

ISSN 2520-2227

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

1 (73) 2026

---



**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Серия: Инженерные исследования

**POLYTECHNIC BULLETIN**  
Series: Engineering studies

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҲҚИҚОТҲОИ МУҲАНДИСӢ

ISSN  
2520-2227

1(73)  
2026



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

<http://vp-es.ttu.tj/> E-mail: [vestnik\\_politech@ttu.tj](mailto:vestnik_politech@ttu.tj)

Published since January 2008

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

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

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

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шудааст.  
№ 409/МