности, типичны явления диффузии, осмоса и диализа.

Согласно авторам [14] в вязкостном потоке влияние вязкости и плотности флюида выражается следующим образом:

- $\Delta p = k \frac{\eta \cdot v \cdot b}{r^2}$ при ламинарном потоке;
- $\Delta p = k \frac{\Gamma^2 \cdot n \cdot b}{l}$ – при турбулентном потоке.

В цементных материалах, применяемых в химических процессах, часто наблюдаются процессы диффузии, осмоса и диализа. Как отмечают исследователи в работе [8], воздействие вязкости и плотности жидкости во вязком течении описывается следующими уравнениями:

- $\Delta p = k \frac{\eta \cdot v \cdot b}{r^2}$ - для ламинарного режима движения;
- $\Delta p = k \frac{\Gamma^2 \cdot n \cdot b}{l}$ – для турбулентного режима.

где k — показатель проницаемости, η — вязкость текучей среды, v — средняя скорость движения жидкости вдоль линии тока, b — параметр, характеризующий размер рассматриваемого объекта, Γ — доля пор в объёме, n — отношение плотности газа к плотности воздуха, r — диаметр капиллярного канала.

В целях описания капиллярно-пористых веществ, как проницаемой среды, несколько исследователей в работе [15] предложили усовершенствованные подходы к моделированию. Авторы, включая Дамклера, Л.С. Лейбензона [16], Баррера [17], Флада [18], Дейса [19] и других, использовали модель пористой структуры, основанную на идее цилиндрических каналов, расположенных параллельно друг другу. Однако ключевым ограничением такого подхода является ошибочное предположение о нулевой проницаемости пористого материала в перпендикулярном направлении, что противоречит реальному состоянию дел.

Согласно широко используемой модели пористой структуры, разработанной Слихтером, её можно представить как объём, содержащий равномерно расположенные сферические элементы (известную также как модель искусственного основания). Структура может принимать форму куба, шестигранника или тетраэдра. Эта структура формируется из капилляров, обладающих изогнутой осью и поперечным сечением в форме меняющегося треугольника, который циклично уменьшается от наибольшего размера до наименьшего.

Согласно исследованиям Дарапского и Манегольда [20], многослойная структура, состоящая из большого количества сфер, способна формировать разнообразные конфигурации. Это обусловлено тем, что отдельные сферы, проникающие в пространство между расположенными ниже, трансформируют общую структуру упорядоченности. В результате более плотного расположения образуются две альтернативные формы пустот в отличие от одной модели, предложенной Слихтером. Однако модель Слихтера имеет ограничения, включая недостаточный уровень пористой структуры и отсутствие непрерывного контакта между частицами, что затрудняет её использование для анализа поведения твёрдых тел.

Согласно точке зрения М.М. Дубинина, рассматриваемая пористая структура представляет собой сложную сеть, состоящую из больших и малых пор, соединённых между собой мелкими каналами.

Анализ с использованием техники Бехгольда–Думанского и наблюдение под оптическим микроскопом выявили, что протяженность капилляров наибольшего размера обычно значительно превышает размер рассматриваемого материала.

Эти капилляры отличаются изменчивым диаметром и располагаются среди округлых пор, что характерно для сетевидных капилляров. Оптимально эта структура мелких капилляров демонстрируется схемой, разработанной Викком и М. М. Дубининым.

Макропористость является общим признаком бетонных конструкций и оказывает значительное влияние на их физико-химические характеристики, включая способность пропускать различные вещества. При этом доля пор с диаметром более 10^{-5} см обычно не выходит за пределы 30% от общего объема бетона, чаще всего составляя величину между 10 и 15%.

Определение проницаемости вещества по параметру его общей пористости возможно лишь с некоторой погрешностью.

В бетоне перемещение газов и жидкостей происходит благодаря разнице в давлении, концентрации веществ, температуре и электрохимическим градиентам. Жидкая фаза способна проникать сквозь структуру бетона, используя сразу несколько различных способов переноса.

Обычно наблюдается доминирование одного механизма перемещения для большей части бетонных конструкций при наличии разницы давлений в условиях ламинарного либо турбулентного течения.

Коэффициенты проницаемости бетона варьируются в очень больших пределах, охватывая более десятка порядков величин. Существующие способы оценки способности бетона пропускать жидкость в зависимости от объема прошедшей сквозь него жидкости делятся на два типа: определяющие высокую и низкую степень проницаемости.

Бетон относят к первой категории материалов, поскольку его пропускная способность обусловлена двойным механизмом: перемещением жидкости по Пуазейлю и Кнудсену, дополненным капиллярной фильтрацией в условиях типового размера образцов. Во вторую группу входят бетоны, свойства которых в отношении проницаемости обусловлены диффузией, осмосом, термодиффузией и электрокинетическими процессами переноса веществ.

Объем жидкости, прошедшей сквозь исследуемый материал, определяют либо прямым физическим измерением, либо непрямыми методами, основанными на химическом, физико-химическом или радиохимическом анализе. Во вторую группу входят подходы, которые принимают во внимание особенности процесса перемещения жидкости. Преобладающими являются способы, основанные на диффузионном переносе. Определение коэффициента может быть осуществлено напрямую или опосредованно, используя данные о коэффициентах диффузии, растворимости и характер связи между ними и коэффициентом проницаемости. Традиционным подходом к определению коэффициента проницаемости при диффузионном переносе считается метод Баррера. Коэффициент проницаемости, обозначаемый как k , вычисляется в соответствии с уравнением [21]:

$$k = \left[\left(\frac{V_K}{T_{\text{оп}}} + \frac{V_{\text{сист}}}{T_{\text{сист}}} \right) \frac{\Delta p}{760} \frac{273}{p} \right] \frac{760}{p} \frac{b}{S \Delta x},$$

Здесь: p — представляет собой давление газа внутри газовой камеры; b — обозначает толщину пробы; S — площадь поверхности пробы; Δp — указывает на изменение давления в откачиваемой камере; Δx — соответствует времени, затраченному на повышение давления в камере; V_K — есть объем откачиваемой камеры; $V_{\text{сист}}$ — определяет объем неотрегулированной по температуре части вакуумной установки; $T_{\text{оп}}$ — температура эксперимента; $T_{\text{сист}}$ — температура окружающей среды.

Оценка водопроницаемости материалов на основе цемента, таких как затвердевший раствор и высокоплотные образцы, может быть осуществлена с помощью методики, предложенной С.А. Рейтлингером и основанной на диффузионном транспорте.

Влияние водонепроницаемости на свойства бетона

На характеристики водопроницаемости бетона существенно влияет процесс создания бетонной смеси. Факторы, определяющие эту способность, принято разделять на две категории: технологические, включающие состав компонентов смеси, методы приготовления, формовки и последующего ухода за бетоном; и изменения, происходящие с бетоном со временем или под воздействием агрессивных внешних условий, приводящие к модификации его физико-механических параметров, включая и степень прочности.

К началу формирования бетона применяют первичные компоненты смеси: цемент и материалы для заполнения объема. Цемент определяется минеральным составом и степенью измельчения, а заполнители - зерновым составом, минералогией, шероховатостью поверхности, пористостью и наличием химически активных веществ.

В случае сопоставимых факторов, наименее проницаемыми оказываются разнообразные типы цементов, способных увеличиваться в объеме и создавать напряжение.

Более мелкий помол цемента способствует формированию микрокапиллярной структуры в цементном камне и существенному сокращению количества крупных капилляров, что приводит к уменьшению его проницаемости. В связи с увеличением расхода воды при производстве цемента и одновременным снижением устойчивости бетона к образованию трещин эффективность использования высокодисперсных вяжущих напрямую связана с качеством уплотнения бетонной смеси и условиями, в которых будут эксплуатироваться сооружения. При производстве непроницаемого бетона ключевые требования к наполнителю связаны с распределением частиц по размерам, наличием примесей, текстурой поверхности и объемом пор.

С целью уменьшения способности бетона к проникновению рекомендуется применять для наполнения плотные горные породы, например, базальт, доломит, порфир или андезит.

Характеристики бетонной композиции оказывают существенное влияние на водопроницаемость готового изделия. Ключевые параметры состава смеси при этом включают водоцементное соотношение, количество используемого цемента, пропорцию заполнителя и цемента, а также соотношение фракций крупного и мелкого заполнителей.

Водоцементное отношение влияет на пористость и проницаемость бетона – сначала они уменьшаются при снижении этого показателя, достигая некоторого оптимального значения, а затем резко увеличиваются вследствие недостатка связующего материала. Важным параметром в данном случае выступает коэффициент раздвижки, отражающий соотношение между объемом цементного теста и объемом пор в заполнителе.

Недостаточная концентрация смеси неизменно ведет к значительному росту ее пористости, в то время как чрезмерное вибрирование способно спровоцировать разделение компонентов, усилить выход воды и, как следствие, увеличить пористость бетона. Для достижения максимальной непроницаемости бетонной конструкции важно осуществлять уплотнение смеси при минимально возможной текучести, соответствующей выбранному методу уплотнения.

Выводы

В этом исследовании рассматриваются различные методы продления срока службы бетонных и железобетонных конструкций. Особое внимание уделяется подходам, направленным на повышение гидроизоляционных свойств бетона и снижение его водопоглощения. Кроме того, приводятся формулы, с помощью которых можно определить характеристики бетона.

Рецензент: Каландарбеков И.К. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТПУ им. акад. М.С.Осими.

Литература

1. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: ГОСТ Р 54257-2010. – М: Стандартинформ, 2011. – 18 с.
2. Черкасов Г. И. Введение в технологию бетона. – Иркутск: Иркутский политехнический институт, Восточно-Сибирское книжное издательство, 1974.
3. Невилль А. М. Свойства бетона: [пер. с англ.] / В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – Москва: Изд-во лит-ры по строительству, 1972.
4. Шарифов А. Комплексные химические добавки для цементных бетонов / Шарифов А., Акрамов А.А, Хокиев М.К., Умаров У.Х. // Вестник Таджикского технического университета, серия 3(11), Душанбе: «Шинос», 2010. – С.69 – 72.
- 5 Шарифов А. Влияние декстрина на водонепроницаемость и морозостойкость бетона на цементно – волластонитовых вяжущих / Шарифов А., Акрамов А.А., Сайрахмонов Р.Х., Камолов С.Г. // Вестник Таджикского технического университета, серия 1(21), Душанбе: «Шинос», 2013. – С.49 – 52.
6. Шарифов А. Коррозионностойкость бетона на цементе с кремнезёмсодержащим минеральным наполнителем / Шарифов А., Акрамов А.А, Саидов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 121–125.
7. Акрамов А.А. Водонепроницаемость бетона с одинарными и комплексными добавками / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(53), Душанбе: «Шинос», 2021. – С. 107–111.
8. Акрамов А.А. Водонепроницаемость бетонов с добавками из местного сырья /Акрамов А.А. // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе: «Фархунда М», 2023. Том 2, №4 – С. 72-76.
9. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 180-183.
10. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 317 с.
11. Структура и свойств цементных бетонов / А. Е. Шейкин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

12. Бетонные и железобетонные конструкции, основные положения: СП 63.13330.2012: Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М: Минрегион России, 2012. – 148 с.
13. Баженов Ю. М. Технология бетона: Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
14. Беркман А. С., Мельникова Е. Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. – М.: Госстройиздат, 1962. – 165 с.
15. Barrer R. M. 1953. A new approach to gas flow in capillary systems // J. Phys. Chem. – 1953. – Vol. 57. – P. 35.
16. Лейбзон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: ОГИЗ Гос. изд. тех.-теор. литературы, 1937.
17. Баррер Р. М. Диффузия в твердых телах: [пер.с англ.] / Р. М. Баррер. – М., 1958 – 390 с.
18. Flood T. F. The solid-gas interface. – М.: Dekker, 1967.
19. Decey J. R. Colstowns Symposium. – Bristol, 1958.
20. Manengold T., Solf K., Die Zechnerische und experementalle Bestimmung des Hohlraumvolumens in kompakterMaterie. – Kolloid Z., 1937, Bd.81.
21. Рейтлингер С. А. Проницаемость полимерных материалов. – М., 1974. – 272 с.

**МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT
AUTHOR**

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич | Акрамов Авазжон Абдуллоевич | Akramov Avazjon Abdulloevich |
| 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 им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: akramov.avaz@mail.ru | | |

ВЛИЯНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ТВОРЧЕСТВА НА ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ГОРОДА (на примере города Душанбе)

Дж.Ш. Ганизода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье исследуется интеграция искусств в архитектурный облик Душанбе, анализируются исторические этапы развития этого взаимодействия и преемственность в области архитектурно-декоративного и монументального искусства, а также определены направления для поиска новых творческих решений, соответствующих современным задачам художественного преобразования городской среды. Отмечается, что 80-е и 90-е годы XX века характеризуются не только интенсивным поиском синтеза искусств и архитектуры в городской среде, но и определением своеобразия в облике крупных архитектурно-художественных комплексов и ансамблей.

Ключевые слова: синтез, изобразительное искусство, история архитектуры, монументальная живопись, художественно-декоративные традиции, дизайн и скульптура.

ТАЪСИРИ ЭҶОДИЕТИ БАДЕӢ БА ТАШАККУЛИ СИМОИ МЕӢМОРИИ ШАӢР (дар мисоли шаҳри Душанбе)

Ҷ.Ш. Ғанизода

Дар мақола хусусиятҳои синтези санъат дар муҳити меъморӣ шаҳри Душанбе баррасӣ карда мешавад. Таҷрибаи ҷамъшуда, марҳилаҳои рушд, ҳамкорӣ ва пайдарпай дар соҳаи санъати меъморӣ-декоративӣ ва монументалӣ таҳлил карда шуда, инчунин самтҳо барои ҷустуҷӯи ҳалҳои нави эҷодӣ, ки ба вазифаҳои муосири тағйиребии бадеии муҳити шаҳрӣ мувофиқат мекунад, муайян карда шудаанд. Қайд карда мешавад, ки солҳои 80 - ум ва 90-уми асри XX на танҳо бо ҷустуҷӯи интенсивии синтези санъат ва меъморӣ дар муҳити шаҳрӣ, балки бо муайян кардани ҳосият дар симои маҷмааҳо ва ансамблҳои калони меъморӣ ва бадеӣ хос мебошад.

Калидвожаҳо: меъморӣ, синтез, санъат, фарҳанг, таърихи меъморӣ, рассомӣ, ҳайкалтарошӣ, анъанаҳои бадеӣ-декоративӣ, дизайн.

THE INFLUENCE OF ARTISTIC CREATIVITY ON THE FORMATION OF THE ARCHITECTURAL APPEARANCE OF THE CITY (on the example of the city of Dushanbe)

J.Sh. Ghanizoda

The article examines the integration of the arts into the architectural appearance of Dushanbe, analyzes the historical stages of the development of this interaction and continuity in the field of architectural, decorative and monumental art, and identifies areas for finding new creative solutions that meet the modern challenges of artistic transformation of the urban environment. It is noted that the 80s and 90s of the twentieth century were characterized not only by an intensive search for a synthesis of art and architecture in the urban environment, but also by the definition of originality in the appearance of large architectural and artistic complexes and ensembles.

Keywords: synthesis, fine art, history of architecture, monumental painting, artistic and decorative traditions, design and sculpture.

Введение

Пространство и среда современного города — это сложная система, где физическая структура (улицы, площади, здания, парки и. т. д.), так и визуальное (на примере города Душанбе) неразрывно связаны с его культурным и историческим образом, а также с социальными процессами и личным опытом жителей, создавая уникальное единство места, событий и личностей.

Искусство во всем его многообразии должно прийти на помощь техники и технологии, потому что без него сама по себе техника не способна создать человеку тот мир, которого он заслуживает и за который борется. В современном городе нужна слаженная система архитектуры и искусства, подчиненная ясно выраженной цели и конкретным задачам. Поэтому архитектурно-художественный синтез возникает как объективная необходимость нашего общества и его культуры.

80-е и 90-е годы XX века характеризуются не только интенсивным поиском синтеза искусств и архитектуры в городской среде, но и определением своеобразия в облике крупных архитектурно-художественных комплексов и ансамблей. Одним из первых крупных монументальных ансамблей в Душанбе стал памятник, посвященный 100-летию Садриддина Айни на одноименной площади. Здесь в начале 80-х годов был создан монументальный комплекс как элемент градостроительной композиции: скульптурный портрет С. Айни был дополнен тремя скульптурными композициями, раскрывающими социально-исторические этапы жизни таджикского народа, которые так великолепно описал писатель. Эти композиции («Освобождение». «Установление Советской власти» и «Одина») окружают монумент писателя и вместе с фонтанами, лестницами, пандусом и другими формами составляют монументальную единую группу, проникнутую эмоциональным содержанием. В 1980 году авторы (архитекторы Р. Каримов, А. Агаронов, скульптор О. Эльдаров) этого архитектурно-скульптурного ансамбля стали лауреатами Государственной премии СССР [4, 5, 8].

Методы и результаты исследования

Для создания целостного архитектурного произведения с помощью синтеза искусств необходимо, чтобы изобразительное искусство и дизайн не просто сосуществовали с архитектурой, а были с ней единым целым, образуя новый, цельный художественный ансамбль. Синтез искусств - это не просто механическое сложение отдельных видов, а создание единого целого, где все его части взаимосвязаны и образуют новое, качественно единое художественное явление. Подлинный синтез искусств - это не просто сумма произведений, а создание нового уровня художественного развития, основанного на их взаимодействии, а составляющие компоненты порождают новое эстетическое качество из их взаимодействия. Для успешного функционирования художественного облика в архитектурном ансамбле необходимо, чтобы входящие в него виды искусства обладали особыми свойствами. Например, расположенные на фасадах зданий должны быть монументальными и декоративными, чтобы соответствовать своей роли (рис.1), [1,2,4].

Забота о художественном облике столицы Таджикистана города Душанбе, о создании идейно-национального произведения художественно-прикладного искусства стала важной задачей. В этом контексте Лидер нации, Президент Республики Таджикистан уважаемый Эмомали Рахмон подчеркнул в **своем Послании Парламенту страны 26 декабря 2019 г.**, что соответствующим органам необходимо в ходе разработки и реализации планов городов, поселков и селений страны планирование и строительство социальных и туристических и других объектов обеспечивать с обязательным соблюдением правил и норм градостроительства с широким использованием национальных и современных архитектурных элементов, современных технологий и качественных строительных материалов [6]. Новые жилые здания и сооружения - все, что сейчас создается и строится в городе Душанбе, должно отвечать не только целям создания наиболее оптимальных условий для быта, но и отвечать требованиям элементов изобразительного искусства и в целом культуры таджикского народа.



Рисунок 1 – Фрагмент фасада здания Дома писателей в г. Душанбе

Новая историческая эпоха, наступившая в начале 1990-х годов, определила особый характер процесса сохранения и развития традиционного прикладного искусства в городе Душанбе. Слияние изобразительных искусств в архитектурных проектах города, архитектурная среда или дизайна для создания единого художественного образа в городском пространстве через синтез искусств. Приступая к анализу взаимодействия и формирования синтеза искусства и архитектуры Душанбе 1990-х XX века, надо отметить, что было создано немало выдающихся произведений в развитии архитектуры и монументально-изобразительного искусства. Анализы показали, что при широком обращении к синтезу искусств и активизацией работы архитекторов, художников-монументалистов, дизайнеров накоплен большой творческий опыт совместной работы.

Развитие архитектуры значительно расширило возможности и самостоятельность пластических видов искусства в процессе их взаимодействия с градостроительством. В этот период произошел отказ от жесткого диктата архитектуры, что позволило монументальной живописи и скульптуре обрести более свободные и

равноправные отношения с архитектурным окружением по сравнению с прежними временами. Раскрылись совершенно новые условия восприятия изобразительных искусств. Становление новых форм синтеза искусств происходит на фоне бурного развития архитектуры и градостроительства нашей родной столицы - города Душанбе.

Построенный в 1999 году архитектурно-скульптурный ансамбль с мемориальным комплексом Национального согласия и возрождения Таджикистана на площади Дусти города Душанбе под руководством Б. А. Зухурдинова и скульптора И. Е. Кербеля считается первым проектом, который ознаменовал начало возрождения и определил новое стилевое направление в Таджикистане. (рис.2) [3, 8, 10].



Рисунок 2 - Архитектурно-скульптурный ансамбль с мемориальным комплексом Национального согласия и возрождения Таджикистана

За эти годы в практике градостроительства города Душанбе прошли изменения в современной застройке настолько радикально, что требуется пересмотр прежних эстетических концепций, таких как периметральная застройка и симметрические оси. Проблема в том, что классические приемы 80-90 годы устарели, а новые принципы композиции еще не сформировали целостную художественную систему.

Вместе с тем в Душанбе возведены здания, имеющие свое индивидуальное лицо, отличающиеся современным архитектурным решением, например, Дворец нации, Кохи «Навруз», Исмаилитский культурный центр, отели Серена (Serena Hotel), Хайат (Hyatt Regency), Хилтон (Hilton), и многие другие возведенные местными и зарубежными специалистами (рис.3) [7,8].

Современный синтез искусств развивается, в то время как архитектура и градостроительство параллельно осваивают новые средства выражения, решают экономические и иные сложные задачи. При этом наиболее наглядно тема единства архитектуры и искусства раскрывается через идею синтеза, глубоко укорененную в истории таджикской культуры. По нашим анализам, вышеприведённые объекты — это один из успешных примеров теории синтеза искусств в архитектуре Таджикистана на практике.



Рисунок 3 - Кохи «Навруз», Исмаилитский культурный центр, отель Серена (Serena Hotel)

Совершенно ясно, что на фоне изменений в архитектуре и градостроительстве остро встает вопрос о разработке новых форм взаимодействия искусств. Сегодня синтез искусств должен строиться, в первую очередь на сочетании прежде всего идейности национального изобразительного искусства с учётом передовых технологий в сфере. При этом синтез искусств, архитектурно-художественная целостность, как гармоничное сочетание архитектурных форм с художественным оформлением (цветом, декором), создают единое целое.

Значение синтеза искусств и архитектуры в городе Душанбе, как нам кажется, следует искать в органическом решении всей пространственной среды, а не в украшении и декорировании отдельных сооружений [5].

Содержательность монументально-декоративного искусства, конечно, нельзя ограничивать только сюжетно-изобразительной стороной произведения. Она должна быть присуща и чисто декоративным работам, и даже отвлеченной орнаментике, поскольку все это служит раскрытию общего замысла архитектурного сооружения, способствует созданию и разнообразности аргументации идей.

Обсуждения

К сожалению, в нашей практике именно эта сторона национальной идеи монументально - прикладного искусства недостаточно развита.

Для облика города Душанбе остается очень актуальная задача — это обеспечение гармонии цветовых решений в архитектуре и взаимосвязь с другими видами искусства, которые являются ключевой задачей для современного градостроительства. Сегодня в нашей отрасли, в том числе градостроительстве, архитектуре и дизайне нет единого взгляда на проблему цвета. На практике больше всего яркие локальные акценты, в окраску которых кое-где врываются светло-белые здания. В нынешнее время возможности использования цвета неограниченно велики, поэтому с учётом определённых правил цвет должен стать важным средством воздействия на создание определенных настроений в соответствии с общим замыслом объекта, основанного на взаимодействии дизайна [5,9,10].

Взаимодействие искусств и вообще всех видов художественного творчества в таком широком контексте - задача невиданной сложности. Совершенно очевидно, что для ее реализации необходимы детальный план и разработка проектной документации, которые отражали бы общий замысел и где определяется общий замысел, а сотрудничество с архитекторами, дизайнерами, художниками и другим специалистами необходимы для создания этого замысла и его последующей реализации.

Заключение

Таким образом, в архитектурно-художественном синтезе города Душанбе в структуре его контекста проявляется как эволюционное объединение прошлого и настоящего, так и сознательное включение историко-национальных элементов и мотивов в современные проекты. Архитектор - дизайнер, обращаясь к истории места, создает произведение, которое подчеркивает идею передачи неких ценностей, идей и стилей от одного поколения к другому.

Рецензент: Муқимова С.Р. —доктор архитектуры, и.о. профессора кафедры «Архитектура и градостроение», ПИПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Хасанов А., Вишневский А. Сталинабад - столица Таджикской ССР. - Сталинабад: Таджикгосиздат, 1959. - 350 с., ил.
2. Веселовский В.Г. Архитектура Советского Таджикистана. [Текст] / В.Г. Веселовский, Р.С. Мукимов, М.Х. Мамадназаров, С.М. Мамаджанова - М.: Стройиздат, 1987. -319 с, ил.
3. Мукимов Р. Ганиев Дж. Символ Единства и Согласия (Традиции в архитектуре Мемориального комплекса Исмоили Сомони в Душанбе). Под ред.академика Н.Н. Негматова. – Душанбе, Мерос: 2000. -32 с. 5 ил.

4. Мамаджанова С., Мукимов Р., Ганиев Д. Синтез искусств и архитектуры Таджикистана (проблемы развития, взаимодействия и преемственности). – Душанбе, 2006. - 187 с. ил.
5. Мамаджанова С., Тиллоев С. Архитектура общественных зданий Душанбе XX века - Душанбе АН РТ, 2007 - 262 с, ил.
6. Послание Президента Республики Таджикистан «О направлениях внутренней и внешней политики Республики Таджикистан» (г. Душанбе, 26 декабря 2019 г.). – Душанбе: Шарки озод, 2019. – 47 с.
7. Мукимов Р. С., Мамаджанова С. М. Архитектура Таджикистана. Душанбе: 2024. - 444 с., 161 ил.
8. Мукимов Р. С., Мамаджанова С., Ганизода Д. Ш. Кафили ягонагӣ ва ризоят. - Душанбе: 2024. - 122 с. (на таджикском языке).
9. Тиллоев С.С. История становления и развития архитектуры общественных зданий Душанбе: (1924 - начало 2000 гг.). - Автореф. дисс. канд. исторических наук. - Душанбе., 2007. - 21 с.
10. Эмомова Ф.Ё. Взаимодействие искусств и архитектуры Таджикистана во второй половине XIX - начале XXI вв. (формирование и развитие). - Автореф. дисс. канд. архитектуры. - Душанбе., 2019. - 21 с.

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

| TJ | RU | EN |
|---|---|--|
| Ғанизода Ҷамшед Шӯҷоат унвонҷӯй | Ганизода Джамшед Шуджоат соискатель | Ganizoda Jamshed Shujoat applicant |
| 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: jamna@mail.ru | | |

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Р.Х. Сайрахмонов, Дж.Х. Саидзода, Дж.А. Бердиев, Я.Г. Назиров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются вопросы экономической эффективности и экологических преимуществ применения холодного асфальтобетона в дорожном строительстве Республики Таджикистан. А также рассмотрен опыт применения холодного асфальтобетона в условиях Таджикистана с акцентом на местные материалы, климат и экономические факторы. Показаны возможности снижения себестоимости строительства, сокращения энергозатрат и уменьшения вредных выбросов за счет применения современных технологий и использования местных сырьевых ресурсов.

Ключевые слова: экономическая эффективность, экологические преимущества, местные материалы, экономические факторы, холодный асфальтобетон, строительство дорог, дорожное покрытие.

САМАРАНОКИИ ИҚТИСОДИ ВА АФЗАЛИЯТҲОИ ЭКОЛОГИИ ИСТИФОДАИ АСФАЛТБЕТОНИ САРД ДАР ШАРОИТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Р.Х. Сайрахмонов, Ҷ.Х. Саидзода, Ҷ.А. Бердиев, Я.Г. Назиров

Дар мақола масъалаҳои самаранокии иқтисодӣ ва афзалиятҳои экологӣ, истифодаи асфалтбетони сард дар сохтмони роҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ карда мешаванд. Инчунин таҷрибаи истифодаи асфалтбетони сард дар шароити Тоҷикистон бо таваҷҷӯҳ ба маводҳои маҳаллӣ, иқлим ва омилҳои иқтисодӣ баррасӣ гардид. Имкониятҳои кам кардани арзиши сохтмон, кам кардани хароҷоти энергия ва кам кардани партовҳои зараровар тавассути истифодаи технологияҳои муосир ва истифодаи захираҳои ашеи хоми маҳаллӣ нишон дода шудаанд.

Калимавожаҳо: самаранокии иқтисодӣ, афзалиятҳои экологӣ, маводи маҳаллӣ, омилҳои иқтисодӣ, асфалтбетони сард, сохтмони роҳҳо, роҳҳо.

ECONOMIC EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL ADVANTAGES OF USING COLD ASPHALT CONCRETE IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

R.H. Sairakhmonov, J.H. Saidzoda, J.A. Berdiev, Ya.G. Nazirov

The article discusses the issues of economic efficiency and environmental benefits, the use of cold asphalt concrete in road construction in the Republic of Tajikistan. The experience of using cold asphalt concrete in Tajikistan is also considered, with an emphasis on local materials, climate and economic factors. The possibilities of reducing the cost of construction, reducing energy consumption and reducing harmful emissions through the use of modern technologies and the use of local raw materials are shown.

Keywords: economic efficiency, environmental benefits, local materials, economic factors, cold asphalt concrete, road construction, road surface.

Введение

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из ключевых факторов устойчивого экономического роста Республики Таджикистан. В условиях ограниченных финансовых и энергетических ресурсов особую актуальность приобретает применение технологий холодного асфальтобетона, которые позволяют значительно снизить затраты и одновременно минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

В настоящее время, особенно с учетом дефицита органических вяжущих, важной проблемой экономии дорожно-строительных материалов является использование местных материалов. Этот путь является более приемлемым в сфере выпуска качественных битумов. Однако использование в битумном производстве Республики Таджикистан местных тяжелых нефтей является нерентабельным.

Перспективы увеличения выпуска битумов в республике в значительной степени связаны с созданием нефтеперерабатывающих заводов по выпуску битумов. Их можно сооружать на базе месторождения Хатлонской области. В настоящее время для развития дорожного хозяйства Таджикистана выпускают горячие асфальтобетонные смеси. В последние годы выпуск горячих асфальтобетонных смесей составлял около 4274,5 тыс. т. С каждым годом снижается поступление качественного битума и растет цена на его себестоимость. Поэтому вопросы экономии битума и снижения энергоемкости строительства, экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов имеют первостепенное значение для повышения эффективности дорожного строительства с точки зрения обеспечения его высококачественным материалом для покрытий [1-4].

Для устройства асфальтобетонного покрытия толщиной 5 см и шириной 7 м на 1 км требуется 250 м³ асфальтобетонной смеси, для приготовления которой необходимо 250-500 т песка, 35-150 т минерального порошка и 50-75 т битума. При этом энергозатраты составляют до 120 гдж.

Поиск экономичных с точки зрения материалоемкости и энергозатрат способов устройства дорожных одежд с применением битумо-минеральных смесей представляется одним из перспективных путей замены традиционных решений более прогрессивными. В этом направлении, в частности, выполнены работы по

исследованию холодного асфальтобетона. Для этого были построены опытно-производственные участки в разных районах республики и проведены наблюдения на них. На горных участках дорог обычно используют гравийные покрытия, обработанные битумом, которые устраивают в основном способом смешения на дороге, и покрытия из приготовленной на установке на АБЗ щебеночно-песчаной смеси с жидким местным битумом. Особенность таких смесей заключается в том, что их проектирование осуществляют в соответствии с требованием ВСН 123-75, а приготовление и применение соответствует технологии асфальтобетона.

Технология приготовления щебеночно-песчаных смесей с жидким местным битумом на установке наиболее близка к технологии приготовления холодных асфальтобетонных смесей.

Исследования, проведенные с участием автора, показывают, что физико-механические свойства холодных асфальтобетонов значительно выше, чем у щебеночно-песчаных смесей, обработанных вяжущим.

Ранее холодный асфальтобетон широко применялся в Республике Таджикистан, особенно при строительстве и капитальном ремонте дорог, расположенных на отметке выше 2500 м. Кроме того, в последние годы в Таджикистане было реализовано несколько пилотных проектов с применением холодных смесей. Особенно можно отметить, что в 2022 году использованы ХАБ с эмульсией ЭБК-1 для ямочного ремонта в условиях высокогорья автодороги Душанбе – Хорог.

В 2021 году испытан состав холодного асфальтобетона с применением минерального порошка из отходов цементного завода на городских улицах в Бохтарском районе. В 2020г. при устройстве покрытия дороги сельской местности в Раштском районе по упрощенной рецептуре с добавлением битума и дизельного топлива был получен холодный асфальтобетон.

Таблица 1 - Характеристики реализованных проектов с ХАБ

| Проект | Год | Протяжённость (км) | Тип смеси | Эффективность |
|-----------------------|------|--------------------|-------------------|---------------|
| Душанбе – Хорог | 2022 | 12 | ЭБК-1 + ПАВ | Высокая |
| Улица в Бохтаре | 2021 | 3 | ЭБК-2 | Средняя |
| Сельская дорога, Рашт | 2020 | 5 | Самодельная смесь | Умеренная |

В настоящее время имеются все возможности увеличить использование холодного асфальтобетона, так как в республике есть завод минерального порошка.

Одной из положительных особенностей холодного асфальтобетона является высокое содержание в нем щебня и меньшее количество минерального порошка и битума, что обеспечивает большую шероховатость и сдвигоустойчивость и, как следствие, лучшую ровность дорожных покрытий. Это особенно важно при строительстве автомобильных дорог в горных и высокогорных условиях Таджикистана [5-8]. Однако в области использования щебеночных смесей, обработанных органическими вяжущими, еще остается много неизученных вопросов. Примером является работа покрытий с конструктивными слоями из разных материалов, например, частные случаи, когда один слой (верхний) устроен из горячего асфальтобетона, а один или два (нижних) - из холодного. Технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства холодного асфальтобетона также до конца не изучены. Необходимо исследование поведения этого материала на различных высотах с целью уточнения области его применения, а также разработки рациональных конструкций дорожных одежд с минимизацией экономических, материальных и энергетических затрат.

Условия работы материала покрытий на разных высотах резко различаются по условиям воздействия температуры, влажности и солнечной радиации. В соответствии с этим технические требования к материалам для покрытий и, в частности к асфальтобетону должны различаться в зависимости от высоты расположения дороги над уровнем моря. Для обоснования этих требований необходимы выявление реальных особенностей службы асфальтобетонных покрытий на различных высотах и учет потенциальных возможностей материалов дорожного покрытия, проявляющихся в региональных особенностях природных условий.

Большая протяженность дорог в горных и высокогорных районах Республики Таджикистан, практически составляющих половину ее общей сети, и перспективы увеличения доли дорог с асфальтобетонным покрытием в этих районах в дальнейшем обуславливают необходимость особого подхода к требованиям, предъявляемым к свойствам асфальтобетона и строительства асфальтобетонных покрытий в увязке с вертикальным дорожно-климатическим районированием.

Опыт строительства асфальтобетонных покрытий и многолетние наблюдения за их работой убедили в необходимости дифференциации требований к асфальтобетону. Учитывая сложный горноклиматический рельеф, нестабильность температурных режимов и ограниченные ресурсы, холодные смеси становятся практичным и экономичным решением для строительства и ремонта дорог и аэродромных покрытий.

Таджикистан характеризуется горным рельефом, где более 93% территории занимают горы. На этой основе специфики дорожного и аэродромного строительства определяют различные природно-климатические перемены: -резкие перепады температур: от +45°С летом до -30°С зимой; -частые оползни, сели и снежные заносы; -сложности доставки горячих смесей в отдаленные и труднодоступные районы. В этих условиях холодный асфальтобетон позволяет производить ремонтные работы круглогодично, без необходимости в дорогостоящем оборудовании [5, 6, 9, 10].

Таблица 2 - Сравнение климатических условий и применимости ХАБ

| Регион Таджикистана | Средняя температура зимой (°C) | Применимость ХАБ | Проблемы внедрения |
|------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|
| ГБАО (Памир) | -25 | Высокая | Логистика, морозостойкость |
| Согдийская область | -5 | Средняя | Качество сырья |
| Хатлонская область | +3 | Высокая | Контроль технологии |
| Районы республиканского подчинения | -10 | Средняя | Обучение кадров |

Мировые практики производства и применения холодных асфальтобетонных смесей опираются на стандарты ASTM (США), EN (Европейский Союз), AASHTO (Северная Америка) и соответствующие технические регламенты международных организаций. Основные стандарты включают:

ASTM D711-метод испытания битумных эмульсий при температурах ниже +25 °C (испытание на разложение эмульсии, определение кинематической вязкости);

ASTM D977-спецификация на смесь эмульгированного битума (битумные эмульсии для холодных смесей);

EN 13073-характеристики асфальтобетона: определение плотности, водоудерживающей способности, сопротивления сдвигу;

AASHTO T59 -тест на определение клейкости эмульсионного битума;

AASHTO M140-спецификация на битумные эмульсии (категории и классы эмульсий).

Каждый из этих документов устанавливает требования к техническим характеристикам компонентов, методам их испытаний и допуски изготовленных смесей. Например, EN 13073 определяет: - гранулометрический состав минерального заполнителя; -метод определения плотности и водонасыщения образцов ХАБ; -сопротивление сдвигу при различных температурах; -испытания на морозостойкость (цикличность замораживания-оттаивания). Для Республики Таджикистан базовыми документами являются: **ГОСТ 9128-2013** «Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные» (поправки и дополнения, введенные в 2019 году для ХАБ); **СНИП 3.06.03-85** «Автомобильные дороги» (разделы, касающиеся ремонтных работ и применения холодных смесей); **РТ НД 01-05-15** «Технические рекомендации по применению холодного асфальтобетона в дорожном строительстве» (утверждены Минтрансом РТ, 2015).

Согласно ГОСТ 9128-2013, [11] ХАБ должны соответствовать следующим ключевым параметрам: -гранулометрический состав заполнителя: -фракции 5–20 мм (не более 15% зерен более 20 мм и менее 5% зерен менее 0,075 мм); -плотность смеси (давление 0,7 МПа, при температуре +20 °C): не менее 95% от расчетной удельной плотности; - водонасыщение (влажность после замораживания и оттаивания): не более 5%; -прочность при сжатии через 48 ч: не менее 2,5 МПа; - адгезия эмульсии к заполнителю: не менее 90% (определяется по методу обрыва эмульсии); -сопротивление колееобразованию (при температуре +50 °C): глубина колеи не более 8 мм для временных покрытий.

СНИП 3.06.03-85 устанавливает требования к основанию и подготовке к укладке ХАБ: -основание должно быть очищено от пыли, грязи и влаги; -грунтовая основа должна иметь песчаное выравнивающее покрытие толщиной не менее 5 см; -контроль ровности основания по 3-м точкам на длине 3 м не более 5 мм; -температурный диапазон работ: от +5 до +30 °C, при снижении температуры ниже +5 °C требуется применение морозостойких материалов.

Несмотря на все преимущества холодного асфальтобетона (ХАБ), данная технология имеет ряд существенных ограничений и недостатков, которые необходимо учитывать при её применении и совершенствовании. Холодный асфальтобетон характеризуется более длительным временем твердения по сравнению с горячими смесями. Это связано с необходимостью испарения влаги и разрыва битумной эмульсии. Длительное ожидание перед открытием дороги для интенсивного движения (до 48 часов и более). Риск негативного воздействия атмосферных осадков в период отверждения. Увеличение времени простоя техники и резервирования участков. Добавление химических реагентов и полимеров (латекс, СБС-модификаторы) позволяет ускорить разрыв эмульсии и повысить скорость набора прочности. Повышение доли минерального порошка улучшает структуру и ускоряет процесс затвердевания. Холодный асфальтобетон может терять прочностные характеристики при длительном воздействии низких температур и влаги. Повышенная вероятность образования трещин при циклах замораживания-оттаивания - уменьшение адгезии битума к заполнителю в условиях высокой влажности. Для этого применяют в его состав адгезионные добавки. При этом необходимо выключать морозостойкие добавки. Использование целлюлозных волокон, модифицированных синтетических волокон (полипропиленовые, полиэфирные), повышающих морозоустойчивость. Добавление гидрофобизаторов (ватерпруфов) и модификаторов, снижающих водопоглощение, например, разновидности ПАВ-ы для снижения содержания пор в смеси. Оптимизация

гранулометрического состава заполнителя и увеличение минерального порошка уменьшают пористость и снижают риск проникновения влаги. Холодные смеси обладают более низкой прочностью и устойчивостью к деформациям при высоких нагрузках. Для этого они непригодны для магистральных дорог с высокой интенсивностью движения. Для этих целей в производственных условиях необходимы ограничения толщины слоя до 3–5 см для временных покрытий. Для этого надо в его составе использовать армирующие фибровые добавки. Введение в смесь армирующей фибры (стекловолокно, полипропилен) повышает сопротивление растяжению и прочность на изгиб. Кроме того, можно их применять в виде слоистой конструкции. ХАБ укладывается в качестве выравнивающего слоя поверх бетонного или горячего основания, что снижает нагрузку на холодное покрытие. Обеспечение качественного основания (гравийная или песчаная подушка) снижает осевые нагрузки.

Недостаточная локализация производства жидких битумов и битумных эмульсий приводит к росту себестоимости и логистическим сложностям. Ограниченное количество производителей не всегда соблюдается требованиями по качеству. Затруднённая логистика в горных районах. Отсутствие чётких нормативных документов по ХАБ и недостаточный уровень подготовки специалистов замедляют распространение технологии.

Несмотря на очевидные преимущества существует ряд проблем при реализации холодного асфальтобетона в Республике Таджикистан: -низкий уровень подготовки персонала; -ограниченное количество сертифицированных лабораторий; -недостаточная нормативная база и стандарты.

Однако Государственная программа по развитию дорожной инфраструктуры на 2021–2030 гг. включает меры по внедрению энергосберегающих технологий, в том числе и холодного асфальтобетона. На основе вышеизложенного можно отметить, что в перспективе для реализации применения холодного асфальтобетона в дорожном и аэродромном хозяйстве Республики Таджикистан надо предпринять следующие меры:

- создание мобильных установок по приготовлению ХАБ;
- поддержка НИИ и ВУЗов в разработке новых рецептур;
- подготовка специалистов и повышение квалификации.

Экономические аспекты

Одним из главных преимуществ ХАБ является возможность использования местных инертных материалов, таких как: -щебень из базальта и гранита (ближайших районов республики, имея в виду Файзабад, Варзоб); песок из долин рек Вахш, Сырдарья, Зарафшан, Варзоб, Сурхоб и др.; -минеральный порошок из отходов горной промышленности и местных известняков.

Таблица 3 - Доступность инертных материалов по регионам

| Регион | Типы местных материалов | Потенциал использования в ХАБ |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| Варзоб | Базальтовый щебень | Высокий |
| Худжанд | Гравий, кварцевый песок | Средний |
| Курган-Тюбе | Речной песок, известняк | Высокий |
| Нурек | Гранитный отсев | Средний |
| Рашт | Гранитный отсев | Средний |
| ГБАО | Гранитный отсев | Средний |

Технология холодного асфальтобетона основана на применении специальных органических и минеральных добавок, позволяющих производить и укладывать смесь при пониженных температурах. Это обеспечивает сокращение расхода топлива, уменьшение выбросов углекислого газа и других вредных веществ, а также снижение затрат на транспортировку и хранение материалов. Ассортимент органических вяжущих материалов можно расширить, создавая комплексные вяжущие на основе нефти и местных материалов. Применение холодного асфальтобетона позволяет снизить общую себестоимость дорожного строительства за счет уменьшения расходов на энергоносители и оптимизации производственного процесса. Особое значение имеет использование местного сырья и вторичных продуктов, что дополнительно снижает затраты.

Сравнительный анализ горячего и холодного асфальтобетона позволяет выявить ключевые преимущества и ограничения каждой технологии в контексте местных условий. В таблице 4 представлены основные параметры сравнения.

Таблица 4 - Сравнительная характеристика горячего и холодного асфальтобетона

| Показатель | Горячий асфальтобетон | Холодный асфальтобетон | Комментарии |
|---------------------------------|--|--|--|
| Температура приготовления (°C) | 140–160 | Окружающая (5–30) | ХАБ не требует подогрева, снижает энергозатраты |
| Энергозатраты (кВт·ч/т) | 120–150 | 10–20 | Экономия при применении ХАБ до 85% |
| Скорость набора прочности | 3–6 часов | 12–48 часов | Горячие смеси быстрее; ХАБ требует времени для отверждения |
| Срок хранения | До 12 часов | До 6 месяцев | ХАБ может храниться и транспортироваться дольше |
| Устойчивость к морозам | Ограниченная (требуется добавка) | Высокая (при использовании модификаторов) | ХАБ адаптирован к низким температурам |
| Экологичность | Средняя | Высокая | ХАБ снижает выбросы CO ₂ и ЛОС |
| Применение в отдалённых районах | Затруднено (необходим автомобиль-разогрев) | Легко (можно использовать при низких температурах) | Логистика ХАБ проще |
| Стоимость 1 т | 800–1000 сомони | 400–600 сомони | ХАБ дешевле ориентировочно на 30–50% |
| Долговечность покрытия | 5–7 лет | 2–4 года | ХАБ чаще используется во временных покрытиях |

Из таблицы видно, что горячий асфальтобетон обладает высокой скоростью набора прочности и долговечностью, но требует значительных энергетических и материальных ресурсов. Для постоянных и магистральных дорог он остаётся предпочтительным вариантом. Холодный асфальтобетон оптимален в следующих случаях:

- ямочный и аварийный ремонт;
- временные покрытия; дороги с низкой интенсивностью движения;
- условия ограниченной инфраструктуры.

Экономическая эффективность ХАБ определяется стоимостью сырья, оборудования и трудовых затрат. В Таблице 5 приведено сравнение затрат на 1 км дороги с шириной 3,5 м и толщиной покрытия 5 см.

Таблица 5 - Сравнение затрат на 1 км покрытия

| Показатель | Горячий АБ | Холодный АБ | Экономия |
|------------------------------|----------------|----------------|------------|
| Стоимость материалов (сомон) | 50 0000 | 30 0000 | 40% |
| Энергозатраты (сомон) | 15 0000 | 1 5000 | 90% |
| Транспортировка и логистика | 5 0000 | 3 000 | 40% |
| Рабочая сила и техника | 10 0000 | 7 0000 | 30% |
| Общие затраты (сомон) | 80 0000 | 41 5000 | 48% |

Проведенные исследования по экономическим аспектам применения холодного асфальтобетона позволили выявить основные пути снижения расхода энергии при строительстве асфальтобетонных покрытий в Таджикистане. К ним относятся:

1. Снижение дальности транспортирования материалов за счет: - более широкого использования местных материалов; - оптимизации места расположения АБЗ и выбора карьеров минеральных материалов; - применения передвижных АБЗ.

2. Снижение энергозатрат на сушку и нагрев материалов, используемых для приготовления асфальтобетонной смеси: - снижение температуры нагрева материалов за счет применения менее вязких битумов, введения ПАВ, использования активированных минеральных порошков (АМП); - применение холодных и теплых смесей; - улучшение условий хранения битума.

3. Сокращение удельного расхода битума, повышение качества и однородности смеси за счет: - применения ПАВ, АМП и активации минеральных материалов; - рационального подбора количества битума и минеральных материалов; - применения нефтяного гудрона.

4. Использование битумных эмульсий, приготовленных на местных недефицитных эмульгаторах.

5. Выбор оптимальных конструкций дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием с максимальным учетом местных условий.

6. Применение беспыльной двухступенчатой технологии приготовления асфальтобетонной смеси, а также токов сверхвысокой частоты и гелиоустановок для обезвоживания и нагрева битума и минеральных материалов.

Экологические аспекты

С экологической точки зрения холодный асфальтобетон обладает рядом преимуществ: сокращение выбросов парниковых газов, снижение уровня пыли и шума при строительстве, а также возможность повторного использования переработанных материалов. Это способствует улучшению экологической ситуации в регионах с интенсивным дорожным строительством. ХАБ отличается значительно более низким уровнем выбросов углекислого газа и летучих органических соединений. По данным экологических исследований, применение ХАБ сокращает выбросы CO_2 в среднем на 75–85% по сравнению с горячими смесями. Это подтверждается результатами учета энергетических затрат и количества используемого топлива. Выбросы CO_2 при приготовлении 1 т смеси: -горячий АБ: 120–140 кг CO_2 ; -холодный АБ: 20–25 кг CO_2 .

Выводы и рекомендации

Холодный асфальтобетон является перспективным материалом для дорожного строительства в условиях Республики Таджикистан. Его применение обеспечивает как значительный экономический эффект, так и экологические преимущества. Внедрение данной технологии позволит повысить эффективность использования ресурсов, сократить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить долговечность дорожных покрытий.

В результате проведенного исследования теоретических основ и современного состояния применения холодного асфальтобетона (ХАБ) нами были выявлены ключевые аспекты, которые необходимо учитывать при внедрении данной технологии в условиях Республики Таджикистан. Ниже приводятся основные выводы по подразделам 1.1–1.5 и их обобщение с учётом горноклиматических, экономических и социальных особенностей страны и при этом при его использовании надо учесть следующие рекомендации:

-при ремонте магистральных дорог рекомендуется использовать ХАБ для временных полос движения, что позволит сократить затраты и не останавливать транспортный поток;

-для сельских и второстепенных дорог ХАБ может использоваться как постоянный материал при условии использования модифицированных рецептур;

-необходимо обновлять нормативную базу, учитывая характеристики ХАБ, включая методы испытаний, требования к составу и технологии укладки.

Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература

1. Сайрахмонов Р. Х.; Умаров С. С.; Махмадов Ш. Р.; Зайниддинов Т. Н. Применение отходов алюминиевого производства в составе цемента и асфальтовяжущего для дорожного строительства / Сайрахмонов Р. Х.; Умаров С. С.; Махмадов Ш. Р.; Зайниддинов Т. Н. // Политехнический вестник (ТТУ). Сер. Инженерные исследования. – 2016. – № 2(34). – С. 73–79.

2. Сайрахмонов Р. Х.; Исмоилзода Л. С.; Умаров С. С.; Бобоев Х. К.; Нуров Ф. Повышение устойчивости дорожных асфальтобетонов посредством комплексной добавки на основе госсиполовой смолы / Сайрахмонов Р. Х.; Исмоилзода Л. С.; Умаров С. С.; Бобоев Х. К.; Нуров Ф. // Политехнический вестник (ТТУ). Сер. Инженерные исследования. – 2018. – № 4(44). – С. 80–83.

3. Сайрахмонов Р. Х.; Исмоилзода Л. С.; Бобоев Х. К.; Умаров С. С. Климатические факторы, влияющие на состояние автомобильной дороги в сложных горно-геологических условиях Республики Таджикистан / Сайрахмонов Р. Х.; Исмоилзода Л. С.; Бобоев Х. К.; Умаров С. С. // Вестник Таджикского национального университета. Сер. геологических и технических наук «Наука и инновация». – 2019. – № 3. – С. 3–10.

4. Сайрахмонов Р. Х.; Умаров С. С. Повышение адгезионных свойств битумов путём применения комплексной добавки / Сайрахмонов Р. Х.; Умаров С. С. // Политехнический вестник (ТТУ). Сер. Инженерные исследования. – 2021. – № 3(55). – С. 90–94.

5. Сайрахмонов Р.Х., Асад Т. Теоретические аспекты и эффективность применения вторичного сырья и побочных продуктов промышленности органического происхождения в дорожном строительстве / Сайрахмонов Р.Х., Асад Т. // Политехнический вестник. Серия инженерные исследования №3 (59) – 2022г. С.138-142

6. Асад Т., Юнусов М., Сайрахмонов Р.Х. Теоретические аспекты экспериментальных исследований влияния комплексной добавки различного функционального назначения на свойства дорожного битума / Асад Т., Юнусов М., Сайрахмонов Р.Х. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования №1 (49) – 2020г. Ст.123-128

7. Нурматов Г.Н., Сайрахмонов Р.Х. Теоретические аспекты экспериментального исследования и эффективность использования сдвигоустойчивых асфальтовых бетонов для покрытия дороги в условиях жаркого климата. / Нурматов Г.Н., Сайрахмонов Р.Х. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования №1 (49) – 2020г. Ст.107-112

8. Сайрахмонов Р.Х., Исмоилзода Л.С., Бобоев Х.К. Комплексные добавки на основе гоSSIPоловой смолы для повышения устойчивости асфальтобетона Сайрахмонов Р.Х., Исмоилзода Л.С., Бобоев Х.К. Конференция МАДИ, подсекция «Изыскания и проектирование дорог». Под научной редакцией П.И. Пospelова. Москва, 2020. С. 48-52.

9. Асад Т., Сайрахмонов Р.Х., Умаров С.С., Асфальтобетон с добавками на основе отходов промышленности и вторичного сырья. / Асад Т., Сайрахмонов Р.Х., Умаров С.С. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 1 (61), - Душанбе, - 2023. С.237-239. ISSN: 2520-2227

10. Сайрахмонов Р.Х., Шарифов Ф.А., Шарифов А.Ш. Пути повышения качества асфальтобетонных смесей, содержащих гранулят старого асфальтобетона. Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 1 (61), - Душанбе, - 2023. С.225-230. ISSN: 2520-2227.

11. ГОСТ 9128-2013. Смесей асфальтобетонные, асфальтобетон и материалы органоминеральные для дорожного и аэродромного строительства. – М.: Стандартинформ, 2014. – 32 с.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Сайрахмонов Раҳимҷон Хусейнович | Сайрахмонов Рахимджон Хусейнович | Sayrakhmonov Rahimjon Huseynovich |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E.mail: srivakn@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Саидзода Чамшед Ҳамро | Саидзода Джамшед Ҳамро | Saidzoda Jamshed Hamro |
| д.и.т., профессор | д.т.н., 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: Jamshed66@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Бердиев Чамшед Анварович | Бердиев Джамшед Анварович | Berdiev Jamshed Anvarovich |
| Докторанти PhD | Докторант PhD | PhD student |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E.mail: srivakn@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Назирова Яхё Гиёҳович | Назирова Яхё Гиёҳович | Nazirov Yahyo Giyohovich |
| н.и.т., и.в. дотсент | к.т.н., и.о. доцента | candidate of technical sciences, acting associate professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E.mail: yakhyo80@gmail.com | | |

МОНУМЕНТАЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОЕ ИСКУССТВО КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Дж.Ш. Ганизода

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В данной статье рассматривается роль монументально-декоративного искусства в формировании эстетического облика городской среды города Душанбе. Автор анализирует историко-культурные предпосылки развития художественного оформления города, влияние скульптурных композиций, мозаик, панно и архитектурной пластики на восприятие городской идентичности. Приводятся примеры интеграции произведений монументального искусства в структуре общественных пространств столицы, их взаимодействие с архитектурой и влияние на формирование эмоционально-психологического фона городской среды. Подчеркивается значение художественно-пространственной гармонии в формировании выразительной, узнаваемой и культурно насыщенной городской атмосферы. Статья акцентирует внимание на необходимости сохранения и обновления традиций монументального искусства как важного инструмента градостроительной политики.

Ключевые слова: архитектура, синтез, искусство, архитектурная среда, монументальное искусство, декоративный рельеф, роспись, витраж, художественно-декоративные панно, архитектурно-скульптурные композиции, дизайн.

САНЪАТИ МОНУМЕНТАЛӢ-ДЕКОРАТИВӢ ҲАМЧУН ОМИЛИ ТАШАККУЛИ МУҲИТИ ШАҲРӢ Ҷ.Ш. Ганизода

Дар мақолаи мазкур нақши санъати монументалӣ-декоративӣ дар ташаккули симон эстетикӣи муҳити шаҳри Душанбе баррасӣ карда мешавад. Муаллиф пешгузҳои таърихӣ ва фарҳангии рушди ороиши бадеии шаҳр, таъсири композитсияҳои ҳайкалтаҷрибӣ, мозаикаҳо, панно ва пластикаи меъморий ба дарки хувияти шаҳрро таҳлил мекунад. Намунаҳои ҳамгироии асарҳои санъати монументалӣ ба сохтори фазои ҷамъиятии пойтахт, ҳамкориҳои онҳо бо меъморий ва таъсири онҳо ба ташаккули заминаи эҳсосӣ-психологӣи муҳити шаҳрӣ оварда шудаанд. Аҳамияти ҳамоҳангии бадеӣ-мақонӣ дар ташаккули фазои муассир, шинохташуда ва фарҳангии шаҳр таъкид карда мешавад. Мақола ба зарурати ҳифз ва наवсозии анъанаҳои санъати монументалӣ ҳамчун воситаи муҳими сиёсати шаҳрсозӣ диққат медиҳад.

Калидвожаҳо: меъморий, синтез, санъат, муҳити меъморий, санъати монументалӣ, рельефи ороишӣ, расмкашӣ, витраж, панноҳои бадеӣ-декоративӣ, композитсияҳои меъморий-скульптурӣ, дизайн.

MONUMENTAL AND DECORATIVE ART AS A FACTOR IN THE FORMATION OF THE URBAN ENVIRONMENT

J.Sh. Ghanizoda

This article examines the role of monumental and decorative art in shaping the aesthetic appearance of the urban environment of Dushanbe. The author analyzes the historical and cultural prerequisites for the development of the artistic design of the city, the influence of sculptural compositions, mosaics, panels and architectural plastics on the perception of urban identity. Examples of the integration of works of monumental art into the structure of public spaces of the capital, their interaction with architecture and influence on the formation of the emotional and psychological background of the urban environment are given. The importance of artistic and spatial harmony in the formation of an expressive, recognizable and culturally rich urban atmosphere is emphasized. The article focuses on the need to preserve and update the traditions of monumental art as an important tool of urban planning policy.

Keywords: architecture, synthesis, art, architectural environment, monumental art, decorative relief, painting, stained glass, decorative panels, architectural and sculptural compositions, design.

Введение

Монументально-декоративное искусство — это вид изобразительного искусства, произведения которого крупномасштабны и значимы по замыслу, созданы для интеграции в определенную архитектурную среду и служат ключевым элементом (пластическим или смысловым) в ансамбле. Монументально-декоративное искусство тесно связано с архитектурой: архитектурные условия диктуют жанр, тему и художественное решение произведений, созданных для украшения зданий и сооружений. К нему относятся как скульптурные элементы (памятники, рельефы), так и живописные (фрески, мозаики, витражи), а также весь городской дизайн среды. Поэтому вне зависимости от того, что представляет собой монументально-декоративная творческая деятельность (памятник, декоративный рельефы и горельефы, и т.д.), она должна быть вписана в пространственное окружение, и чрезвычайно важно, чтобы она воздействовала на эмоциональное восприятие жителей города [1, 3, 12]. А также реализация произведения изобразительного искусства или дизайн-произведения должна происходить при формировании взаимодействия всех звеньев единой системы города: архитектор, художник – дизайнер, произведения - человек.

Методы и результаты исследования

Монументально-декоративное искусство — это качество творческого произведения, которое достигается за счет величия, масштабности, и характеризуется следующими основными чертами монументальности:

- произведение должно произвести впечатление своей грандиозностью, мощью и размерами;

- содержание произведения своей передачей ощущения мощи должна нести в себе важный общественный идеал и историческое значение;
- идеи должны выражаться в крупных, обобщенных формах, что придает произведению значимость и величие.

Главное в монументальности — это масштабное обобщение и передача великой идеи или символа, а не мелкие детали, что делает произведение понятным и значимым для широкого круга зрителей. Таким образом, монументально-декоративное искусство выступает и как монументальная форма изображения - фактор синтеза художественных средств всех пространственных искусств, например, на базе архитектурного ансамбля, и как качество изображения, проникающее в его выразительную систему. В этом отношении надо различать монументальность формы объекта и монументальность качества изображения. То же самое относится и к декоративности, которая аналогично может определяться как на основе видовой классификации изображения (декоративно-прикладное и монументально-декоративное искусство), так и с опорой на качественные признаки изображения.

Вопросы архитектурного синтеза и участия монументально-декоративного искусства, как фактор формирования городской среды в Таджикистане, остаются актуальными. Чем шире практика художественных работ в архитектуре, чем разнообразнее участие различных видов искусства в создании жизненной среды, тем необходимее обсуждение и анализ многих нерешенных проблем синтеза архитектуры, монументального и декоративного искусства.

Можно рассмотреть ряд выполненных художниками монументалистами монументально-декоративных композиций в городе Душанбе и в других городах и районах Таджикистана, изучение различных приемов и материалов для дизайна оформления городских интерьеров и ландшафтов. Вместе с тем сочетание функциональности архитектуры и применение художественных приемов определяли визуальные образы зданий.

Обсуждения

В 70-80-е годы XX века отмечалось широкое обращение к синтезу искусств, активизации работы архитекторов, художников-монументалистов и народных мастеров; накоплен большой творческий опыт совместной работы, создано немало выдающихся произведений, например, молодых художников-монументалистов С.Н. Шарифова, С. Курбанова, Ю. Сангова, Дж. Расулова, В. Одинаева и др., что можно назвать одним из столпов современной культуры Таджикистана, которые в 70-80-е гг. XX века стремительно обрели славу как мастера - монументалисты.

Культ их авторской личности весьма значителен, может быть потому, что в каком-то смысле их работы, исполненные инновационными идеями, содержали в себе созидательный национальный дух. Как известно, утверждение национальных традиций в культуре Таджикистана началось в 60-е г. XX в. Но креативная, новаторская их интерпретация связана именно с 70-80-х гг. XX в. Новое поколение видело мир по-иному и стало работать иначе, чем те, кто перестраивал основы советского искусства в 1960-е годы.

Работы народного художника Таджикистана С. Н. Шарифова весьма своеобразны и фактурно богаты. В монументально-декоративном решении развития зодчества современного Таджикистана решили использовать дружбу и сотрудничество с народными мастерами - резчиком по дереву С. Нуриддиновым и керамистом В. Одинаевым. Прежде всего их объединяло то, что все они были укоренены в таджикской культуре и хорошо ее знали. Первая совместная деятельность во главе с С. Нуриддиновым - это оформление Дома быта в городе Душанбе, главный акцент был сделан на традицию с учетом новых стилевых направлений. Специалистом воспринималось оформление с большим количеством декора и элементов дизайн-интерьера с применением декоративной росписи или многоцветного настенного украшения, особенно резьбы по ганчу и сюжетных резных композиций из дерева. Из уст народного художника Таджикистана С. Шарифова, «...этой идее в полном объеме не суждено было осуществиться из-за существовавших тогда административных барьеров». Позже своеобразным экспериментальным полем для них стало комплексное художественное оформление гостиницы «Таджикистан» (1974-1975). Все идеи его декоративного убранства были воплощены не в полной мере. (рис. 1) [5, 6, 8, 11].

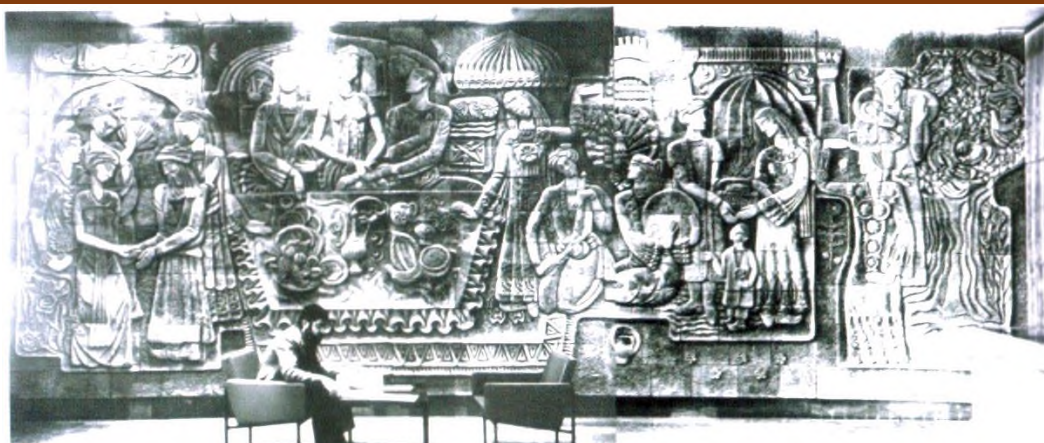


Рисунок 1 - Керамическое панно «Гостеприимство» интерьера гостиницы «Таджикистан» (1974-1975)

К значительным достижениям монументально-декоративного искусства С.Н. Шарифова, особенно в области монументального искусства рубежа XX-XXI вв., относится ряд объектов, среди которых следует особо выделить тематические мозаичные панно из смальты на фасаде Алюминиевого завода города Турсунзаде «Укрощение огня» 1999 года, художественное оформление Киноконцертного зала «Борбад» и «Древо поэзии» 2008 года (на арке комплекса памятника Абуабдулло Рудаки города Душанбе) и другие (рис.2).



Рисунок 2 – А) Мозаичные панно на фасаде Алюминиевого завода города Турсунзаде «Укрощение огня» 1999 г., Б) Памятник Абуабдулло Рудаки в г. Душанбе, 2008 г.

Народным художником С. Шарифовым совместно с В. Одинаевым в период с 1983 по 1984 гг. было выполнено комплексное художественное оформление Государственного учреждения комплекса «Кохи Борбад» в городе Душанбе. Его фасад был украшен фризом - горельефом «Мир птиц» из бетона и терразита, монументально-декоративным барельефом «Ритмы солнца» украсили главный вход комплекса. А также они выполнили керамический горельеф «Муза» в главном фойе учреждения (рис.3).



Рисунок 3 – Горельеф «Муза» в фойе Государственного учреждения комплекс «Кохи Борбад», 1983-1984 годы.

Грандиозная композиция народного художника Таджикистана, лауреата Государственной премии имени Рудаки С. Н. Шарифова «Аз дида ба дида, аз давра ба давра» (роспись, смешанная техника, 1996-2011 гг.) в главном вестибюле Национальной библиотеки Таджикистана города Душанбе посвящена всем входящим под своды здания. Образы основаны на сложном ассоциативном строе мыслей и представлений автора. Вся плоскость панно, мерцающего золотым свечением, разбита на сегменты, окружности, дугообразные медальоны, в которые вписаны фигуры различных персонажей [10]. Такое сложное решение пространства потребовало от мастера большой творческой выдумки и точного расчета. Для подобной изобразительной идеи и размещения громадного количества персонажей в различных костюмах, движениях и позах, в разнообразных по форме замкнутых структурах необходимо было хорошее знание наследия, истории таджикского народа и большой опыт в оформлении масштабных площадей [8].

Очень интересна выполненная работа художника - монументалиста, народного художника СССР С. Курбанова - одного из наиболее одаренных мастеров республики с ярко выраженной индивидуальностью и своей художественной программой.

В разные годы он создает много монументальных произведений, одним из первых можно назвать - росписи «Советский Таджикистан» 1974 г. в Доме политпросвещения (ныне Государственное учреждение «Кохи Вахдат»). Через призму романтического восприятия мастер показывает драматические события истории. Героизация образов в его работах, как правило, влечет за собой монументализацию художественного строя. Она проявляется в чеканности линий и архитектурной моделировке формы [5, 9, 12].

Дизайн здания Госцирка в городе Душанбе (1979 г.) отличается ритмично, органичным слиянием всех элементов убранства. Деревянная решетка (панджара) мастера резьбы по дереву С. Нуриддинова вместе с остросюжетными керамическими рельефами В. Одинаева и С. Шарифова, художественными гобеленами Д. Абдусаматова охватывают кольцом пространство зрительного зала. Контраст между классическими темами и современными образными формами обогатили дизайн - оформление стандартного сооружения сделало его весьма привлекательно оригинальным [11]. В целом, правомерно говорить о единстве монументального и декоративного начала в художественном стиле Таджикистана. В этом объекте художники вместе с резчиком - орнаменталистом и мастерами гобелена создали серию пластических и живописных композиций в верхней галерее. Восемь пластических панно в керамике и дереве и три цветных гобелена посвящены темам циркового искусства, танца, музыки. В вестибюле на первом этаже размещено панно «Цирк» в зелено-коричневой гамме, посвященное жизни цирка, на втором - серия из четырех керамических панно, живописных композиций, деревянные панно и три цветных гобелена на тему циркового искусства («Песня с тарелками», «Акробаты»). Все керамические работы были исполнены в традиционной для таджикской народной глиняной пластике зеленовато-желтой гаммы в высоком рельефе, которые переходят местами в низкий рельеф или же вырастают до скульптурного объема (рис.4) [2, 4, 5, 8, 9, 11].



Рисунок 4 – А) Керамические горельефы «Маски клоунов», ковка по меди на фасаде здания Госцирка, Б) Керамический горельеф «Мир цирка» у интерьера Госцирка в г. Душанбе, 1976 г.

Рассмотрим также последовательность творческой разработки художника-монументалиста И. Сангова, выпускника Московского высшего художественно-промышленного училища имени Б. Строгонова по специальности монументальная живопись. Исуф Сангов является народным художником Таджикистана, лауреатом Государственной премии имени Абуабдулло Рудаки, он создал первую и самую крупную монументальную мозаику в Центральной Азии - 750 квадратных метров. Его работа размещена на фасаде Кукольного театра в городе Душанбе. По словам самого художника, над этой работой (панно) он трудился целый год. Середина панно собрана прямым набором – это, когда мозаичные элементы вдавливают в стену.

Две другие стороны панно собирались в мастерской, используя обратную технику набора. То есть, собрали узоры на картоне, а потом перенесли их на загрунтованную поверхность. Работа была установлена в 1984 году по заказу Душанбинского городского исполнительного комитета. Что касается тематики панно, то оно подготовлено на основе национальных сказок, так как предназначалось для детского объекта. В эскизах были использованы народные узоры «чакан», который внесен в список нематериального мирового культурного наследия (ЮНЕСКО). На панно видно, как открывается занавес и начинается какое-то действие. При исполнении монументального произведения важно соблюдение технологий его изготовления, поэтому прошло более 40 лет, а работа смотрится очень хорошо, кажется, что вчера ее исполнили (рис.5).

После этого И. Сангов взялся за украшение здания (фасада) Конституционного суда Республики Таджикистан, и была проведена колоссальная работа по выполнению мозаичного изображения данного объекта. Объект был выполнен по закономерности создания цветовых сочетаний мозаичного изображения стилизованной женской фигуры с соответствующей разбивкой под общим фоном фасада объекта (рис. 6). Есть еще несколько мозаичных панно И. Сангова, например, мозаичное панно, установленное в здании столичного роддома №3, панно на автовокзале в Шаартузском районе, а также на комбинате крупнопанельного домостроения в городе Душанбе, мастеру достался заказ оформить также остановки в районе микрорайона Зарафшон города Душанбе и в Шахринавском районе, и других местах республики. По нашим анализам, художник-монументалист И. Сангов в своих мозаичных произведениях экспериментировал в разнообразии цветовых строений. Особо подчеркивается, что в трактовке художественно - монументальных произведений И. Сангова прослеживаются традиции народного зодчества таджиков. Таким образом, эти объекты остаются и по сей день одними из самых интересных в Таджикистане по своему архитектурно-художественному решению и объёмно-пространственной ситуации дизайна архитектурной среды даже Нового времени [2, 3, 6].

К сожалению, объем статьи не позволил включить практические работы и научные разработки по всем видам монументально-декоративного искусства, поэтому в нее вошли материалы лишь о творчестве некоторых выдающихся художников-монументалистов республики. В их работах содержится общая характеристика развития того или иного вида как с точки зрения исторической динамики, так и оценки его состояния в современных условиях.

Заключение

Архитектура Таджикистана в начале XXI века (последние годы независимости) бурно развивается и призвана решать крупные социальные задачи. Нынешний период в развитии архитектуры и градостроительства характеризуется массовым размахом работ по строительству города Душанбе и реконструкции, и переустройства существующих городов, поселков и сел. Огромный размах получило жилищное строительство [7].

Поэтому практика дает множество факторов, когда даже хорошо сложенная функциональная структура города, рациональная система его застройки и транспортных связей в натуре выглядит хаотичной, случайной из-за того, что она не получила необходимого художественного выражения.

Рецензент: Ш.Н. Рахматуллозода — кандидат архитектуры, и.о. доцента кафедры “ДАСи Р” ПЭТУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Толстой В. П. Монументальное и декоративное начало в синтезе искусств. // В кн.: Художник и город. - М.: Сов. художник, 1973, с. 130 - 149.
2. Додхудоева Л., Мукимов Р. Зодчий и художник: соглашательство или союз? // Комсомолец Таджикистана, 24 июля 1985 г.
3. Ганиев Дж.Ш. Архитектура и искусство (общность и различия). // Междунар. сб. науч. тр. «Архитектура и градостроительство стран Востока: традиции и современные проблемы». - Вып. 3. - Душанбе, 2002. - С. 69-70.
4. Рузиев М. А. Декоративно-прикладное искусство таджиков. - Душанбе: 2003. -185 с.
5. Синтез искусств и архитектуры Таджикистана. Мамаджанова С., Мукимов Р. Ганиев Д., Душанбе, 2006. - 187 с.
6. Додхудоева Л.Н. Графика и скульптура Таджикистана XX века. -Душанбе: 2006, - 270 с.
7. Масъалаҳои омӯзиши таърихи ташаккул ва рушди санъати амалии ӯроишӣ Тоҷикистон. Ғанизода Ҷ.Ш. Ақобиров С. // Маҷаллаи “Фарҳанг ва санъат” Донишқадаи давлатии фарҳанг ва санъати Тоҷикистон ба номи М. Турсунзода .№4 – Душанбе, 2018. –С53-57. ISSN 2616- 8944.
8. Сабзаали Муродзодаи Шариф Чанори танҳо. Чилди 3:- Душанбе: Ирфон, 2019. – 320 сах. (на таджикском языке).
9. Эмомова Ф.Ё. Взаимодействие искусств и архитектуры Таджикистана во второй половине XIX - начале XXI ВВ. (формирование и развитие). - Автореф. дисс. канд. архитектуры. - Душанбе., 2019. - 21 с.

10. Додхудоёва Л.Н. Наследие Тахти - Сангина и современная культура Таджикистана - Душанбе: 2023, - 195 с.
 11. Бобоев М. История развития монументальной пластики Таджикистана XX-начала XXI веков дисс.к.и.н. - Душанбе., 2023. - 193 с.
 12. Тамоюли рушди меъморӣ ҷиҳати ҳамбастагии он бо намудҳои дигари санъати ҷаҳонӣ, аз қабили муҷассамасозӣ, дизайни манзаравӣ, инсталлятсия ва санъати рақамӣ дар қаламрави Эрон. // Паёми политехникӣ. Баҳши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ. №2(70) – Душанбе, 2025. Саҳ. 147-153. ISSN 2520- 2227.

**МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT
AUTHOR**

| TJ | RU | EN |
|---|---|--|
| Ғанизода Ҷамшед Шучоат унвонҷӯй | Ганизода Джамшед Шуджоат соискатель | Ganizoda Jamshed Shujoat applicant |
| 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: jamna@mail.ru | | |

ОМИЛУ ТАЛАБОТИ МУТААСИР БА ҲАЛҶОИ МЕЪМОРӢ-ТАРҶРЕЗӢ ВА БАСТАКОРИИ МУАССИСАҶОИ ТАҲСИЛОТИИ ФАРОГИР

А.Р. Муминов, Н.Н. Ҳасанов, Ф.Н. Ҳасанов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳияи тавсиҳои амалӣ оиди лоиҳакашии муассисаҳои таҳсилоти фарогир (МТФ) бахшида шуда, дар асоси таҳлили натиҷаҳои кори тадқиқотӣ ва дарназардошти ҳулосаҳои дар онҳо ба дастмада таълиф гардидааст. Дар он масъалаҳои марбут ба ҳалҳои тарҳӣ, меъмориву фазоӣ, ташаққули муҳити атрофи муассисаҳои таҳсилоти фарогир, истифодаи воситаҳои меъмориву техникии мавҷеъмуайянсозӣ дар фазои атроф ва инчунин таҳлили нишондиҳандаҳои техникавӣ иқтисодии ҳалли меъморӣ-сохтмонӣ биноҳои дар мақола пешниҳодгардида мавриди баррасӣ қарор дода шудаанд.

Калидвожаҳо: омилҳо, таҳсилот, фарогир, муҳити физикӣ, ҳалли меъморӣ, дизайни универсалӣ.

ФАКТОРЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ И КОМПОЗИЦИЮ ИНКЛЮЗИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

А.Р. Муминов, Н.Н. Ҳасанов, Ф.Н. Ҳасанов

Данная статья посвящена разработке практических рекомендаций по проектированию инклюзивных образовательных учреждений (ИОУ) и составлена на основе анализа результатов исследовательской работы и с учетом полученных в них выводов. В ней рассматриваются вопросы, связанные с проектными, архитектурно-пространственными решениями, формированием окружающей среды инклюзивных образовательных учреждений, использованием архитектурно-технических средств позиционирования в окружающем пространстве, а также анализом технико-экономических показателей архитектурно-строительных решений зданий, представленных в статье.

Ключевые слова: факторы, образование, инклюзивность, физическая среда, архитектурные решения, универсальный дизайн.

FACTORS AND REQUIREMENTS INFLUENCING THE ARCHITECTURAL AND PLANNING SOLUTIONS AND COMPOSITION OF INCLUSIVE EDUCATIONAL INSTITUTIONS

A.R. Muminov, N.N. Hasanov, F.N. Hasanov

This article is devoted to the development of practical recommendations for the design of inclusive educational facilities (IEF) and is based on the analysis of research results and the conclusions drawn from them. It examines issues related to design, architectural and spatial solutions, the formation of the surrounding environment of IEFs, the use of architectural and technical means of positioning within the environment, as well as the analysis of technical and economic indicators of architectural and construction solutions for buildings presented in the article.

Keywords: factors, education, inclusivity, physical environment, architectural solutions, universal design.

Муқаддима

Таҳсилоти фарогир (ТФ), раванди таълимиву тарбиявӣ 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 саломати онҳо равона гардидааст. Истилоҳоти асосии фарогирӣ дар соҳаи таҳсилот аз мафҳумҳои хоси фарогирӣ, дастрасӣ, муносибати муносибати дар раванди таҳсилот, ниёзҳои таълимиву тарбиявӣ ё таҳсилотӣ ҳамкориҳои хонандагону омӯзгорон, иштирок дар раванди таҳсилот, муҳити мададгор, таҳассуснокии ҳайати педагогии муассиса, инчунин ҳамчоякунии (интеграция) иҷтимоӣ ё ҳамбастагии байниҳамдигарии толибилмон иборат мебошад.

Муносибати фарогиранда дар раванди таълимиву тарбиявӣ (РТТ) муассисаҳои таҳсилотӣ (МТ), яке аз падидаҳои ҷалби ҳамчоякунандаи тамоми хонандагон, аз ҷумла хонандагони имкониятҳои маҳдуди руҳиву ҷисмонидошта ба раванди таҳсилот ба ҳисоб меравад. Ҳадафи асоситарини фарогирӣ дар раванди таҳсилот таъмини ҳамаҷонибаи шароити имкониятҳои баробар ҷиҳати маълумотнок гаштан ва инкишофи босубути ҳар як кӯдак мебошад.

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 тарҳиву ҳаҷмӣ, инфрасохторӣ ва ҳудуди замини муассисаи таҳсилотӣ барои тамоми хонандагон, ҳайати омӯзгорону кормандони хизматрасони муассисаҳо иборат аст. Бо ибораи дигар, падидаи мазкур бояд таъмини якраңг ва номураккаби дастрасиро ба раванди таълиму тарбия, аз ҷумла аз нуқтаи назарии дастрасии ҷисмонӣ, иттилоотиву таъйинотӣ ва тиббиву педагогӣ ба пуррагӣ амалӣ созад [1, 3, 4].

Мавод ва усулҳои таҳқиқот

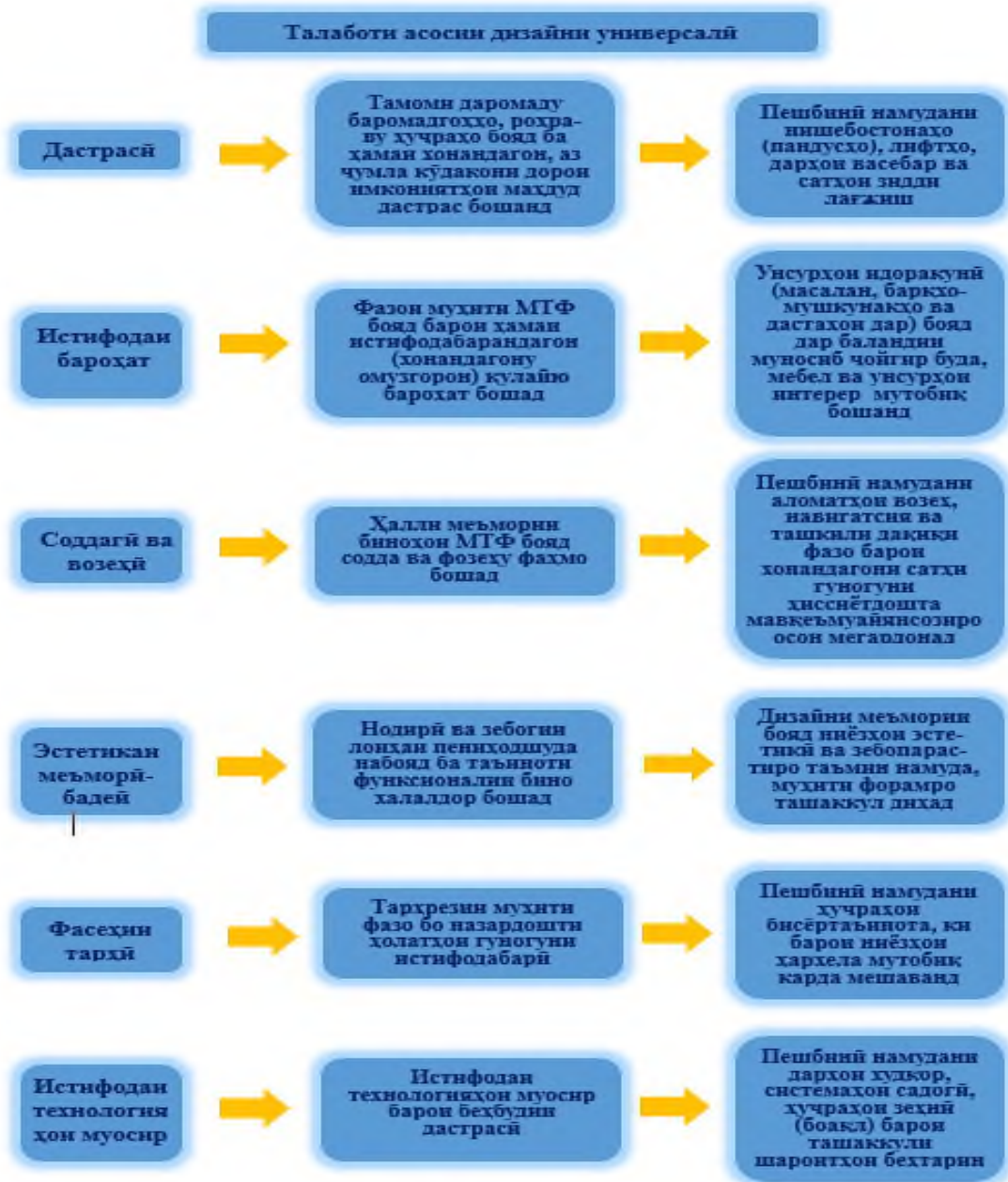
Яке аз падидаи асоситарини фарогирӣ дар биноҳои муассисаҳои таҳсилотӣ, чи тавре ки қаблан зикр гардида буд дастрасӣ ба ҳисоб меравад, ки мафҳуми он аз дастрас будани тамоми унсурҳои тарҳиву ҳаҷмӣ, инфрасохторӣ ва ҳудуди замини муассисаи таҳсилотӣ барои тамоми хонандагон, ҳайати омӯзгорону кормандони хизматрасони муассисаҳо иборат аст. Бо ибораи дигар, падидаи мазкур бояд таъмини якраңг ва

нотуракаи дастрасиро ба раванди таълиму тарбия, аз ҷумла аз нуқтаи назари дастрасии ҷисмонӣ, иттилоотиву таъинотӣ ва тиббиву педагогӣ ба пуррагӣ амалӣ созад.

Принсипҳои асосии ташаккули сохтори муассисаҳои таҳсилоти фарогир бояд дар асоси муносибати бодикқату боилтифотона нисбати ҳалҳои тарҳиву ҳаҷмии бинои мазкур аз ҷониби меъморону лоиҳакашон амалӣ карда шавад. Онҳо бояд ҷабҳаҳои муҳими ташаккули муҳити физикии МТФ-ро, аз қабили дизайни универсалӣ, дастрасии тамоми ҳуҷраҳои таъиноти гуногундоштаи муассиса, фазоҳои таълимиву тарбиявӣ фасеҳ, ҷудосозии муҳити дохилару берун ба минтақаҳои орому истироҳатии хонандагон, пешбинӣ намудани фазоҳои кушод, истифодабарии системаву воситаҳои иттилоотиву техникии мавқеъмуайянсозӣ ва самтҳои ҳаракат дар муҳит ва ғайраро дар бар гирифта бошанд.

Дар лоиҳакашии меъмории биноҳои муассисаҳои таҳсилоти фарогир бояд таваҷҷуҳи хоса ба масъалаҳои ташаккули дизайни универсалии биноҳо, аз нуқтаи назари ҳалли тарҳиву ҳаҷмии онҳо, ки барои бунёд намудани муҳити физикии барои тамоми истифодабарандагон дастрасу бароҳат, новобаста аз имкониятҳои ҷисмонӣ ё синнусолӣ равона гардидааст, дода шавад.

Дар асоси хусусиятҳои синнусолии тамоми хонандагон, аз ҷумла ниёзу эҳтиёҷоти махсуси кӯдакони имкониятҳои маҳдуддошта дар зербоби мазкур як зумра омилу талаботи дизайни универсалии дар меъмории МТФ, аз ҷумла дастрасӣ, истифодабарии бароҳат, фасеҳии тарҳӣ, соддагӣ ва возеҳӣ, эстетикаи меъмориву бадеӣ, истифодаи технологияҳои муосир ва ғайра пешниҳод карда мешаванд (Расми 1).



Расми 1 – Талаботи асосии дизайни универсалӣ дар меъмории МТФ

Дизайни универсалӣ дорои бартариҳои назарраси зерин мебошад [2, 5]:

- ташаккули фазоҳои фарогир, ки дар онҳо тамоми хонандагони МТФ метавонанд ҳамкориҳои судманд дошта, дар фаъолияти ҷамъиятии муассиса иштирок намоянд;
- афзун додани ҳузуру ҳаловат ва бехатарии тамоми хонандагон, аз ҷумла қудакони имкониятҳои маҳдуддошта;
- баланд бардоштани хусусиятҳои таъйиноти биноҳо, ки метавонад ба самаранокии иқтисодӣ мусоидат намояд.

Умуман, дизайни универсалӣ дар меъморӣ биноҳо яке аз шартҳои зарурӣ барои ташаккули фазоҳои муносири бехатару дастрас ба ҳисоб рафта, истифодаи оқилонаи он барои бунёди муҳити бештари фарогир, ки дар он ҳар як хонанда метавонад аз муҳити атроф баҳра бардорад ва дар сатҳи зарурӣ дар ҳаёти ҷамъиятии муассиса фаъолона иштирок намояд.

Ба сифати принсипи дигари лоиҳакашии фазои МТФ, муносибгардони тарҳрезӣ бо мақсади таъмини дастрасӣ ва бароҳати муҳити физикӣ барои тамоми хонандагон буда, барои амалисозии он дар мақола тавсияҳои калидии зерин пешниҳод мегарданд:

Васеги роҳраву гузаргоҳҳо барои таъмини ҳаракати бемонетаи тамоми хонандагон, аз ҷумла қудакони аз курсиаробачаҳои маъҷубӣ истифодабаранда бояд на кам аз 1,5 метр ба лоиҳа гирифта шаванд.

Бо мақсади таъмин намудани дастрасии даромадгоҳу баромадгоҳҳо дар биноҳои МТФ бояд дарҳои худкори автоматӣ бо механизми кушодашавии сабук пешбинӣ шуда, нишебостонаву лифтҳо дастрасии осон дошта, бо аломату нишонаҳои дақиқ ишора гарданд.

Принсипи дигари лоиҳакашии биноҳои МТФ, пешбинӣ намудани ҳуҷраҳои таълимии бисёртаъинота мебошад. Аз ин лиҳоз, ҳуҷраҳои таълимӣ бояд дорои имкони мутобикгардони осон барои баргузори дарсҳо бо назардошти ниёзу эҳтиёҷоти хонандагон бошанд. Масалан, истифодабарии миёнадеворҳои ҷамъшаванда (movable walls) бо мақсади ташаккули тағйирёбандаи муҳит, бо назардошти фаъолият дар онҳо.

Пешбинӣ намудани минтақаҳои боҳузуру ҳаловат барои истироҳату дамгирии хонандагон низ ниҳоят муҳим буда, онҳо бояд барои ҳамаи хонандагон боҳузуру ҳаловат ва дастрас ва дорои курсиҳои мулоим, мизҳои баландии ҳархеладошта бошанд.

Бо мақсади таъмини ҳамаҷонибаи ҳаракати бехатарӣ хонандагон дар муҳити дохилу берунаи МТФ бояд воситаи аломат ва нишонаҳои дар истифодабарӣ содда, барои муайянсозии самти ҳаракат (навигатсия) пешбинӣ шаванд. Ҳамзамон, истифодаи аломатҳои тактиль барои хонандагони нуқсонҳои биниш мувофиқи мақсад мебошад.

Инчунин, тавсия дода мешавад, ки тамоми ҳуҷраҳои таълимии МТФ бояд бо назардошти таъмини муҳити мусоиди акустикӣ тарҳрезӣ гардида, таъсири садои мағалҳои беруна дар сатҳи зарурӣ коҳиш дода шавад. Ин амал хусусан барои хонандагони нуқсонҳои узвҳои шунавоӣ ва бемориҳои аутизмдошта ниҳоят муҳим мебошад.

Дар МТФ ҳоҷатхонаву ташнобҳо, ҳуҷраҳои беҳдошти духтарбачагон ва ҳуҷраҳои дигари санитарӣ, бояд бо назардошти ниёзҳои махсуси хонандагони маҳдудҳаракат, таъмин намудани дастрасии ҷисмонӣ онҳо ба унсурҳои мазкурӣ инфрасохторӣ тарҳрезӣ гарданд.

Пешбинӣ намудани технологияҳои муносири таълимӣ, аз ҷумла компютерҳои мутобикгардонидашуда, барномаву таҷҳизоти махсуси коммуникатсионӣ дар биноҳои МТФ низ муҳим мебошад.

Лоиҳакашии биноҳои МТФ бояд бо назардошти фикру ақидаи хонандагони ниёзҳои махсусдошта, волидайнӣ онҳо ва мутахассисони ссамти тиббу педагогика, бо мақсади ба инобат гирифтани тамоми ниёзҳои имконпазир амалӣ карда шавад [6, 7].

Бешубҳа, риояи тавсияҳои лоиҳакашии болозикр метавонад барои ташаккул додани муҳити физикӣ муассисаи таҳсилоти фарогир, ки барои таълиму тарбияи бароҳату бехатарӣ тамоми хонандагон пешбинӣ гардидаанд, мусоидат намояд.

Натиҷаҳо

Дар мавриди ташаккул додани муҳити таҳсилоти фарогир яке аз омилҳои муҳим баназаргирии гуногунрангии ниёзу эҳтиёҷоти хонандагон ба ҳисоб рафта, риояи тавсияҳои зерини дар ин зербоб пешниҳодшуда мувофиқи мақсад мебошад (Расми 2):



Расми 2 – Талаботи асосии дизайни универсалӣ дар меъморӣи МТФ

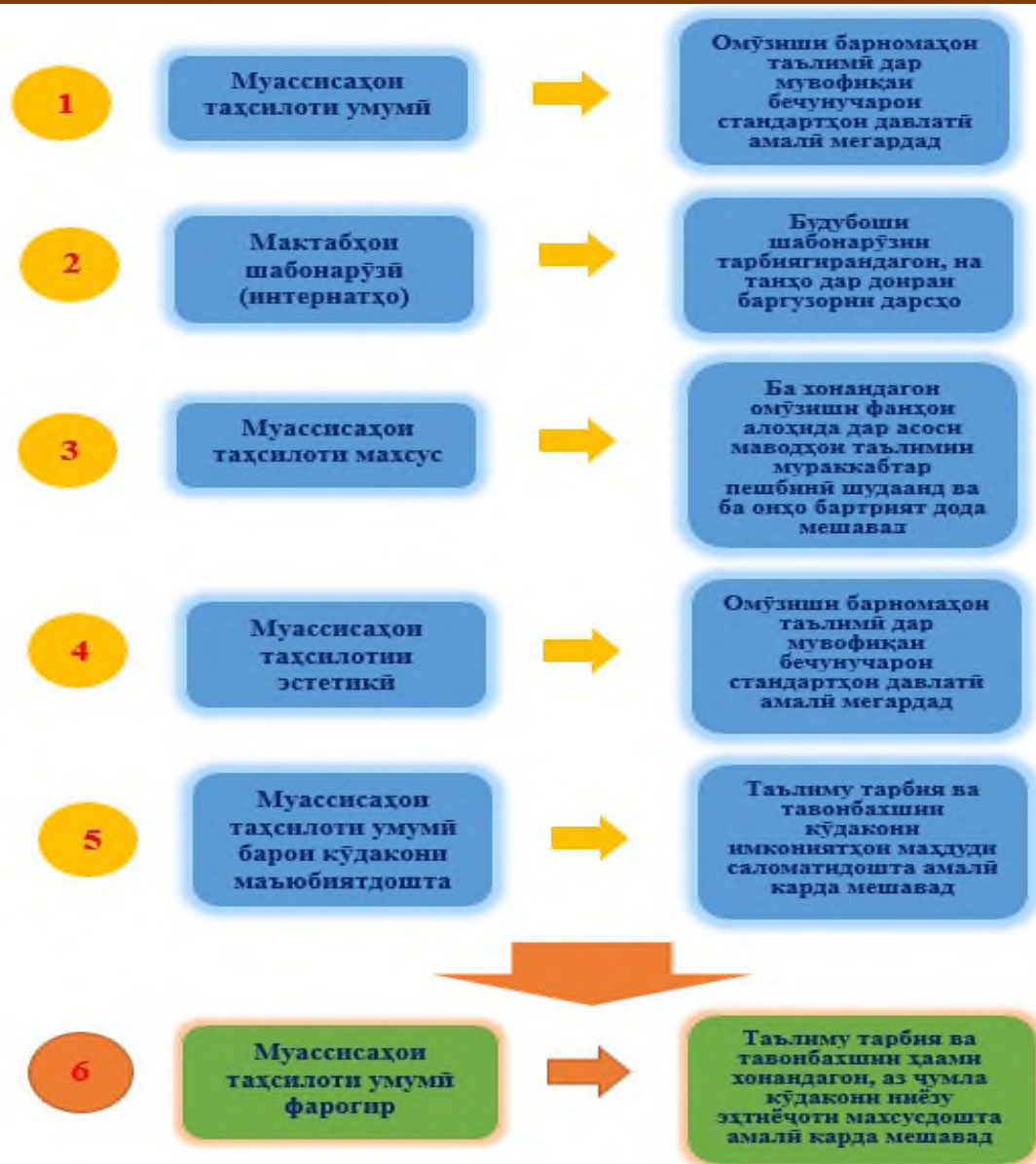
Бешубҳа, тарҳрезии ҳар як бино бо назардошти вазифаҳое, ки дар онҳо иҷро мегарданд, амалӣ карда мешаванд. Муассисаҳои таҳсилоти фарогир аз ин нуқтаи назар, бевосита мувофиқи меъёру қоидаҳои мавҷуда бунёд гардида, аз тарафи дигар нисбати сохтмони онҳо талаботи махсус пешбинӣ карда мешаванд.

Ин бевосита ба дизайни меъморӣ ва ороиши дохилаи ҳуҷраҳои муассиса дахл дорад, ки онҳо метавонанд мустақиман ба сатҳи сифати азхудкунии барномаҳои таълимӣ аз ҷониби хонандагон таъсири назаррас расонанд. Тибқи тадқиқоти амалигардидаи олимони соҳа, ҳалли меъморӣ (дизайн) мусоид ва муҳити дуруст ташаккулдода дар муассиса қодир аст, ки азхудкунии хонандагонро то ба 25% афзоиш диҳад[1, 5, 9].

Бояд таъкид кард, ки тайи даҳсолаҳои охир дар ҚТ бунёди муассисаҳои таҳсилоти дар асоси лоиҳаҳои фардӣ бо назардошти талаботи меъёру қоидаҳои амалкунандаи лоиҳакашӣ ва шароитҳои маҳали сохтмон амалӣ шуда истода бошанд ҳам, то ҳол ягон ғояи ягона ҷиҳати шакли намунавӣ ё муддаои табъӣ (идеалӣ) ҷавобгӯ ба талаботи муносири фарогирии таҳсилот вучуд надорад. Дар ҷаҳорҷубаи муассисаи таълимӣ хонандагон вақти зиёди худро гузаронида, дар ин маврид бо ҳолатҳои гуногуни ҳаётӣ рӯ ба рӯ мегарданд, ки аз доираи раванди таҳсилот метавонанд берун бошанд. Аз ин лиҳоз, таҳияи лоиҳаи намунавӣ ягона, ки барои иҷрои тамоми вазифаҳо иҷро мешавад, ғайриимкон аст, чунки сохтор ва мундариҷаи муассисаҳои таҳсилотӣ метавонанд аз якдигар фарқияти зиёд дошта бошанд (Расми 3).

Дар оғози таҳияи лоиҳаи сохтмони муассисаи таҳсилотӣ пеш аз ҳама бояд намуд ва таъиноти он муайян карда шавад. Тибқи моделҳои барномаҳои таҳсилотии мавҷуда муассисаҳои таҳсилоти дорои якчанд зинаи таълимӣ, аз ҷумла: ибтидоӣ, миёнаи попура ва миёна мебошанд. Ҳамзамон, муассисаҳои таҳсилотӣ тибқи хусусиятҳои тахассусӣ метавонанд барои омӯзиши амиқи фанҳои алоҳида, омӯзиши забонҳои хориҷӣ, варзишӣ ва мусиқиву ғайра бошанд.

Чуноне ки қаблан қайд гардида буд, мутобиқи талаботи банди банди 5, боби 3-юми МҚШ ҚТ 31-03-2018 “Муассисаҳои таҳсилоти умумӣ” ба муассисаҳои таҳсилоти умумӣ Муассисаҳои таҳсилоти умумии зинаҳои 1, 2 ва 3 таълим, ибтидоӣ, попураи асосӣ, миёна, Муассисаи интернатҳо, попураи миёна ва миёнаи гимназияву литсейҳо мансубанд.



Расми 3 – Намуди таъшили ва вазифаҳои муассисаҳои таъсилотӣ

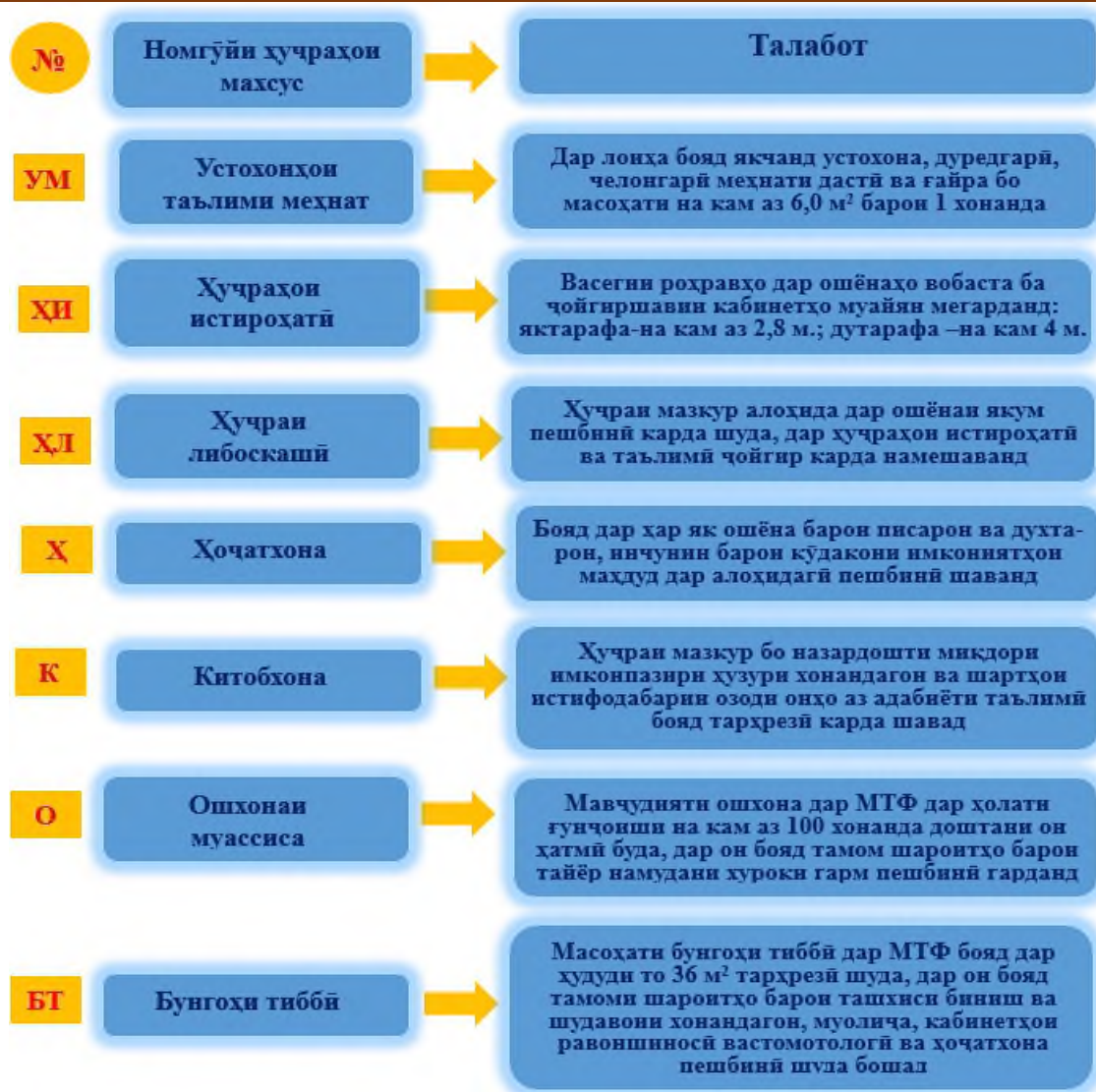
Яке аз хусусияти лоиҳакашии муассисаҳои таъсилотӣ бисёрравиягии таъиноти бино, бо назардошти самти фаъолияти таъсилот мебошад, ки вобаста аз ин шароитҳо таҷвизоти зарурӣ интихоб карда мешавад, ҳучраҳо бо таснифоти муайян тарҳрезӣ мегарданд.

Дар раванди коркарди тарҳи бино ва ҳисоби масоҳати он шартӣ асосӣ, ки базаргирии он муҳим аст, микдори пешбинишудаи хонандагон муҳим мебошад. Масалан, солҳои қабли лоиҳаҳоҳои намунавии дар ҳудуди ҶТ сохташаванда барои муассисаҳои миёнаи умумӣ бо 1728, муассиса-интернатҳо барои 560 хонанда пешбинӣ шуда, ғунҷоиши синфхонаҳо барои синфҳои 1-8 аз 24 то 30 хонанда, дар синфҳои 9-11 на зиёд аз 36 ҷойи нишаст пешбинӣ мешуданд. Вобаста ба он, ки муассисаҳо ибтидоӣ, миёнаи нопурра ё миёна ба нақша гирифта мешаванд, микдори хонандагон интихоб мегардад ва дар навбати худ аз он ҳалли тарҳиву меъморӣ биноӣ сохташаванда вобаста мебошад [4, 10].

Бо ифодаи рақами меъёрҳои мазкурро метавон, бо ҳисоби барои ҳар як хонанда, ба тарзи зерин қабул намуд:

- масоҳати камтарини ҳучраҳо – 125 м²;
- ҳаҷми ҳавои муассисаи ба нақшагирифташуда – 4,5 м³, дар ҳоли қабули баландии ҳучраҳо то шифт на кам аз 3,3 метр;
- меъёри ҳавотозакунӣ (вентилятсия) бино – 15 м³.

Дар лоиҳакашии муассисаҳои таъсилотӣ нисбати мавҷудияти ҳучраҳои махсус талаботи зерин пешбинӣ мегарданд (Расми 4).



Расми 4 - Мавҷудияти ҳуҷраҳои махсуси МТФ ва талабот нисбати онҳо

Чун қоида, дар лоиҳакашии анъанавии биноҳои МТФ се намуди асосии нақшаҳои композитсионӣ – *хаттӣ*, *марказии периметралӣ* ва *алоҳидаи блокӣ* истифода мегарданд (Расми 5, а, б, в).

Талабот ба гурӯҳҳои функционалӣ, таркиб ва масоҳати ҳуҷраҳои муассисаҳои таҳсилоти фарогир дар асоси талаботи боби 6-уми МҚШ ҚТ 31-03-2018 “Муассисаҳои таҳсилоти умумӣ” ва тавсияҳои дар мақола пешниҳодшуда муайян карда мешаванд.

Муҳокима

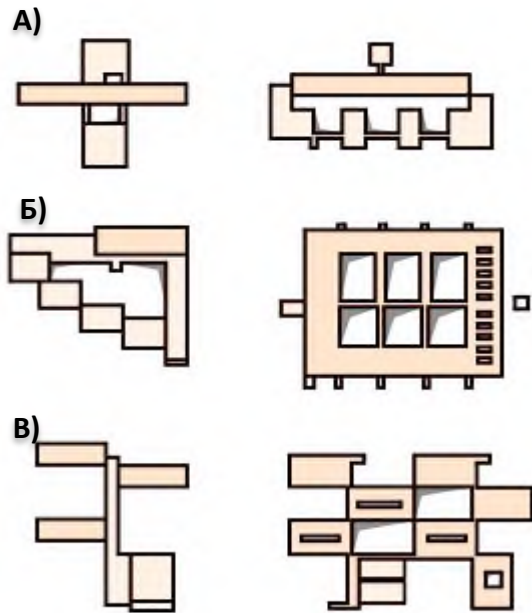
Барои лоиҳакашии бинои муассисаҳои таҳсилоти фарогир бояд мавзеи мусоиду мувофиқи сохтмон интихоб карда шавад, ки он ҷавобгӯ ба талаботи муосир бошад, аз ҷумла:

- мувофиқат ба шароитҳои мусоиди иқлимӣ;
- дар наздикии вучуд надоштани роҳҳои оҳан ва серҳаракати нақлиётӣ;
- мавҷуд будани мавзеҳои кабудизоршуда дар шафати он (хуб мешуд, вале ҳатмӣ нест).

Ҳангоми бунёди МТФ дар маҳалҳои рельефи мураккабдошта, ки бо пастиву баландии назаррас тавсиф мегардад, бояд барои сохтмон нуқтаҳои баландтарин, бо мақсади таъмини кушодашавии манзараи тамоми ҳудуди ҳамшафат, интихоб карда шавад.

Лаҳзаи дигаре, ки ҳангоми лоиҳакашии МТФ бояд ба назар гирифта шавад, ҷойгиршавии бинои муассиса дар маҳали зист бо таъмини дастрасии нақлиёти хонандагон ба ҳисоб меравад. Дар мавриди дар наздикии бинои муассиса гузаштани роҳҳои автомобилгард, онҳо бояд ҳатман қитъа барои гузаргоҳҳои пиёдагардӣ дошта бошанд ва он бояд дар фосилаи на зиёдтар аз 500 метр аз бинои муассиса пешбинӣ карда шавад.

Қитъабандии таъйиноти муассисаҳои таҳсилоти фарогир, муайянсозии таркибу масоҳат, таъмини дастрасии ҷисмонии онҳо барои хонандагону ниёзу эҳтиёҷоти махсусдошта тибқи муқаррароти меъёру қоидаҳои шаҳрсозии ҚТ, аз ҷумла: МҚШ ҚТ 30-01-2018 “Шаҳрсозӣ. Банақшагирӣ ва бунёди маҳалҳои аҳолинишин”, МҚШ ҚТ 31-03-2018 “Муассисаҳои таҳсилоти умумӣ”, МҚШ ҚТ 35-01-2012 “Дастрасии бино ва иншоот барои гурӯҳҳои камҳаракати аҳоли” ва тавсияҳои дар мақолаи мазкур пешниҳодгардида бояд муайян карда шаванд.



Нақшаҳои композитсионии биноҳои МТФ:

А - Нақшаи хаттӣ:

- + Ихчамии тарҳӣ.
- + Ҳалли номураккаби конструктивӣ.
- + Барои ғунҷоиши наҷандон калони МТФ (то 20 синф) мувофиқ мебошад.
- + Барои бунёд дар маҳалҳои бо рельефи ҳамвор мувофиқ аст.

Б - Нақшаи марказии периметралӣ:

- + Ҷойгиронии гурӯҳи ҳуҷраҳо дар атрофи ҳавли кушода ё фазоҳои толорӣ.
- + Нақшаи композитсионии ихчам.
- + Барои ғунҷоиши калони МТФ мувофиқ мебошад.
- + Алоқамандии мусоиди ҳуҷраҳо.

В - Нақшаи алоҳидаи блокӣ:

- + Намудбандии зиёди композитсионӣ.
- + Ҷудосозии пурраи синнусолии хонандагон.
- + Таъмини алоқамандии рекреатсия бо ҳавли муассиса.
- + Барои шароитҳои гуногун мувофиқ мебошад.

Расми 5 – Намуди асосии нақшаҳои композитсионӣ: а– хаттӣ, б - марказии периметралӣ ва в - алоҳидаи блокӣ

Ҳудуди МТФ аз маҷмуи майдончаҳои кушодаи вобаста ба намуди фаъолият ва хусусиятҳои синну солии хонандагон ҷудошуда иборат мебошад, ки дар он тамоми воситаи таҷҳизот, иншоот, шаклҳои хурди меъморӣ ва кабудизорҳо бо назардошти талаботи таъйинотӣ ва тарҳрезӣ нисбати ҳар як мавзеи алоҳида ва алоқамандӣ бо муҳити зисти атроф, бояд пешбинӣ карда шаванд.

Дар ҳудуди муассисаҳои таҳсилоти фарогир бо мақсади иҷроиши пурраву муфиди раванди таъйинотӣ, дар қатори бинову иншооти асосии муассиса, пешбинӣ намудани қитъаҳои таъйинотӣ, аз қабили тарбияи ҷисмониву варзишӣ, омодаҳои ибтидоии ҳарбӣ, таълимиву таҷрибавӣ, истироҳатӣ ва хоҷагидорӣ зарур буда, масоҳати қитъаҳои мазкур бояд бо нишондиҳандаҳои ҳисобӣ барои 1 синф, қабул карда шаванд.

Пешбинӣ намудани қисматҳои тарбияи ҷисмониву варзишӣ ва омодаҳои ибтидоии ҳарбӣ дар рӯ ба рӯи тирезаҳои синфхонаҳои таълимӣ иҷозат дода нашуда, онҳо бояд баъди қатори буттаву дарахтон ҷойгир карда шаванд. Ҳамзамон, майдончаҳои бозӣ бо тӯб ва ҳаводихии гулулаву дигар олотӣ варзиширо бояд дар фосилаи на камтар аз 20 метр аз тирезаҳо ва дар мавриди пешбинӣ шудани панҷараҳои тиреза ё тавораи баландиаш 3 метр, на камтар аз 15 метр ҷойгиронида шуда, майдончаҳо барои намудҳои дигари машғулиятҳои варзишӣ солимгардонӣ дар масофаи на кам аз 10 метр бояд тарҳрезӣ гарданд. Дар ин маврид, асбоби таҷҳизоти минтақаи варзишӣ бояд барои таъмини иҷроиши барномаҳои таълимии тарбияи ҷисмониву варзишӣ ва баргузори чорабиниҳои дигари маҳфилу машғулиятҳои варзишӣ мусоидат наоянд.

Бояд тазакур дод, ки қисми қитъаи таълимӣ-таҷрибавӣ на камтар аз 25 % масоҳати умумии ҳудуди муассиса ро ишғол намуда, дар ҳудуди он пешбинӣ намудани қисмҳо, аз ҷумла, барои синфҳои ибтидоӣ, парвариши зироату сабзавот, боғи дарахтони мевадиҳанда ва парваришгоҳ, майдончаи парвариши гулу растаниҳои ороишӣ, мавзеи барои иҷроиши корҳои маҷмӯӣ-селексионӣ, гармхона бо ғушаи зоологӣ, парвардаҳона, майдончаи метеорологӣ ва ҷуғрофӣ, майдонча барои машғулиятҳои биологӣ дар ҳавои тоза тавсия мегардад.

Барои МТФ бо равия таълими биологӣ, васеъ намудани феҳристи иншооти пӯшида (парвардаҳона, гармхона, гулхона, иншоот барои нигоҳ доштани техникаи камандозаи хоҷагии қишлоқ ва ғайра) имконпазир мебошад. Майдончаҳои метеорологӣ ва ҷуғрофӣ бояд дар ҷои кушода, ҷудо аз бинои МТФ, дар фосилаи на камтар аз 35 метр ҷойгир карда шаванд.

Истироҳату фароғати хонандагони МТФ яке аз ҷабҳаҳои асосии амалисозии раванди таълиму тарбия ба ҳисоб рафта, пешбинӣ намудани мавзёҳои истироҳатӣ дар ҳудуди замини муассиса зарур мебошад. Бо ин мақсад, дар таркиби қитъаи мазкур пешбинӣ намудани майдончаҳои зерини таъинотӣ тавсия дода мешавад [1, 5, 8]:

- барои бозиҳои серҳаракати хонандагони зинаи ибтидоии муассиса (синфҳои 2-4) аз ҳисоби 100 м² барои ҳар як синф ва барои кудакони 6 сола (синфи 1) нақамтар аз 180 м² (7,2 м² барои як хонанда бо айвони сояфкан ва шаклҳои хурд барои бозӣ, барои зинаҳои таҳсилоти асосӣ (синфҳои 5-9) 25 м² барои ҳар як синф қабул карда мешаванд);

- барои истироҳати оромонаи хонандагони синфҳои 5-9 барои 75 % миқдори умумии онҳо аз ҳисоби 25 м² барои ҳар як синф қабул карда мешавад. Истифодаи майдончаҳои варзишии МТФ ба сифати қитъаи истироҳативу фароғатии хонандагони синфҳои 10-11 тавсия мегардад.

Дар шароити иқлими гарми ҶТ, бо мақсади таъмини ташаккули шароитҳои микроиқлими мусоид ва талаботи экологӣ пешбинӣ намудани майдонҳои кабудизоркардашуда дар ҳудуди қитъаи замини МТФ ниҳоят муҳим мебошад. Аз ин лиҳоз, тибқи меъёрҳои амалкунандаи соҳа на кам аз 30% масоҳати ҳудуди қитъаи замини МТФ барои кабудизоркунӣ бояд ҷудо карда шавад. Ба масоҳати умумии қитъаи мазкур инчунин, тавсия дода мешавад, ки масоҳати кабудизоршудаи мавзеи таълимӣ-таҷрибавӣ, тарбияи ҷисмонӣ-варзишӣ, истироҳатӣ, сабззор, хати муҳофизатӣ ва тавораи бутагӣ низ ворид карда шуда, дар ҳудуди он истифодаи растаниҳои заҳрнок ва халанда қатъиян бояд истифода бурда нашаванд.

Яке аз шартҳои дигари таъмини беҳатарии ҳудуди МТФ, пешбинӣ намудани таворадеворҳо дар атрофи ҳудуди муассиса, дар шакли панҷара ва ё девор бо баландии на камтар аз 1,5 метр, мувофиқ бо талаботи қоидаҳо ва меъёрҳои санитарии амалкунанда ва дастгоҳи муҳофизаткунандае, ки монеи давидани хонандагон ба қисми рафтуоӣ кӯча аз тарафи даромад ба бино шуда метавонад, дошта бошад. Қад-қадӣ панҷара ё девор бояд хати сабззор бо шинонидани дарахтҳо ва бутагӣҳо пешбинӣ карда шавад.

Дар ҳудуди замини МТФ бояд унсурҳои шаклҳои хурди меъморӣ ва таҷҳизоти таъмини рушноии сунъӣ тарҳрезӣ шуда, гузаргоҳҳо, роҳравҳо ва майдончаҳо бояд рӯйпуши мустақаму саҳт дошта бошанд.

Дар мавридҳои ҷобаҷогузориҳои биноҳои МТФ дар ҳудудҳои пуриморати маҳалҳои зист, ки имконияти интиҳоби қитъаи масоҳати дар меъёру қоидаҳои сохтмонӣ пешбинишударо надоранд, тарҳрезии биноҳои МТФ-ро бо бомҳои истифодашаванда барои пешбинӣ намудани майдончаҳои истироҳатӣ ва таъиноти дигардоштаи болопӯшида тавсия дода мешавад.

Хулосаҳо

Ихчамии сохтори тарҳиву ҳаҷмии биноҳои шаҳрвандӣ, қабл аз ҳама ба коҳиш ёфтани масоҳати сатҳи деворҳои беруна мусоидат намуда, ҳамзамон талафоти гармиро ба таври назаррас метавонад паст ва энергиясамаранокии умумии биноро баланд бардорад.

Ҷойгиронӣ ва минтақабандии бошууронаи ҳуҷраҳо (пешбинӣ намудани ҳуҷраҳои гармшаванда дар минтақаҳои дохила ва гармшаванда на минтақаҳои беруна) баҳри ташаккул додани микроиқлими мувофику боҳаловати дохила мусоидат менамояд ва бо ин роҳ хароҷот барои гармкунӣ ва хунуккунии ҳуҷраҳои бино кам карда мешавад.

Тамоюли дурусти биноҳо нисбати самтҳои уфуқ истифодаи максималии равшании табиӣ ва энергияи офтобиро таъмин карда, ҳамзамон зарурати пешбиниҳои равшании сунъӣ ва кондинсионеронии ҳаворо аз байн мебарад.

Муқаррир: С.Ш. Ҷураҳонзода — номзоди меъморӣ, Ректори Донишқадаи давлатии Санъати тасвирӣ ва дизайни Тоҷикистон

Адабиёти

1. Pasenidou F. The role of architecture in promoting inclusive education // International Review of Education. – 2024. DOI:10.1080/03054985.2024.2427041.
2. Mosca E. I., Crotti G. B., Capolongo S., Buffoli M. Universal Design in University Environments: Are the New Buildings More Inclusive? // Stud Health Technol Inform. – 2024. – Vol. 320. – P. 215–222. DOI:10.3233/SHTI241006.
3. Волосникова Л. М., Патрушева И. В. Проектирование инклюзивных образовательных сред на основе универсального дизайна: обзор научных публикаций // Научные труды. – 2024. – Доступ: CyberLeninka.
4. Mavrou K. Accessibility and universal design in higher education: cross-national perspectives // Teaching in Higher Education. – 2025.
5. Olodeoku M. Exploring Universal Design Principles in the Built Environment // African Journal of Environmental Sciences & Renewable Energy. – 2024. – Vol. 16, No. 1. – P. 86–...
6. Kohl T., Schranz T., Hofmann E., Corcoran K., Schweiger G. Introducing the comfort performance gap in new educational buildings: a case study // arXiv preprint. – 2024. – Jan.

7. Ghosh S., Coppola S. This Class Isn't Designed For Me: Recognizing Ableist Trends in Design Education // arXiv preprint. – 2024. – Feb.
 8. What is DeafSpace and how can it enhance architecture for everyone? // Wallpaper. – 2025.
 9. The aesthetics of accessibility: design for disability that's dynamic not dreary // Financial Times. – 2025. – May.
 10. Universal Design // Wikipedia. – обновлено 2025. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_design

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Муминов Ашрафҷон Раҳмоналиевӣ | Муминов Ашрафджон Рахмоналиевич | Muminov Ashrafjon Rahmonalievich |
| докторанти PhD | докторант PhD | Doctor of Philosophy |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: ashrafjon-1997@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич | Хасанов Нозимшо Назокатшоевич | Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich |
| Доктори меъморӣ, профессор | Доктор арх., профессор | Doctor of Architecture, Professor |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: kapitelh@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҳасанов Фирдавс Нозимшоевич унвонҷӯӣ | Хасанов Фирдавс Нозимшоевич соискатель | Hasanov Firdavs Nozimshoevich applicant |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: kapitelh@mail.ru | | |

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ЗЕЛЁНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Ш.З. Усмонов

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в г. Худжанде

В данной статье рассмотрены принципы «зелёного» строительства и их влияние на энергопотребление жилых зданий. Приведён обзор современных энергоэффективных технологий – от улучшенной теплоизоляции и возобновляемых источников энергии до пассивных архитектурных решений – с опорой на эмпирические данные и конкретные кейсы. Результаты исследований показывают, что применение зелёных технологий позволяет существенно снизить энергозатраты: по различным оценкам, на 20–40% в типовых проектах, а в идеальных случаях – вплоть до 60–75% и более. Обсуждаются примеры успешной реализации энергоэффективных жилых домов (включая passive house и проекты с интеграцией возобновляемых источников) и анализируется их экономическая эффективность. Сделаны выводы о важности комплексного применения принципов зелёного строительства для снижения энергопотребления в жилом секторе при одновременном повышении экологической устойчивости и комфорта зданий.

Ключевые слова: зелёное строительство, энергоэффективность, жилые здания, пассивный дом, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, теплоизоляция, устойчивое развитие, автоматизация зданий, рекуперация тепла, энергосбережение, экологичный дом, климатическая адаптация, архитектурные решения, жизненный цикл здания.

ИСТИФОДАИ ПРИНЦИПҲОИ СОҲТМОНИ САБЗ БАРОИ КАМ КАРДАНИ ХАРОҶОТИ ЭНЕРГИЯ ДАР БИНОҲОИ ИСТИҚОМАТӢ.

Ш.З. Усмонов

Дар мақола масъалаи татбиқи принципҳои сохтмони сабз бо мақсади коҳиши истеъмоли энергия дар биноҳои истиқоматӣ баррасӣ мешавад. Шарҳи умумии технологияҳои муносири сарфаи энергия — аз гармимаҳдудкунӣ бештар, истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия то ҳалли меъморӣ ғайрифаъл — бо истифода аз маълумоти эмпирикӣ ва таҳлили мисолҳои воқеӣ пешниҳод мегардад. Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки технологияҳои сабз метавонанд истеъмоли энергияро ба таъри назаррас коҳиш диҳанд: дар лоиҳаҳои стандартӣ 20–40% ва дар ҳолатҳои идеалӣ то 60–75% ва бештар. Дар мақола намунаҳои муваффақи биноҳои истиқоматӣ аз ҷиҳати энергия каммасраф, аз ҷумла биноҳои ғайрифаъл бо истифодаи манбаҳои барқароршавандаи энергия таҳлил карда шуданд. Хулоса бароварда шудааст, ки татбиқи ҳамаҷонибаи принципҳои сохтмони сабз барои коҳиши сарфи энергия дар баҳши манзил ва баланд бардоштани устувории экологӣ ва сатҳи бароҳати дохилии биноҳо муҳим мебошад.

Калимаҳои калидӣ: сохтмони сабз, самаранокии энергетикӣ, биноҳои истиқоматӣ, бинои ғайрифаъл, манбаҳои барқароршавандаи энергия, панелҳои офтобӣ, гармимаҳдудкун, рушди устувор, автоматикунони бино, бозёфти гармӣ (рекуператсия), сарфаи энергия, ҳонаи экологӣ, мутобиқсозӣ ба иқлим, ҳалли меъморӣ, давраи ҳаётии бино.

APPLICATION OF GREEN BUILDING PRINCIPLES FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Sh.Z. Usmonov

This paper explores the application of green building principles to reduce energy consumption in residential buildings. It presents an overview of modern energy-efficient technologies — from improved thermal insulation and renewable energy sources to passive architectural strategies — supported by empirical data and case studies. Research findings demonstrate that green technologies can significantly reduce energy use: by 20–40% in standard projects and up to 60–75% or more in optimal cases. The paper discusses successful examples of energy-efficient housing projects, including passive houses and buildings equipped with renewable energy systems, and analyzes their economic feasibility. The study concludes that a comprehensive application of green building principles is essential for reducing energy consumption in the housing sector while enhancing sustainability and indoor comfort.

Keywords: green building, energy efficiency, residential buildings, passive house, renewable energy sources, solar panels, thermal insulation, sustainable development, building automation, heat recovery, energy saving, eco-friendly home, climate adaptation, architectural solutions, building life cycle.

Введение

Строительный сектор является одним из крупнейших потребителей энергии: на эксплуатацию зданий приходится порядка 30% мирового конечного энергопотребления [1]. Значительная доля этой энергии расходуется на отопление, вентиляцию, кондиционирование и освещение жилых домов. В условиях роста цен на энергоресурсы и необходимости борьбы с изменением климата остро встаёт задача повышения энергоэффективности зданий. Зелёное строительство (экологическое или устойчивое строительство) представляет собой подход к проектированию, возведению и эксплуатации зданий, который минимизирует негативное воздействие на окружающую среду. Основной его целью является снижение потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания – от выбора участка и строительства до эксплуатации и сноса [2].

Применение принципов зелёного строительства особенно актуально для жилых зданий, так как жилищный фонд характеризуется большим сроком службы и регулярными затратами энергии в процессе эксплуатации. В традиционных зданиях значительные потери тепла происходят через ограждающие конструкции и вентиляцию, а также затрачивается много электроэнергии на искусственное освещение и

бытовые приборы. Зеленые технологии призваны решать эти проблемы за счёт оптимизации строительных решений и применения возобновляемых источников энергии. В ряде стран разработаны стандарты экологичного строительства (например, международные системы сертификации LEED, BREEAM, а в России – национальный стандарт зелёного строительства жилых зданий ГОСТ Р 2022, стимулирующие внедрение энергоэффективных решений. На этом фоне возникает необходимость обобщить доказательную базу: каких реальных показателей экономии энергии удаётся достичь в жилых домах при использовании принципов зелёного строительства, и какими методами это достигается.

Целью настоящего исследования является анализ влияния основных технологий зелёного строительства на снижение энергопотребления в жилых зданиях. Для её достижения последовательно рассмотрены: (1) современные энергоэффективные материалы и инженерные системы, (2) архитектурно-планировочные решения, снижающие потребность здания в энергии, (3) использование возобновляемых источников энергии в жилищном секторе, а также (4) количественные результаты – данные измерений, расчетов и моделирования – демонстрирующие эффективность указанных мер.

Материалы и методы исследования

Исследование носит обзорный характер. В качестве материалов использованы данные новейших научных публикаций, отраслевых отчетов и нормативных источников (как на русском, так и на английском языках), посвящённых зелёному строительству и энергоэффективности зданий. При отборе источников упор сделан на работы, содержащие эмпирические показатели энергопотребления жилых домов и конкретные примеры внедрения зелёных технологий. В обзор включены как результаты вычислительного моделирования энергоэффективных сценариев, так и натурные измерения энергопотребления в уже эксплуатируемых зданиях.

Методология исследования заключалась в сравнительном анализе энергозатрат обычных и «зелёных» жилых зданий. На основе литературных данных сопоставлены показатели годового энергопотребления и экономии энергии для ряда кейсов: новое строительство (например, пассивные дома, сертифицированные зелёные многоквартирные дома) и реновация существующих домов с внедрением энергоэффективных мероприятий. Также рассмотрены результаты термомодернизации ограждающих конструкций, установки энергоэффективного оборудования и интеграции солнечных батарей. Для иллюстрации были отобраны показательные случаи – в том числе опыт зарубежных стран с развитым зелёным строительством (Германия, Финляндия, США, Китай и др.) и примеры из российской практики. Собранные данные стандартизированы для сопоставления (например, удельное энергопотребление в кВт·ч/м² в год, проценты экономии относительно базового варианта). В разделе результатов приводятся сводные количественные показатели по указанным кейсам, а в обсуждении – качественный анализ причин достигнутой экономии и сопутствующих факторов (затраты, климат, нормативная среда и пр.).

Результаты исследования

Общие эффекты внедрения зелёных технологий. Анализ литературы свидетельствует, что применение принципов зелёного строительства в среднем позволяет сократить энергопотребление здания на десятки процентов по сравнению с традиционными технологиями. Согласно обзору международного опыта, экологически устойчивые («зелёные») здания потребляют на 20–40% меньше энергии по сравнению с обычными зданиями аналогичного назначения [4]. Экономия достигается за счёт комплексных мер: улучшенной теплоизоляции и герметичности, энергоэффективного оборудования, оптимального проектирования и использования возобновляемой энергии. Например, энергоэффективные лампы и бытовые приборы позволяют снизить расход электроэнергии на освещение и технику на 20–80% по сравнению с устаревшими аналогами, а системы рекуперации тепла в вентиляции возвращают значительную часть тепловой энергии, которая ранее безвозвратно терялась с вытяжным воздухом [9]. В совокупности меры по энергоэффективности позволяют существенно уменьшить эксплуатационные издержки здания – по некоторым оценкам, жильцы «зелёных» домов экономят до ~50% расходов на коммунальные услуги за счёт сокращения потребления тепла и электричества [10].

Пассивные дома и архитектурные решения. Наиболее впечатляющих результатов удаётся достичь при реализации концепции пассивного дома (*Passive House*). Пассивные дома – это здания с чрезвычайно низким теплопотреблением, достигаемым благодаря совокупности решений: сверхэффективное утепление ограждающих конструкций, устранение тепловых мостиков, герметичный контур здания, теплообменники для вентиляции (рекуператоры), а также максимальное использование пассивных солнечных теплопоступлений и внутренних тепловыделений. В результате потребность в отоплении и охлаждении сокращается на порядок. Полевая проверка первых проектов показала, что фактическое годовое энергопотребление на отопление в пассивных домах составляет около 13–15 кВт·ч/м², тогда как в обычных новых домах оно превышает 60–100

кВт·ч/м² [4]. Таким образом, снижение энергозатрат на климатизацию достигает ~75–90%. На рис. 1 приведено сравнение измеренного удельного отопительного потребления в посёлке низкоэнергетических домов и трёх пассивных жилых комплексах в Германии: видно, что средние затраты тепла в пассивных домах (около 13 кВт·ч/м²·год) почти в 5 раз ниже, чем даже в энергосберегающих домах, построенных по обычным стандартам (≈65 кВт·ч/м²·год) [4]. Такие результаты подтверждают надёжность пассивного стандарта на практике.

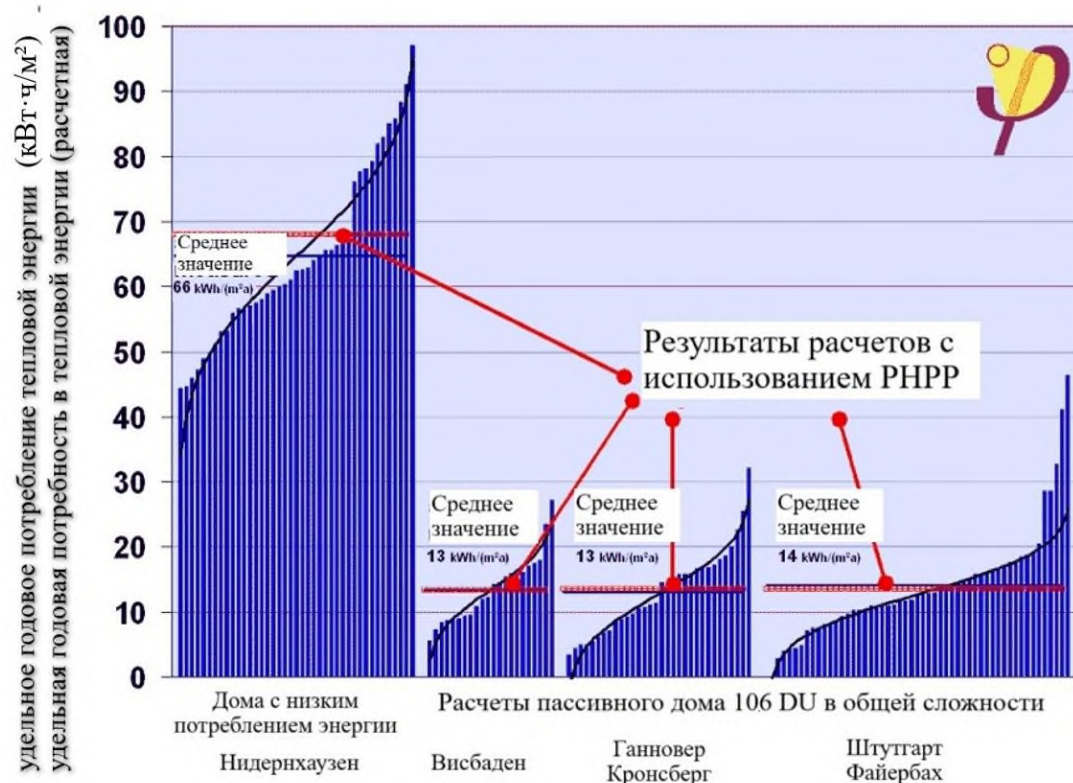


Рисунок 1 – Сравнение годового удельного потребления тепловой энергии (кВт·ч/м²) на отопление: слева – квартал энергоэффективных домов (Германия, 1990-е годы), справа – несколько жилых комплексов, построенных по стандарту пассивного дома. Пассивные дома демонстрируют снижение затрат тепла примерно на 80% относительно обычных энергоэффективных домов [4].

Помимо теплоизоляции, важную роль играет архитектурно-планировочное решение здания. Правильная ориентация дома по сторонам света, оптимальное соотношение площадей остекления и применение солнцезащитных устройств позволяют снизить потребность в искусственном отоплении зимой и кондиционировании летом. Например, моделирование показало, что использование внешних горизонтальных козырьков (навесов) над южными окнами способно уменьшить суммарный годовой расход энергии на кондиционирование здания на ~10% [7]. При этом подобная мера окупается достаточно быстро (порядка 4 лет за счёт экономии электроэнергии на охлаждение) [7]. Другой пассивный приём – компактная форма здания и рациональное зонирование – сокращает теплопотери через наружные стены. В энергоэффективных домах также широко применяются *тёплые окна* (двойное или тройное остекление с селективными покрытиями и заполнением инертным газом), которые снижают потери тепла через окна в 2–3 раза по сравнению с обычными стеклопакетами [2]. Все перечисленные решения совместно обеспечивают значительное сокращение потребности в тепловой энергии без ущерба для комфорта жителей.

Энергоэффективные инженерные системы и материалы. Зелёное строительство опирается на современные инженерные решения, уменьшающие потребление энергии зданиями. Одним из ключевых направлений является внедрение автоматизированных систем управления климатом и освещением («умный дом»), которые оптимизируют работу оборудования под фактические нужды. Например, датчики присутствия и интеллектуальные термостаты позволяют избегать лишнего расхода энергии, автоматически снижая отопление и вентиляцию в пустующих помещениях. Освещение с помощью светодиодных ламп и автоматических датчиков освещённости экономит до 50–80% электроэнергии на свет [2]. Важную роль играют также энергоэффективные материалы. Использование инновационных теплоизоляционных материалов (например, вакуумная изоляция, отражающие теплоэкраны) позволяет снизить коэффициент теплопередачи ограждений при небольшой толщине стен. Применение локальных и экологически чистых материалов (дерево, бамбук, кирпич из вторичного сырья и пр.) снижает *энергозатраты* на их производство и

транспортировку [2], тем самым уменьшая косвенное энергетическое «воплощение» здания. В совокупности инженерные инновации и новые материалы обеспечивают более рациональное потребление энергии без снижения качества среды проживания.

Возобновляемые источники энергии в жилых домах. Одним из важнейших принципов зелёного строительства является переход от ископаемых источников энергии к возобновляемым. В жилых зданиях наибольшее распространение получили солнечные установки – фотоэлектрические панели (для выработки электроэнергии) и солнечные коллекторы (для нагрева воды). Интеграция солнечных батарей в здание позволяет покрыть значительную долю его энергопотребления. Так, расчёты для типового многоквартирного дома показывают, что установка ~20 м² солнечных панелей на крыше может обеспечить порядка 6–7% годовой потребности здания в электроэнергии [7]. При более высокой оснащённости солнечными модулями здание способно вырабатывать половину и более нужной энергии. Особенно эффективны интегрированные фотоэлементы – например, панели, встроенные в фасад или крышу здания (так называемая BIPV – *Building-Integrated Photovoltaics*). На рис. 2 показан пример жилого комплекса в Финляндии, где в архитектуру дома органично включены солнечные панели: они образуют часть навесных фасадных элементов. В условиях северного климата Хельсинки такая система генерирует электроэнергию, снижая зависимость квартир от городских сетей.



Рисунок 2 – Пример интеграции солнечных панелей в жилое здание (экологический квартал Viikki, Хельсинки, Финляндия, 2008 г.). Фотоэлектрические модули встроены в фасадный блок многоквартирного дома и обеспечивают децентрализованную генерацию электроэнергии на месте эксплуатации здания.

Помимо солнечной энергетики, в зелёных жилых домах применяются и другие возобновляемые источники: тепловые насосы, использующие тепло грунта или воздуха для отопления; микро-ветрогенераторы на крышах; системы на биомассе (например, пеллетные котлы) и даже малые геотермальные установки [2]. Каждая из этих технологий покрывает часть потребностей здания в тепле и электричестве за счёт возобновляемой энергии, тем самым уменьшая объём энергии, получаемой из внешних (традиционных) сетей. Современной целью является достижение нулевого энергопотребления (*Net Zero Energy Building*), когда за год здание вырабатывает столько же энергии из возобновляемых источников, сколько потребляет. Пассивный дом, оснащённый солнечными панелями и тепловым насосом, уже способен приблизиться к балансу нулевого потребления [3]. Таким образом, сочетание агрессивного энергосбережения

с генерацией чистой энергии на месте позволяет радикально снизить внешние энергозатраты жилого дома вплоть до нуля.

Эмпирические кейсы и достигнутая экономия. Количественные данные из рассмотренных источников демонстрируют высокий потенциал зелёного строительства по сокращению потребляемой энергии. Обобщены результаты нескольких исследований и проектов, отражающие достигаемую экономию энергоресурсов в жилых зданиях за счёт внедрения различных технологий:

- *Кейс 1:* Реконструкция типового многоэтажного дома в холодном климате (Северный Китай) – проведён комплекс энергоэффективных мер: утепление фасада, модернизация системы отопления и установка солнечных панелей. Получено снижение совокупного годового энергопотребления здания на 63,8% относительно исходного уровня [6]. В том числе, только за счёт монтажа фотоэлектрических панелей энергопотребление удалось снизить почти на 20% [6], а остальной эффект достигнут улучшением теплотехники здания и систем отопления.

- *Кейс 2:* Новый жилой комплекс с пассивными домами (Германия) – сравнение с обычным современным жильём показало, что энергозатраты на отопление снизились на 80–90%, а общее потребление первичной энергии – примерно на 75% при переходе к стандарту *Passive House* [3]. Пассивные технологии (толстый слой изоляции, рекуперация и т.д.) позволили довести удельный расход тепла до ~15 кВт·ч/м²·год, тогда как в контрольных домах он составлял 100+ кВт·ч/м²·год.

- *Кейс 3:* Моделирование улучшений для существующего дома (Флорида, США) – было исследовано влияние пассивных приемов (добавление тени от навесов, утепление стен) и активных (установка солнечных батарей) на энергопотребление односемейного дома. Утепление стен и солнцезащита дали экономию порядка 200 кВт·ч в год на охлаждении [7], что составило около 10% от ежегодного энергопотребления здания [7]. В свою очередь, добавление солнечных панелей позволило достичь баланса потребления – проектируемый дом стал нулевым по годовому энергобалансу, покрывая свои нужды за счёт генерации [7].

Приведённые результаты подтверждают, что даже частичные улучшения (например, только пассивные меры или только возобновляемая энергия) дают заметный эффект, а максимального снижения энергозатрат достигают проекты, где комбинируются все принципы зелёного строительства.

Обсуждения

Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале зелёного строительства в снижении энергозатрат жилого фонда. Достижимая экономия варьируется в широких пределах (от 10–20% до 60–80% и более) в зависимости от глубины применяемых мер и исходных характеристик здания. Так, наибольшая эффективность наблюдается в случаях комплексного подхода – когда ещё на этапе проектирования закладываются пассивные решения, а здание изначально строится по стандартам вроде пассивного дома. В таких случаях энергопотребление удаётся снизить кардинально, практически на порядок, что подтверждается как расчётами, так и многолетним мониторингом реальных объектов [3]. С другой стороны, при модернизации (реновации) существующих зданий потенциал экономии ограничен исходными условиями – однако и здесь примеры показывают возможность более чем двукратного снижения годовых затрат энергии после термомодернизации и установки ВИЭ [6]. Это особенно важно для старого жилого фонда, требующего обновления: инвестиции в энергоэффективность способны существенно улучшить показатели здания.

Следует отметить, что достижение заявленной экономии требует *системного подхода*. Невозможно получить пассивный дом, просто увеличив толщину утеплителя без внимания к остальным аспектам (герметичность, вентиляция, окна). Аналогично, эффект от солнечных панелей будет неполным, если дом по-прежнему транжирит тепло из-за утечек. Поэтому интеграция решений – ключ к успеху зелёных проектов. Опыт показывает, что комбинация пассивных и активных мер часто имеет синергетический эффект: например, высокоизоляционный дом меньшей площади крыши требует меньше панелей для достижения нулевого баланса, а эффективная вентиляция позволяет ставить теплогенератор меньшей мощности.

Другой важный аспект – экономическая оправданность зелёных технологий. Первоначально внедрение энергоэффективных решений может повысить стоимость строительства. По оценкам российских специалистов, строительство дома по принципам «активной энергетической архитектуры» (т.е. с полноценным набором зелёных технологий) приводит к удорожанию на ~10–15% по сравнению с обычным проектом [9]. Тем не менее, долгосрочные выгоды зачастую перевешивают начальные затраты. Операционные расходы на энергию снижаются настолько, что за счёт экономии коммунальных платежей эти вложения окупаются в разумные сроки [8]. Мировой опыт подтверждает: «*energy savings*» в зелёных зданиях обычно превышают возможный «зелёный» ценовой премиум уже в течение первых лет эксплуатации [8]. Более того, возросшее качество жилья (комфорт, здоровье, микроклимат) и повышение рыночной ценности «зелёных» домов также относятся к непрямым экономическим преимуществам, делающим такие проекты выгодными для инвесторов и потребителей [8].

Нужно учитывать и внешние факторы, влияющие на эффективность зелёного строительства. Климатические условия играют значительную роль: в холодных регионах на первый план выходит утепление и сохранение тепла, тогда как в жарком климате – солнцезащита и охлаждение. Например, в скандинавских странах упор делается на сверхнизкие теплопотери (Passive House), тогда как в южных широтах больше внимания уделяется естественной вентиляции и солнцезащите. Кроме того, наличие развитой индустрии энергоэффективных материалов и оборудования в стране влияет на стоимость и доступность технологий. Например, в России, где зелёное строительство только набирает обороты, доля «зелёных» проектов пока невелика (по оценкам, около 5% новых жилых домов имеют экологические элементы [11]). Основные препятствия – нехватка информированности, отсутствие обязательных норм и относительно высокие первоначальные затраты [11]. Тем не менее, тенденции позитивные: ежегодно вводятся сотни сертифицированных объектов [2], создаются национальные стандарты и программы поддержки. Зарубежный опыт и продемонстрированные кейсы показывают, что по мере масштабирования зелёных технологий их стоимость снижается, а эффективность растёт.

Наконец, важно подчеркнуть, что снижение энергопотребления – лишь один из компонентов концепции устойчивого строительства. Помимо энергосбережения, «зелёные» здания обычно обеспечивают снижение водопотребления, более здоровый микроклимат, сокращение отходов и выбросов CO₂. Однако энергетический аспект наиболее легко измерим и экономически ощутим, поэтому именно через энергоэффективность зачастую обосновывается целесообразность зелёного строительства. Представленные результаты убедительно демонстрируют: энергоэффективные дома являются реальным и действенным инструментом для достижения как экологических (сокращение парниковых выбросов, ресурсосбережение), так и социально-экономических целей (уменьшение затрат населения на ЖКХ, повышение качества жилья).

Выводы

Применение принципов зелёного строительства в жилищном секторе доказало свою эффективность в снижении энергозатрат зданий. Проведённый обзор показал, что за счёт комплексных мер – высокоэффективной теплоизоляции, герметичности, пассивных архитектурных решений, энергоэффективных систем и интеграции возобновляемых источников – можно добиться сокращения энергопотребления жилых домов от 20–30% в типичных условиях до 60–80% в передовых проектах. Особо выдающихся результатов достигают пассивные дома, почти не нуждающиеся в отоплении за счёт продуманной конструкции, и «net-zero» здания, самостоятельно генерирующие всю необходимую энергию.

Внедрение зелёных технологий в жилых зданиях сопровождается не только энергетическими, но и экологическими и экономическими выгодами. Снижение потребления энергоресурсов ведёт к эквивалентному сокращению выбросов парниковых газов, улучшению экологической обстановки и повышению устойчивости городов. Одновременно снижаются расходы населения на энергию, повышается качество и комфорт жилья. Дополнительные капитальные затраты на энергоэффективные решения окупаются за счёт экономии эксплуатационных расходов в течение жизненного цикла здания [8].

Таким образом, зелёное строительство представляет собой перспективный и необходимый путь развития жилищной отрасли. Реальные примеры, рассмотренные в статье, подтверждают, что переход к энергоэффективным и экологичным домам – достижимая задача при условии применения комплексного подхода и поддержки на уровне стандартов и государственной политики. В дальнейшем широкое распространение принципов зелёного строительства в Таджикистане и мире позволит существенно сократить совокупное энергопотребление в городах, приблизив нас к целям устойчивого развития и энергетической безопасности.

Широкое внедрение принципов зелёного строительства требует государственной поддержки, информирования населения и стимулирования инвестиций. Особое значение принципы зелёного строительства имеют для Республики Таджикистан, где климатические условия отличаются высокой солнечной активностью, жарким летом и холодной зимой в ряде регионов. Применение пассивных архитектурных решений, использование местных строительных материалов с хорошими теплоизоляционными свойствами, а также внедрение солнечных энергетических систем может значительно сократить расходы на отопление и кондиционирование в жилых зданиях. Развитие зелёного строительства в Таджикистане также способствует улучшению экологической устойчивости, уменьшению зависимости от ископаемых энергоресурсов и снижению уровня энергетической бедности среди населения.

Рецензент: Хасанов Н.Н. — Доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектуры зданий и сооружений» ПЭЛУ имени академика М.С. Осими.

Литература

1. International Energy Agency (IEA). Buildings – Tracking Clean Energy Progress. – IEA, 2022. – URL: [iea.org](https://www.iea.org) (дата обращения: 30.05.2025).
2. Узбекова А. «Зелёное» строительство позволит экономить на оплате энергоресурсов // Российская газета – 2024. – 26 февраля. – URL: rg.rurg.ru.
3. New York Passive House. What is Passive House? – NYPH, 2021. – URL: nypassivehouse.org.

4. https://passipedia.org/operation/operation_and_experience/measurement_results/energy_use_measurement_results#:~:text=Fig,and%20three%20Passive%20House%20settlements (дата обращения: 30.05.2025)
5. Liu T. et al. Sustainability Considerations of Green Buildings: A Detailed Overview on Current Advancements and Future Considerations // Sustainability, 2022, 14(21):14393. – DOI: 10.3390/su142114393.
6. Liu Y. et al. Energy-Saving and Ecological Renovation of Existing Urban Buildings in Severe Cold Areas: A Case Study // Sustainability, 2023, 15(17):12985. – DOI: 10.3390/su151712985.
7. Shahee, A., Abdoos, M., Aslani, A. et al. Reducing the energy consumption of buildings by implementing insulation scenarios and using renewable energies. Energy Inform 7, 18 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00311-9>
8. World Green Building Council. The Business Case for Green Building – WorldGBC Report, 2013. – URL: worldgbc.org
9. Бузало Н.А., Сафин Д.И. Особенности теплотехнического расчета энергоэффективных зданий // Строительство и архитектура, 2017, Т.5, №2. – С. 91–99.
10. Metropolis Group. Энергоэффективный дом: экономия энергии и денег жильцов. – 2021. – URL: metropolis-group.ru
11. Неупокоев Д.А., Лекомцев Д.А. РАЗВИТИЕ ЗЕЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА // Вестник науки №3 (84) том 4. С. 399 - 407. 2025 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.вестник-науки.рф/article/21995> (дата обращения: 31.05.2025 г.)

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАЕ- INFORMATION ABOUT AUTHOR

| TJ | RU | EN |
|--|--|---|
| Усмонов Шўҳрат Заурович | Усмонов Шухрат Заурович | Usmonov Shuhrat Zaurovich |
| Номзади илмҳои техникӣ | Кандидат технических наук | Candidate of Technical Sciences |
| Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хуҷанд | Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в г. Худжанде | Khujand Polytechnic institute of Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: usmonov.shuhrat@gmail.com | | |

ТАВСИЯҲО ОИДИ БЕҲГАРДОНИИ ТАВСИФОТИ АКУСТИКИИ БИНОҲОИ ЧАМЪИЯТӢ

Б.С. Ашурзода, Н.Н. Ҳасанов, Р.Х. Пирматов, З.А. Чумаева

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола тавсияҳо оид ба беҳтар кардани хусусиятҳои акустикии биноҳои ҷамъиятӣ, ки ба баланд бардоштани бароҳатӣ ва вазифаҳои муҳити дохилӣ нигаронида шудаанд, пешниҳод гардида, диққати асосӣ ба намудҳои гуноргуни мушкilotи акустикӣ, ки дар муассисаҳои таълимӣ, маъмурий, фарҳангӣ-фароғатӣ ва тиббӣ ба миён меоянд, дода мешавад. Усулҳои садоҷӯфизӣ ва садофурӯбарӣ, истифодаи масолеҳи замонавӣ сохтмонӣ ва ороишӣ, ҳалҳои лоиҳавӣ оид ба коҳиш додани сатҳи садои фазогиву зарбавӣ таҳлил карда шуданд. Дар натиҷа, чораҳои амалӣ пешниҳод карда шуданд, ки ба ченакҳои меъёрии муҳити акустикӣ мувофиқи талаботи МҚС ва стандартҳои байналмилалӣ ноил шудан мумкин аст. Тавсияҳои пешниҳодгардида метавонанд аз ҷониби меъморон ва тарроҳон ҳангоми тарҳрезӣ ва таҷдиди биноҳои ҷамъиятӣ барои фароҳам овардани муҳити бароҳат ва солими садо истифода шаванд.

Калимаҳои калидӣ: акустика, изолятсияи садо, азхудкунии садо, садо, муҳити садо, басомад, садои ҳаво ва зарба, муҳити акустикӣ.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Б.С. Ашурзода, Н.Н. Хасанов, Р.Х. Пирматов, З.А. Джумаева

В статье представлены рекомендации по улучшению акустических характеристик общественных зданий, направленные на повышение комфорта и функциональности внутренней среды, с акцентом на различные виды акустических проблем, возникающих в образовательных, административных, культурно-развлекательных и медицинских учреждениях. Проанализированы методы звукоизоляции и звукопоглощения, использование современных строительных и отделочных материалов, проектные решения по снижению уровня пространственного и ударного шума. В результате были предложены практические меры, позволяющие достичь нормативных параметров акустической среды в соответствии с требованиями МКС и международными стандартами. Представленные рекомендации могут быть использованы архитекторами и дизайнерами при проектировании и реконструкции общественных зданий для создания комфортной и здоровой звуковой среды.

Ключевые слова: акустика, звукоизоляция, звукопоглощение, звук, звуковая среда, частота, воздушный и ударный шум, акустическая среда.

RECOMMENDATIONS ON IMPROVING THE ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF PUBLIC BUILDINGS

B.S. Ashurzoda, N.N. Khasanov, R.H. Pirmatov, Z.A. Jumaeva

The article presents recommendations for improving the acoustic characteristics of public buildings aimed at improving the comfort and functionality of the indoor environment, with an emphasis on various types of acoustic problems encountered in educational, administrative, cultural, entertainment and medical institutions. The methods of sound insulation and sound absorption, the use of modern construction and finishing materials, design solutions to reduce the level of spatial and impact noise are analyzed. As a result, practical measures were proposed to achieve the regulatory parameters of the acoustic environment in accordance with the requirements of the ISS and international standards. The presented recommendations can be used by architects and designers in the design and reconstruction of public buildings to create a comfortable and healthy sound environment.

Keywords: acoustics, sound insulation, sound absorption, sound, sound environment, frequency, air and shock noise, acoustic environment.

Муқаддима

Муносибгардони тарзу усули лоиҳакашии акустикии муосири биноҳои ҷамъиятии дар таркиби худ ҳучраҳои калонҳаҷмдошта бояд давраҳои махсуси ҳисобҳои муҳандисӣ ва тарҳрезиро, аз ҷумла: арзёбии нишондиҳандаҳои акустикии бинову иншооти тарҳрезӣшаванда; ворид намудани ислоҳоти зарурӣ дар фарзия меъмории ҳучраҳо бо назардошти таҳлили акустикии ҳалли тарҳиву ҳаҷмии онҳо; таҳияи маҷмуи чорабиниҳои садо ва ғалоғуламуҳофизи тоҷорҳо тавассути воситаҳои акустикаи сохтмонӣ бо назардошти талаботи меъёру қоидаҳои сохтмонии амалкунанда ва инчунин, ҳисоби акустикии пешакии ҳучраву тоҷорҳо вобаста ба таъйиноти онҳо ва ғайраро дар бар мегирад.

Барои ба даст овардани садофурӯбарии зарурӣ дар зуддиҳои пасти мавҷи садо, бояд на танҳо масолеҳҳои васеъсамт, балки констрuksияҳои зудии пастдоштаи садофурӯбарро истифода намуд.

Баъд аз ба мувофиқаории талаботи асосии акустикӣ вобаста ба шаклу констрuksия ва масолеҳҳои ороишии муҳити дохилаи ҳучра ва тоҷорҳои биноҳои ҷамъиятӣ, бояд ҳисоби назоратии вақти ревербератсия ва ҳисоби нишондиҳандаҳои акустикии маҳаллӣ (локалӣ) бо истифода аз барномаҳои компютери амсиласозии математикӣ иҷро карда шавад. Дар марҳилаи ниҳии лоиҳакашии акустикии тоҷору ҳучраҳои биноҳои ҷамъиятӣ санҷиши нақшаҳои лоиҳавӣ аз ҷониби мутахассисони самти акустика ҳатмӣ мебошад [1].

Мавод ва усулҳои таҳқиқот

Боиси зикр аст, ки дар раванди лоиҳакашии акустикӣ риояи талаботи асоситарин нисбати андозаҳои геометрии меъморӣ-сохтмони тоlorу ҳучраҳои биноҳо ҳатмӣ буда, маҳаку меъёрҳои асосии меъморӣ-сохтмонӣ, ки хусусиятҳои акустикий онҳоро ифода менамоянд, аз ҷумла ҳалли тарҳиву ҳаҷмии тоlorу ҳучраҳо, шаклу конструкцияҳои ихотадеворҳо, асноби бисоти (мебели) муҳити дохила ва инчунин тамоми ҷузъияти таркибии дизайн-лоиҳаи тоlorҳо ба ҳисоб мераванд.

Ҳуҷҷати асоситарин дар таҳияи лоиҳаи акустикий биноҳо, супоришномаи техникӣ барои лоиҳакашӣ ба ҳисоб рафта, он бояд дар таркиби худ ҷабҳаҳои зеринро дар бар гирифта бошад:

- феҳристи пурраи тамоми тарзу намудҳои истифодабарии тоlorу ҳучраҳо;
- ҳалли тарҳиву ҳаҷмии ҳар яке аз тарзу намудҳои истифодабарии тоlorу ҳучраҳо;
- миқдори умумии тамошобинон ё истифодабарандагон;
- номгӯи таҷҳизоти технологияи зарурӣ барои ҳар яке аз тарзу намудҳои истифодабарӣ;
- масоҳати зарурӣ барои ҳар яке аз тарзу намудҳои истифодабарии тоlorу ҳучраҳо.

Барои ҳисобҳои акустикий ҳар яке аз тоlorу ҳучраҳо муайян намудани бузургии маълумоти ибтидоӣ зарур мебошад [1, 2, 5]. Аз ҷумла:

- V_1 - ҳаҷми нисбии ҳаво барои 1 одам, $\text{м}^3/\text{од.}$;
- N_{\max} – миқдори зиёдтарини одамон, ки дар тоlorу ҳучраҳо ҳузур дошта метавонанд;
- S_n – масоҳати меъёрии тоlorу ҳучраҳо (варзишӣ), м^2 ;
- L ва B – дарозиву бари миёнаи тоlorи тарҳрезиву шаваанда, м ;
- H – баландии миёнаи тоlorи тарҳрезиву шаваанда то шифт ё унсури поёнии қафаса, м ;
- V_{\max} – ҳаҷми умумии зиёдтарини ҳавои тоlor, м^3 .

Бо мақсади интиҳоби андозаҳои мусоидтарини тоlorу ҳучраҳо ва афзоиш додани паҳншавии майдони садо дар дохили онҳо, андозаҳои асосӣ ва таносуби тарафҳо бояд ҷавобгӯ ба талаботи зерин бошанд [1, 2]:

$$V_{\max} = N_{\max} V_1;$$

$$B = S_n/L; \quad H = V_{\max}/S_n \quad (1)$$

$$1 < L/B < 2; \quad 1 < L/H < 2.$$

Дар мавриди тарҳрезии акустикий тоlorу ҳучраҳои биноҳои ҷамъиятӣ пешгирӣ намудани истифодаи сатҳои ҳамвору мувозӣ ё қачхатаи масоҳати калон ниҳоят муҳим мебошад. Мавҷудияти чунин сатҳҳои ҳамвору мувозӣ (оддатан, деворҳои муқобил) боиси пайдо гардидани инъикоси садои “парвозкунанда” шуда, сатҳои қачхатаи маркази қачиашон дар дохили ҳаҷми ҳавоии тоlor ҷойгирифта (хусусан дар наздикии ҷойҳои нишаст) сабаби ба вуҷуд омадани ҷамъшавии номатлуби мавҷҳои садо мегарданд.

Дар натиҷаи амалисозии таҳлилу тадқиқоти назариявӣ оиди таснифоти масолеҳҳои акустикӣ ва садомуҳофизи дар лоиҳакашии акустикий биноҳои шаҳрвандӣ истифодашаванда муайян карда шуд, ки онҳо бо назардошти вазифаҳои таъйинотиашон метавонанд ба намудҳо гуногун, 1 - масолеҳҳои садофурӯбаранда, ки барои бартараф намудани ғалоғулаи ҳавой ва танзими хусусиятҳои акустикий ҳучраҳо, 2 - масолеҳҳои садомуҳофизи дар зери таркиби фаршҳои “шинокунанда” ва конструкцияҳои бисёрқабата бо мақсади ҳифзи онҳо аз садоҳои зарбавӣ ва ҳавой пешбинишаванда ва 3 - масолеҳҳои бартарафкунандаи ларзиш, ки ба воситаи конструкцияҳои мазбӯт (асосан, тунук) паҳн мешаванд, ҷудо мегарданд.

Хусусиятҳои ҳар намуди масолеҳҳои акустикӣ ва садомуҳофизиро баррасӣ менамоям. Намуди аввал бо мақсади садомуҳофизи фаршҳои “шинокунанда” ва конструкцияҳои бисёрқабатаи ихотавӣ мавриди истифодабарӣ қарор дода мешавад.

Фаршҳои “шинокунанда” яке аз намудҳои конструктиви фаршҳо мебошанд, ки қисмати рӯйпӯши онҳо аз асос ба воситаи зерқабати чандиру ёзанда ҷудо карда шудааст. Дар чунин фаршҳо хусусан сатҳи садо ва мағали зарбавӣ паст гардида, ба сифати масолеҳи зерқабатӣ намудҳои гуногунсохт, ба монанди бўрҳои садомуҳофизӣ, резину сабукмағзӣ, виброакустикӣ ва лавҳаҳои маъданпахтагину мембранаҳои махсуси эластикӣ пешбинӣ карда мешаванд. Таснифоти масолеҳҳои зерқабатии фаршҳои мазкур дар ҷадвали 1 дар ҷарда шудааст.

Чадвали 1 - Таснифоти масолеҳҳои зерқабаҳои фаршҳои “шинокунанда”

| Масолеҳ | Хусусият ва бартариҳо | Самаранок коҳиш додани садои зарбавӣ (ΔL_{nw}) |
|---|---|--|
| Бӯрҳои садомуҳофиз (полиэтеленӣ хафкарда) | Сабук ва арзон буда, осон ҷобачогузорӣ мешаванд | то 20-25 дБ |
| Лавҳа аз маъданпахта (Rockwool Floor Batts, Knauf)) | Садо ва гармимуҳофизи олидараҷа, оташтобонавар | то 28–30 дБ |
| Бӯрҳои резину сабукмағз | Аз нуқтаи назари экологӣ муфид, тобонавар ба таъсирот, пурдошт | то 28–32 дБ |
| Бӯрҳои виброакустикӣ (Sylomer, Vibroflex) | Вибратсия ва садои зарбавиро коҳиш дода, дар ҳолатҳои махсус истифода мегарданд | то 35–38 дБ |
| Мембранаҳои махсуси эластикӣ (Tecsound и аналогӣ) | Тунук ва вазнин буда, ба болопуш ҷаспонида мешаванд | то 35–38 дБ |

Конструкцияҳои бисёрқабатаи ихтосавӣ (девору болопушҳо) бо мақсади муҳофизат аз садои ҳавой (нутқонӣ, мусиқа ва ғ.) пешбинӣ мегарданд, ки дар он вазну ҷандири ва ҷудокунӣ муҳим мебошад. Самти истифодабарӣ ва хусусият як қатор масолеҳҳои садомуҳофизӣ, ки метавонанд дар таркиби конструкцияҳои бисёрқабатаи ихтосавӣ пешбинӣ гарданд, дар чадвали 2 оварда шудаанд.

Чадвали 2 – Масолеҳҳои омтавии садомуҳофизӣ

| Масолеҳ | Самти истифодабарӣ | Хусусият |
|--|--|---|
| Маъданпахтаи базалтӣ | Дар дохили синҷи миёнадеворҳои гачкартонӣ | Садофурӯбарии хуб, оташтобонаварӣ |
| Бӯр ва лавҳаҳои акустикӣ (Shumanet, Sonoplat) | Дар байни варақаҳои гачкартонӣ, дар девору зери фаршҳо | Зичии гуногун дошта, васлкуниашон ниҳоят осон мебошад |
| Мембранаҳои садомуҳофиз (Tecsound, BlockAid) | Муҳофизати байниқабатаи деворҳо, фаршу шифтҳо | Зичии ниҳоят баланд дошта, ҷандиру ёзанда мебошад |
| Тасмаву зерқабаҳои садомуҳофизӣ (дар синҷҳо) | Зерқаба барои мақтаҳои филизӣ ва ҷоқҳо | Интиқоли вибраторро пешгирӣ менамоянд |
| Лавҳаҳои садомуҳофизи шишанахӣ (Акустик Баттс, Isover ва ғ.) | Миёнадеворҳои синҷӣ | Таъсироти инъикоси садоро коҳиш медиҳанд |
| Сендвичлавҳаҳо дар асоси гачнахҳо ва мембранаҳо | Дар миёнадеворҳои ихчам, студияҳо | Вазни зиёд ва садомуҳофизӣ дар ғафсҳои камтарин |

Натиҷаҳо

Дар таҷрибаи муосири лоиҳакашии акустикӣ инчунин системаҳои маҷмуии садомуҳофизӣ васеъ истифода мегарданд. Бо мақсади ба даст овардани самарани хуби садомуҳофизӣ масолеҳҳои гуногуни баррасишуда дар омехтагӣ истифода карда мешаванд, ки дар натиҷа онҳо метавонанд барои паст намудани сатҳи ҷӣ садои ҳавой ва ҷӣ зарбавӣ мусоидат намоянд. Масалан, миёнадеворҳои аз ду қабати варақаҳои гачкартонӣ ва маъданпахта сохташуда тақрибан метавонанд сатҳи садоро то 50-55 дБ, фарши “шинокунанда” бо қабатҳои маъданпахтаву ҳамворкунанда то 30-35 дБ ва миёнадевори бисёрқабата бо мембрана то 60 дБ коҳиш диҳанд.

Бо мақсади ба даст овардани бузургҳои назарраси коэффитсиенти садофурӯбарии масолеҳу конструкцияҳои акустикиву садомуҳофизӣ, хусусан нисбати лавҳаҳои акустикӣ як қатор талаботи умумӣ пешбинӣ карда мешаванд. Аз ҷумла:

- ғафсии лавҳаҳои акустикӣ бояд дар ҳудуди 50-100 мм пешбинӣ шуда, онҳо дорои нишондиҳандаҳои зарурии физикиву техникӣ ва истифодабарӣ бошанд;
- намуди зоҳириашон ба талаботи дизайни лоиҳа ва ҳалли меъморӣ муҳити дохила ҷавобгӯ бошад;
- дорои коэффитсиенти шаклие бошанд, ки барои пайдо намудани сатҳҳои қатъаттаи қабати рӯйпӯши садофурӯбаранда имконият фароҳам оваранд;
- иҷрои талаботи зиддисухториро ба пуррагӣ таъмин намуда, насӯзанда бошанд ва ба паҳншавии сӯхтор имкон надиханд;
- гармо- ва намиустувор буда, хусусиятҳои садомуҳофизи худро дар давоми тамоми давраи истифодабарӣ нигоҳ дошта тавонанд;
- имконияти тозакуни дошта, ранги аввалии худро нигоҳ доранд;
- ба талаботи санитариву беҳдошти мувофиқат намоянд;
- осонии васлу насбуниро таъмин карда, дар ҳолатҳои зарурӣ имконияти иваз намудани унсурҳои осебдидаи ороиширо таъмин намоянд.

Чун қоида, бо мақсади таъмини шароитҳои бохузуру ҳаловати акустикӣ дар толору ҳуҷраҳои биноҳои ҷамъиятӣ, баъди интиҳоби бузургҳои мусоидтарини меъморӣ-сохтмонӣ онҳо, дар асоси талаботи меъёру стандартҳои мавҷуда ҷорабиниҳои муҳофизат аз воридшавии садо ва ғалоғулаи беруна таҳия ва пешбинӣ карда мешаванд [2, 3, 7].

Садову ғалоғулаи аз муҳити беруна ва таҷҳизоти муҳандиси ба биноҳо воридшаванда натиҷаи таъсири садогии дохилаву беруна мебошанд, ки ба ҳуҷраҳои бино интиқол гардида, ҳузуру ҳаловати акустикии онҳоро ҳалалдор месозанд.

Дар асоси талаботи меёру қоидаҳои сохтмонӣ ва санитарии амалкунандаи соҳа (СП 51.13330, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03) сатҳи садову ғалоғула дар биноҳои шаҳрвандӣ, аз ҷумла истиқоматӣ бояд дар давоми рӯз на зиёд аз 30-35 дБ ва шабона 25-35 дБ-ро ташкил диҳад. Индекси ҳавоии садомуҳофизӣ (R_w) барои конструкцияҳои ихтотавӣ берунаву дохила бошад, бояд барои деворҳои байниманзилӣ на кам аз 45 дБ ва на кам аз 50 дБ-ро барои тирезаҳои ба тарафи кӯчаҳои сермағал кушодашаванда ташкил диҳад.

Садову ғалоғулаи воридшаванда ба воситаи конструкцияҳои сохтмонӣ ё сӯрохиву тарқишҳои дар биноҳо мавҷуда пайдо шуда, ҳисоби сатҳи он ҳанӯз дар марҳилаи лоиҳакашӣ метавонад самаранокии чорабиниҳои садомуҳофизиро муайян созад.

Омӯзишу таҳлили равад собит месозанд, ки ҳоло дар таҷрибаи муосири лоиҳакашии акустикӣ як қатор тарзу усулҳои ҳисоби садоҳои воридшаванда, ба монанди усули энергетикӣ, амсиласозӣ бо истифода аз барномаҳои компютерӣ, муайянсозии коэффитсиенти садофурӯбарии масолеҳҳо ва истифодаи индексҳои садомуҳофизӣ (R_w , L_{nw} , D_nT, A .) мавриди истифодаи васеъ қарор дода шудаанд [4, 5, 6].

Асоси усули энергетикӣ арзёбии мувозинаи энергетикӣ мавҷҳои садо дар байни ҳуҷраҳо ва ё муҳити берунаву дохилаи онҳо ташкил медиҳад ва бо формулаи 2 барои ҳисобҳои оддии конструкцияҳои ихтотавӣ (девору тиреза ва болопӯшҳо) муайян карда мешавад [1, 2, 3].

$$L_2 = L_1 - R + 10 \times \log(S/A) \quad (2)$$

Дар ин ҷо: L_2 — сатҳи садо дар ҳуҷраи ҳифзшаванда, дБ;

L_1 — сатҳи садо дар манбаъ, дБ;

R — индекси садомуҳофизии ихтотаконструксия, дБ;

S — масоҳати ихтотаконструксия, m^2 ;

A — масоҳати эквивалентии садомуҳофизӣ дар ҳуҷра, m^2 .

Намунаи ҳисоб (соддакардашуда):

Маълумоти ибтидоӣ: - садои беруна $L_1 = 75$ дБ (кӯча); - $R_{тиреза} = 30$ дБ;

- масоҳати тиреза $S = 2 m^2$; - масоҳати садофурӯбарии ҳуҷра $A = 10 m^2$.

Дар ин ҳол: $L_2 = 75 - 30 + 10 \times \log(2/10) \approx 75 - 30 - 7 \approx 38$ дБ.

Натиҷаи ҳисоб собит мезоад, ки он аз сатҳи имконпазири меёрӣ зиёд буда (меёрӣ — то 35 дБ), бояд сатҳи садомуҳофизӣ афзоиш дода шавад.

Тарзи дигари ҳисоби садои ба бино ва ҳуҷраҳои он воридшаванда, тарзи арзёбӣ вобаста ба индекси садомуҳофизӣ (R_w) ба ҳисоб рафта, он ҳатман дар шароити озмоишгоҳӣ амалӣ карда мешавад ва натиҷаҳои ба дастомада бо нишондиҳандаҳои меёрӣ зарурӣ, масалан бо СП 51.13330 бояд муқоиса карда шавад.

Муҳокима

Барои амалисозии ҳисоби мазкур бояд аввалан индекси садомуҳофизии конструкция R_w муайян карда шуда, он бо нишондиҳандаҳои меёрӣ муқоиса гардад ва баъдан масъалаи зарурати пуркуваткунии конструкцияҳо нисбати воридшавии садо арзёбӣ шавад.

Ҳисоби навбатӣ бо назардошти омехташавии унсурҳои конструктивӣ иҷро карда мешавад. Дар ин маврид садомуҳофизии маҷмӯӣ бо назардошти мавҷуд будани тирезаҳо, воситаҳои ҳавотозакунӣ, дару унсурҳои дигар дар асоси формулаи 3 ҳисоб карда мешавад.

$$1/R_{маҷ} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n \quad (3)$$

Дар ин ҷо: $R_{маҷ}$ — садомуҳофизии маҷмӯии тамоми конструкция;

$R_1 \dots R_n$ — индексҳои садомуҳофизии унсурҳои алоҳида (тирезаҳо, дару деворҳо ва ғ.).

Дар иҷрои тарзи ҳисоби садои зарбавӣ индекси овардашудаи сатҳи садои зарбавӣ ($L_{n,w}$) истифода мегардад, ки он васоити таҷҳизоти махсуси зарбавӣ ва вобаста аз намуди конструктивии фарш чен карда мешавад. Барои амалӣ намудани ҳисоби мазкур дастрас будани маълумотномаи конструктивӣ ва техникаи фарш ва чадвали тасҳеҳии зерқабатҳои садомуҳофизӣ истифода карда мешаванд [1, 9, 10].

Тарзи ҳисоби муосири мурракаби садои зарбавӣ бо истифода аз маҷмааҳои барномавии компютерӣ ба ҳисоб рафта, дар таҷрибаи имрӯза барномаҳои CadnaA, INSUL, SoundPLAN ва LIRA-SAPR мавриди истифодабарии васеъ қарор доранд. Дар чадвали 3 таснифоти имкониятҳои барномаҳои болозикр оварда шудааст.

Чадвали 3 - Таснифоти имкониятҳои барномаҳои компютерӣ ҳисоби садои зарбавӣ

| Таъминоти барномавӣ | Имкониятҳо |
|---------------------|---|
| CadnaA | Ҳисоби паҳншавии садои беруна (нақлиёт, роҳу кӯчаҳо) |
| INSUL | Ҳисоби садомуҳофизии конструкцияҳои бисёрқабата |
| SoundPLAN | 3D - амсиласозӣ |
| LIRA-SAPR | Арзёбии вибратсия ва таъсири ғайримустақими садову ғалоғула |

Хулосаҳо

1. Муносибати маҷмӯӣ нисбати акустика дар марҳилаҳои лоиҳакашӣ имконият медиҳад, ки ба таври назаррас баланд бардоштани ҳузуру ҳаловати муҳити савдори баланд ва хароҷоти минбаъдаро барои чораҳои ислоҳкунӣ коҳиш диҳад.

2. Истифодаи дурусти масолеҳҳои садофурӯбаранда ва садохуфизӣ дар ороиши шифтҳо, деворҳо ва фарши хучраҳо фаҳмо ва буррогии нуткронино бехтар гардонида, сатҳи умумии садову ғалогулаи номатлубро дар хучраҳо метавонад паст намояд.

3. Шакли дурусти геометрии ва тархрезии хучраҳо ба паҳншавии баробари садо мусоидат намуда, минтақабандии фазоҳои таъиноти барои назорати интиқоли садову мағал дар байни хучраҳо мусоидат менамояд.

4. Истифодаи шифтҳои овезон, фаршҳои “шинокунанда” ва лавҳаҳои акустикӣ метавонанд боиси ҳалли босамари мушкилоти садову мағали зарбавию фазой дар биноҳои ҷамъияти гарданд.

Муқарриз: С.Ш. Ҷурахонзода — номзоди меъморӣ, Реҷтори Донишқадаи давлатии Санъати тасвирӣ ва дизайни Тоҷикистон

Адабиёт

1. СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Москва, 2018. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 ноября 2018 г. № 728/пр и введен в действие с 16 мая 2019 г. – 33 с.

2. ГОСТ 12.1.036. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. – 4 с.

3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. – 19 с.

4. Архитектурная физика / под ред. Н.Ф. Оболенского. – М.: Стройиздат, 2005. – 443 с.

5. Буток 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. 1647–165.

6. Гольдштейн, А. А. Основы акустического проектирования в архитектуре. [Текст] / А. А. Гольдштейн // Архитектура-С. - Москва, 2008. – С. 118-124.

7. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М.: Стройиздат, 1975. – 278 с.

8. Ильичев И.А., Рыжих И.Н. Архитектурная акустика // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2016. С. 2672–2675.

9. Ковригин, В.М. Архитектурно-строительная акустика / В.М. Ковригин, С.И. Крышов. – М.: Высшая школа, 1986.

10. Мельников Е.Д., Агеенко М.В. Архитектурно-строительная акустика. Воронеж. гос. архитектурно-строительный ун-т, 2015. 60 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/54990.html>.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|--|
| Ашурзода Бахтиёр Саидкул унвонҷӯй | Ашурзода Бахтиёр Саидкул соискатель | Ashurzoda Bakhtiyor Saidkul applicant |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: ashurBS@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич | Хасанов Нозимшо Назокатшоевич | Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich |
| Доктори меъморӣ, профессор | Доктор арх., профессор | Doctor of Architecture, Professor |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: nozimsho-58@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Пирматов Раҳматулло Ҳамидуллоевич | Пирматов Раҳматулло Ҳамидуллоевич | Pirmatov Rahmatullo Hamidulloevich |
| Номзоди илмҳои техники, профессор | Кандидат технических наук, профессор | Candidate of Technical Sciences, Professor |
| Донишгоҳи давлатии нақлиёти ш. Тошканд, Ҷумҳурии Ўзбекистон | Ташкентский государственный университет транспорта, Республика Узбекистан | Tashkent State University of Transport, Republic of Uzbekistan |
| E-mail: prx55@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Ҷумаева Замира Аҳмедовна унвонҷӯй | Джумаева Замира Ахмедовна соискатель | Jumaeva Zamira Akhmedovna applicant |
| ДТТ ба номи акадмик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E-mail: mira@mail.ru | | |

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОР НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА**А.А. Акрамов**

Таджикский технический университет имени академик М.С. Осими

В данной статье анализируются способы образования пузырьков воздуха, как возникающих самопроизвольно, так и создаваемых намеренно – в бетонной матрице, принцип их защиты от разрушения при воздействии низких температур, показатели качества этих пор и трудности, связанные с производством бетона, содержащего искусственно добавленный воздух.

Ключевые слова: воздушные поры, цемент, бетон, морозостойкость, прочность, плотность.

ТАЪСИРИ КОВОКИҲОИ ҲАВОӢ БА САРДИТОБОВАРИИ БЕТОН**А.А. Акрамов**

Дар мақолаи мазкур усулҳои ба вучуд омадани ҳубобҳои ҳавоӣ дар омехтаҳои бетонӣ, принсипи аз нобудшавӣ муҳофизат намудани онҳо ҳангоми таъсири ҳарорати паст, нишондиҳандаҳои сифатии ин ковокиҳо ва мушкилиҳои истеҳсоли бетони дар таркибашон ҳавои сунӣ иловашуда таҳлил карда мешаванд.

Калидвожаҳо: сӯрохиҳои ҳаво, семент, бетон, ба сардитобоварӣ, мустаҳкамӣ, зичӣ.

INFLUENCE OF AIR PORES ON FROST RESISTANCE OF CONCRETE**A.A. Akramov**

The methods of formation of air bubbles – both spontaneous and intentionally created – in the concrete matrix, the principle of their protection from destruction when exposed to low temperatures, the quality indicators of these pores and the difficulties associated with the production of concrete containing artificially added air are analyzed.

Keywords: air pores, cement, concrete, frost resistance, strength, density.

Введение

Пористость бетона, влияющая на его характеристики, состоит не только из микропор, формирующихся в процессе гидратации цемента, но и включает воздушные поры. Как и другие типы пор, они негативно сказываются на большинстве качеств материала, однако оказывают специфическое воздействие на устойчивость к замораживанию – потенциально увеличивая её. Хотя значительное улучшение морозостойкости благодаря намеренному добавлению воздуха широко известно, вклад естественных воздушных пор, возникающих из-за захваченного воздуха, остаётся предметом споров. Поэтому целесообразно изучить оба типа воздушных пор под единым углом зрения [11].

Бетон обладает сложной структурой и включает в себя не только основные ингредиенты, но и воздух, попадающий в бетоносмеситель и накапливающийся в пространстве между частицами заполнителя. В ходе перемешивания значительная доля этого воздуха выталкивается мельчайшими фракциями и водой, однако некоторая его часть сохраняется в конечном продукте.

В подвижных смесях, которые уже при перемешивании приобретают связную структуру, воздух представлен изолированными пузырьками. Их формирование (защемление воздуха) происходит в зазоре определенного размера. Они характерны в основном для песчинок и могут рассматриваться как «ловушки» для воздуха. В процессе образования смеси узкие пустоты могут быть засыпаны цементным тестом, а воздух в широких частях пустот находится в раздельном состоянии. Остальные зазоры заполняются цементным тестом.

В процессе перемешивания смесь насыщается воздухом, проникающим в существующие дефекты структуры. Возникают резкие разрывы, крупные пузыри поднимаются к поверхности, а более мелкие удерживаются внутри однородной массы.

Силы поверхностного натяжения водных слоев пузырьков придают им сферическую форму.

Воздухововлечение увеличивается с повышением отношения песка к цементу. На практике это происходит при увеличении доли песка в смеси или уменьшении НК заполнителей. Количество воздуха в мелкозернистом бетоне выше.

Защемленный воздух частично удаляется вибрацией. Это относится к большинству пузырьков и зависит от толщины смешанного слоя, степени его разжижения и продолжительности вибрации.

В твердых смесях при их уплотнении задерживается воздух. В смешанной (сыпучей) смеси он представлен сообщающимися между собой каналами. При сжатии смесь оседает, воздушные каналы сужаются, а их стенки в узких местах смыкаются, задерживая воздух при расширении. Жидкая фаза становится непрерывной, и смесь приобретает структуру смеси. Если этого не происходит (при недостаточном уплотнении), в формованной смеси остаются воздушные каналы и образуются пузырьки (полости), которые обычно выходят на поверхность. Они также возможны в подвижных смесях, не заполняя пространство формы или зазор между арматурными стержнями. Эти дефекты бетона, возникшие в результате нарушения технологии формования, необходимо отличать от естественных воздушных пор, оставшихся при качественном сжатии. В твердом бетоне воздушные поры не всегда имеют сферическую

форму, а могут воспроизводить форму пустот между зёрнами заполнителя и частично контактировать с их поверхностью.

В процессе затвердевания бетона имеющиеся при уплотнении воздушные включения преобразуются в воздушные поры. Как правило, они обладают округлой формой, а их стенки состоят из цементного геля с капиллярами, которые расходятся к поверхности пор. Когда бетон насыщается влагой, капилляры наполняются водой, однако воздушные поры продолжают удерживать воздух внутри себя.

В целом улучшение основных характеристик бетона напрямую связано с уменьшением количества пор в нем. Однако, когда речь идет о морозостойкости, важную роль играет не общий объем пор, а их структура. Чтобы обеспечить эту способность, в насыщенном водой бетоне необходимо наличие специальных воздушных пустот, способных расширяться и компенсировать увеличение объема воды при замерзании.

К ним относятся:

- воздушные полости, образующиеся вследствие усадки материала;
- воздух, фиксирующийся в капиллярах после частичного высыхания бетона во время эксплуатации;
- поры, возникшие естественным путем или созданные посредством добавления воздуха при производстве смеси.

Контракция (уменьшение объема взаимодействующих цемента и воды) создает вакуум в капиллярных порах. Он «гасится» за счет поглощения извне среды, в которой затвердевает бетон, обычно воздуха. Степень морозостойкости, которой обладает обычный бетон, достигается в том числе за счет воздухововлечения.

Во время работ летом бетон обычно сухой. Осенняя влажность вызывает поглощение воды капиллярами, а в части их объема сопровождается перекрытием воздуха. Положительная роль высыхания бетона в повышении его холодности отмечена неоднократно. К сожалению, этот процесс сложно регулировать. [1]

Воздушные поры выступают как основной тип резервной пористости бетона, поддающийся контролю. Именно они играют ключевую роль в повышении устойчивости материала к воздействию низких температур [2].

Влияние воздушной пористости

Разрушение бетонной структуры при воздействии низких температур обусловлено не только механическим воздействием расширяющегося льда (сопровождающимся увеличением объема до 9%), кроме того, в капиллярных порах возникает гидростатическое давление из-за выталкивания избыточной влаги, увеличивающееся с расстоянием до источника воды и потенциально превышающее допустимую прочность сосудов пор.

Благодаря воздушным порам бетон получает некоторую устойчивость к разрушению под воздействием низких температур, образуя тонкий слой защиты вокруг частиц цементного состава. В этих порах происходит смещение воды, которое не приводит к значительному увеличению напряжения материала [12]. Чем мельче размеры внутренних полостей, тем выше общая площадь их поверхностей и большая территория каменного состава цемента, подверженная их воздействию. Чтобы проиллюстрировать данный принцип, выполнены вычисления относительно защитного слоя из цементного материала толщиной в четверть миллиметра. (см. табл. 1).

Таблица 1 – Количество материала с цементом, ограждаемого 1 литром воздухововлекающих пор различного размера

| Размер пор, мм | Удельная поверхность пор мм ² /мм ³ | Объем защищенного цементного камня, л |
|----------------|---|---------------------------------------|
| 1 | 6 | 1,5 |
| 0,5 | 12 | 3 |
| 0,3 | 20 | 5 |
| 0,1 | 60 | 15 |

Крупные поры оказывают незначительное защитное воздействие (ими можно пренебречь), а значительный эффект наблюдается лишь при размерах пор, находящихся в диапазоне от 0,3 до 0,5 мм, поэтому влияние запасных пор незначительно. Даже при условии насыщения материала водой в количестве до 100 литров на м³ (что указывает на высокую капиллярную пористость примерно в 10%), высвобожденное количество жидкости составит лишь около 9 литров на м³. Для удержания такого малого объема вполне достаточно задействовать 1% всех имеющихся воздушных пор. Главное значение имеет их близость к зонам замерзания: рядом с потенциальной точкой образования льда должна располагаться воздушная полость. Добиться этого возможно путем сокращения размера пор и увеличения их общего количества.

Например, уменьшение размера в десять раз приведет к тысячекратному увеличению числа пор, которые и будут более равномерно распределены в бетоне.

При рассмотрении процессов разрушения бетона под воздействием низких температур важно подчеркнуть роль гидравлического давления как ключевого фактора. Именно оно позволяет понять эффективность воздушных пор в качестве защитного элемента структуры материала.

В бетонных конструкциях, изготовленных как из легко перемешивающихся, так и из менее подвижных составов, естественные пустоты присутствуют в объеме от 1 до 2%. Их размер обычно варьируется от 0,05 до 2 миллиметров, что ограничивает их способность к защите. Однако в определенных ситуациях концентрация этих пор значительно повышается, а также увеличивается доля небольших пор, благодаря чему улучшаются характеристики морозостойкости бетона.

Типичным примером являются мелкозернистые бетоны, где доля воздушных пор может достигать 3-6% и даже превышать этот показатель. При одинаковом соотношении воды к цементу такие бетоны характеризуются меньшей плотностью и прочностью, но при этом демонстрируют значительно лучшую морозостойкость по сравнению с традиционными бетонными смесями [3]. Важно учитывать, что улучшение характеристик морозостойкости также обусловлено более качественным контактом между цементным вяжущим и заполнителем в мелкозернистых бетонах; увеличение размера заполнителя обычно ведет к увеличению дефектов этого контакта.

При использовании бетона с крупным наполнителем увеличение количества песка в составе смеси способно увеличить количество воздушных пор [13]. Согласно исследованиям О.В. Кунцевича [2], повышение этого показателя с 0,33 (оптимальное значение с точки зрения прочности) до 0,5 при неизменном соотношении воды и цемента улучшало морозоустойчивость материала от 107–120 до 400 циклов замораживания и оттаивания. При этом использовались бетонные смеси с низкой подвижностью, где добавление песка существенно способствует удержанию воздуха.

Устойчивость бетона к низким температурам улучшается благодаря уменьшению текучести бетонной массы и особенно при использовании плотных составов [2, 4]. В таких бетонах наблюдается сокращение количества связанного цемента в сочетании с увеличением доли воздуха, а также уменьшение этого размера происходит за счет того, что слои цемента, окружающие эти пустоты, становятся тоньше. При этом необходимо учитывать, что подобное воздействие возможно только в случае тщательной обработки плотной смеси.

Использование модификаторов, генерирующих микроскопические воздушные пустоты внутри структуры бетона, значительно повышает его сопротивление разрушению при отрицательных температурах. Морозостойкость обычного бетона зачастую ограничена примерно двумя сотнями циклов попеременного замораживания и оттаивания, тогда как технология создания искусственных воздушных пор обеспечивает стойкость в пределах от тысячи до двух тысяч циклов [2, 5, 8]. Компоненты, добавляемые в бетонную смесь, снижают поверхностное натяжение воды и тем самым [6]:

- облегчают формирование и распределение воздушных пустот в процессе перемешивания;
- адсорбируясь на стенках образующихся пузырьков (границе между водой и воздухом), наделяют их одинаковым электрическим зарядом, предотвращая их объединение;
- стимулируют распад крупных воздушных пузырей на более мелкие.

В смеси образуются микроскопические пузырьки, которые остаются внутри материала даже при перемешивании и сжатии. При застывании они преобразуются в воздушные пустоты диаметром от 0,01 до 1 мм, наиболее часто встречающиеся размером около 0,1 мм. Благодаря своему малому размеру и большому количеству эти пустоты значительно повышают устойчивость бетона к воздействию мороза.

Определение воздушных пор по объему пустот в материале

Одним из преимуществ использования воздушных пор является возможность их идентификации непосредственно в бетонной смеси по объему, а также относительно простая процедура измерения их характеристик после того, как бетон затвердеет.

Один из самых элементарных показателей – количество воздуха. При анализе учитывается, возник естественным путем или образовался благодаря специальному компоненту, способствующему насыщению воздухом. Если качество этого компонента не вызывает сомнений, то, вероятно, поры будут мелкими и обладают высокой эффективностью.

Таблица 2 – Требования к бетону для гидротехнических конструкций

| НК заполнителя, мм | Объем вовлеченного воздуха, % при В/Ц>0,5 |
|--------------------|---|
| 10 | 5-7 |
| 20 | 4-6 |
| 40 | 3-5 |
| 80 | 2-4 |

Вместо того чтобы учитывать объем воздушных пустот в расчетах по прямому соотношению с объемом бетона целесообразнее анализировать арматурные элементы в связи с объемом цементного камня, который они окружают и обеспечивают надёжную защиту. На практике это учитывается косвенно, например, через увеличение нормы воздухововлекающих добавок в бетонах с мелкозернистыми заполнителями, где процентное содержание цементного камня значительно больше. Требования к бетону, предназначенному для гидротехнических сооружений, отражены в таблице 2 по стандарту ГОСТ 26633.

Технология производства базируется на бетоне, благодаря чему возможна быстрая адаптация производственного процесса. Используют две методики. Самая элементарная из них заключается в сравнении реальной плотности бетона с той, что была предварительно определена посредством формулы абсолютных объемов – при этом вычисляется и показатель степени уплотнения бетонной массы. Несмотря на то, что данный подход не всегда даёт абсолютно точные результаты, это в неточности в определении предполагаемой плотности компонентов смеси обуславливают проблему. Улучшить точность анализа возможно за счет сопоставления расчетных значений с реальными показателями плотности бетона: первоначально в чистом виде, а затем уже после добавления модификаторов. Сравнительный анализ этих данных даст возможность оценить объем воздуха, вовлеченного в состав материала. Вместе с тем самым достоверным подходом остается измерение давления согласно требованиям стандарта ГОСТ 10181.

Невозможно точно установить размеры образующихся воздушных включений, что является ограничением данного метода. Несмотря на применение добавок, увеличивающих вероятность попадания воздуха, их величина остаётся неустойчивой из-за влияния множества факторов – типа добавок, соотношения компонентов смеси, продолжительности вибрации и прочих [6]. Таким образом, предпочтительнее использовать критерии, которые позволяют учитывать габариты этих же воздушных пор.

Для определения характеристик воздушности бетона проводят микроскопические исследования шлифов. Одним из наиболее распространенных показателей является количество воздушных пор малого размера (диаметром до 0,3 мм), который позволяет оценить их влияние на свойства материала. Однако этот метод не различает поры в диапазоне размеров от 0,01 до 0,3 мм по степени их эффективности. Альтернативой является «фактор расстояния», предложенный Т. Пауэрсом и получивший широкое признание благодаря своей точности.

При определении коэффициента расстояния применяется упрощенная модель воздушной сети, состоящей из пор. Эта сеть имитирует реальную структуру, обладая тем же объемом и числом пор, однако все поры в ней идентичны по размеру и равномерно распределены. Каждая пора окружена кубом, сложенным из каменного материала, а расстояние от самой дальней точки этого куба (его угла) до центра поры определяет значение коэффициента расстояния.

$$\Phi P = \frac{30}{\alpha} \left[1,4 \cdot \left(\frac{V_{ц.к.}}{V_{в.п.}} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right], \text{ мм.}$$

где $V_{ц.к.}$ – представляет собой процентное содержание вяжущего вещества в бетоне; $V_{в.п.}$ – обозначает долю воздушных пустот в бетоне, выраженную в процентах; а α – характеризует общую площадь поверхности этих самых воздушных пор, измеренную в квадратных сантиметрах на кубический сантиметр объема.

Фактор расстояния упрощённо отражает среднее удаление между воздушными пустотами в структуре цементного материала. Как и "защищённый объем" этого же материала (учитываемый при расчётах в таблице 1), он определяется исходя из величины общей площади поверхности воздушных пор. Эффективность этих пор возрастает пропорционально уменьшению толщины слоя цементного камня при условии равномерного расположения пор на его поверхности.

Для оценки воздушных пор часто применяют показатель удельной поверхности. Анализ промысленных образцов бетона выявил, что при использовании специальных модификаторов для образования воздушных пор это значение варьировалось от 243 до 630 см²/см³, в то время как в бетонах без подобных добавок оно находилось в диапазоне 42-436 см²/см³ [8]. Полученные результаты подтверждают отсутствие четкого разделения между различными типами воздушных пор и указывают на неточность обозначения "защелченного" воздуха как "случайного".

В ряде государств применение критериев удаленности упрощается за счет единого определения "бетон с повышенной морозостойкостью" – без детализации по классам прочности. Принято считать, что для обеспечения требуемой морозостойкости максимальный размер зерен заполнителя должен быть в пределах 0,2–0,25 мм. Однако известно, что дальнейшее снижение этого размера способствует улучшению характеристик бетона в условиях низких температур.

Определение характеристик воздушности бетона представляет собой сложную задачу. Однако этот процесс не предполагает длительного выдерживания образцов (например, 28 дней для проверки морозоустойчивости), и может быть выполнен за несколько дней [7]. Это обеспечивает высокую скорость проведения испытаний.

Оценивая общую эффективность воздушности бетона, важно учитывать влияние сопутствующих технических параметров, среди которых ключевым является водоцементное отношение (В/Ц) [8]. Обычно корректировка данного параметра тесно связана с расчетом количества захваченного воздуха. Как показывает практика, коэффициент водоцементности находится в диапазоне от 0,55 до 0,45, уменьшаясь в случаях, когда требуется повысить устойчивость бетона к низким температурам (в соответствии с требованиями ГОСТ 26633 и ГОСТ 31384-2008).

Недостатки бетона с добавлением воздуха и сферы его использования.

Захватываемый воздух не вводится напрямую подобно остальным ингредиентам бетона. Количество и величина воздушных пузырьков в бетоне зависят от ряда факторов, помимо состава добавок: зернового размера песка, отношения между связующим веществом и водой, количества цемента и воды, способа смешивания компонентов, температуры окружающей среды, а также от доли минеральных добавок. Поэтому создание в бетоне структуры из воздушных пор с заданными свойствами – сложная технологическая задача. Успешное решение этой задачи реализуемо на предприятиях с высоким уровнем технологичности, обеспечивающим стабильное качество сырья и применяющим фракционированные наполнители, особенно при выборе песка.

В обычном бетоне часто встречаются существенные различия в количестве воздуха, который входит в его состав. В процессе возведения Байпазинской ГЭС согласно анализу шестнадцати про содержание воздушных пузырьков колебалось в пределах от 1,4% до 11,8% [2]. Подобные показатели – от 2% до 10% – зафиксированы также при производстве бетонной брусчатки [4]. Оптимизация производственных методик способствует снижению этого диапазона значений. Кроме того, при проверке качества бетона на нескольких значительных американских дамбах выявлены вариации объема воздуха от 2,9% до 5,6% [8].

Использование специализированных компонентов часто приводит к непредсказуемости воздушных пустот в материалах, что подталкивает исследователей к поиску других способов создания необходимой пористости [14]. В качестве альтернативы рассматривается внедрение «захваченного» воздуха с помощью полимерных микрокапсул или использования пористых включений [10]. Особое внимание уделяется газовыделяющим добавкам, к примеру, ГЖ-94, благодаря успешному опыту их применения в производстве, демонстрирующему снижение вариативности объема газовой фазы в бетоне [2]. Тем не менее, искусственная аэрация остаётся наиболее распространенным методом получения бетона с повышенной устойчивостью к воздействию низких температур.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633-91 использование воздуховодоуплотняющих добавок допустимо при условии выдерживания не менее 200 циклов замораживания-оттаивания. Исходя из этого, можно обозначить два различных случая:

- при низкой стойкости к замораживанию – в пределах 200–300 циклов – содержание зафиксированного воздуха остается небольшим, обычно около 3–4 процентов. Добиться этого можно с помощью пластификаторов на основе лигносульфонатов, которые уже содержат некоторое количество воздуха (и способствуют увеличению количества песка), либо путем уменьшения количества используемых воздухововлекающих добавок. Изменения в объеме воздуха будут незначительными, что позволяет получать такой бетон при обычных объемах работ;

- при морозостойкости в 400 циклов и более количество поглощенного воздуха должно составлять от 4% до 6%, причем наблюдаются значительные изменения этого показателя. Для обеспечения стабильности необходимо поддерживать высокий уровень квалификации при производстве, проводить регулярный мониторинг количества включенного воздуха и оперативно корректировать его значения.

Для достижения заданных характеристик бетона целесообразно принимать во внимание изменения в количестве воздуха, включенного в смесь. В этом случае необходимо: 1) установить границы допустимых изменений объема воздуха; 2) определить оптимальное среднее значение этого объема таким образом, чтобы минимального значения было достаточно для обеспечения морозостойкости бетона, а максимального – для сохранения его прочности (путем регулировки количества используемого цемента).

Увеличение количества воздушных пор всего на 1% приводит к приблизительному снижению прочности бетона на 5%. Однако при использовании модификаторов, вводящих воздух в бетонную массу, это негативное влияние смягчается. Микроскопические пузырьки воздуха повышают текучесть бетонной смеси благодаря явлению, напоминающему принцип действия шариковых подшипников, а добавки часто также оказывают пластифицирующее воздействие. Поэтому при разработке рецептуры необходимо учитывать одновременное присутствие как воздуха, так и пластификаторов.

Выводы

При создании бетонной смеси определенной прочности без использования добавок основой является ее начальный состав, а затем происходит следующее:

1. Исходя из необходимой степени защиты от замерзания, выбирается количество воздуха, который будет захвачен в растворе.
2. Практическим путем подбирается оптимальное количество воздухововлекающего компонента.
3. Определяется процентное соотношение воды и добавочного компонента, необходимое для получения оптимальной консистенции смеси.
4. Чтобы сохранить исходную механическую прочность, вычисляется нужное количество цемента путем сопоставления показателей водоцементности в базовой смеси и отношения суммы воды и объема заключенного воздуха к количеству цемента в модифицированной смеси.
5. Используя формулу абсолютных объемов, учитывающую наличие воздуха, корректируется количество песка.

Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература

1. Шарифов А. Морозостойкость цементно-волластонитовых бетонов / Шарифов А., Акрамов А.А., Хокиев М.К., Умаров У.Х. // Вестник Таджикского технического университета, серия 4(16), Душанбе: «Шинос», 2011. – С.49 – 52
2. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, 1983, 132 с.
3. Хворостянский В.Ф. Сопоставление прочности и морозостойкости пропаренных бетонов и растворов. Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона. М.: Стройиздат, 1970, с. 35-42.
4. Грапп А.А., Грапп В.Б., Якобсон Л.В. Совершенствование технологии получения морозостойких бетонов. Рига, 1982, 41 с.
5. «Добавки в бетон». Справочное пособие. М.: Стройиздат. 1988, стр. 571.
6. Powers T.C. Topics in Concrete Technology. 3. Mixtures, Containing Intentionally Entrained Air. 4. Characteristics of Air Void Systems. Journal of PCA Research and Development Labs. September 1964, pp. 19-42, January 1965, pp. 23-41.
7. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат, 1983, 213 с.
8. Невилль А.М. Свойства бетона. М.: Стройиздат, 1972, 344 с.
9. Mielenz R.S., Wolkodoff V.E., Backstrom J.E., Burrows R.W. Origin, Evolution and Effects of the Air Voids System in Job Concrete. Journal ACI, Oktober 1958.
10. Зоткин А.Г. Обеспечение морозостойкости бетона. Иркутск, 1988, 86 с
11. Шарифов А. Влияние декстрина на водонепроницаемость и морозостойкость бетона на цементно – волластонитовых вяжущих / Шарифов А., Акрамов А.А., Сайрахмонов Р.Х., Камолов С.Г. // Вестник Таджикского технического университета, серия 1(21), Душанбе: «Шинос», 2013. – С.49 – 52.
12. Шарифов А. Влияние кремнезёмсодержащего минерального наполнителя цемента на химический и фазовый составы цементного камня в бетоне / Шарифов А., Акрамов А.А., Саидов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 101–104
13. Шарифов А. Низкомарочный керамзитобетон с воздухововлекающей химической добавкой. / Шарифов А., Акрамов А.А., Шарипов Ф.Б. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 70–74
14. Шарифов А. Эффекты суперпластификаторов в бетонной смеси / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х., Хокиев М.К., Ахмедов М.Ф. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(49), Душанбе: «Шинос», 2020. – С. 139–142.

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

| TJ | RU | EN |
|--|---|---|
| Акрамов Аваззон Абдуллоевич | Акрамов Аваззон Абдуллоевич | Akramov Avazjon Abdulloevich |
| 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 Academician M.S. Osimi |
| E-mail: akramov.avaz@mail.ru | | |

**ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей в журнал "Политехнический вестник"**

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:

- статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).

3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.

4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD² 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: |

² 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.

Ному насаб, ФИО, Name

Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность,

Title³

Ташкилот, Организация, Organization

e-mail

ORCID⁴ Id

Телефон

| | |
|--|---|
| КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST) | <p>Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой.</p> <p>Пример:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Конфликт интересов: Автор Х.Х.Х. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX. 2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. <p>Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи</p> |
| ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS). | <p>Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно).</p> <p>Пример данного раздела:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Авторы A1, A2 и A3 придумали и разработали эксперимент, авторы A4 и A5 провели теоретические исследование. Авторы A1 и A6 участвовали в обработке данных. Авторы A1, A2 и A5 участвовали в написании текста статьи. Все авторы участвовали в обсуждении результатов. 2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации |
| ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора) | |
| БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional) | <p>Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.</p> |
| ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING) | <p>Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.</p> |
| ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION) | <p>В этом разделе могут быть помещены:</p> <p>Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них.</p> <p>Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе).</p> <p>Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладах на конференциях и семинарах.</p> |

5. Требования к оформлению статей

³ Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

⁴ 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 ⁵ | 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 ⁶ , организации ⁷ , заголовки и реферат ⁸ и ключевые слова ⁹ 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).

⁵ 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/>

⁶ 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.

⁷ Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

⁸ 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.

⁹ В английском переводе ключевых слов не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не должен использоваться непереводимый сленг, известный только ограниченному кругу специалистов.

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Мухаррири матни русӣ: | М.М. Якубова |
| Мухаррири матни тоҷикӣ: | Муаллифон |
| Мухаррири матни англисӣ: | Муаллифон |
| Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ: | М.А. Иззатуллоев |
| Редактор русского текста: | М.М. Якубова |
| Редактор таджикского текста: | Авторская редакция |
| Редактор английского текста: | Авторская редакция |
| Компьютерный дизайн и верстка: | М.А. Иззатуллоев |

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10^А

Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Ражабовых, 10^А

Ба чоп 22.12.2025 имзо шуд. Ба матбаа 25.12.2025 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. Раҷабовҳо, 10^А**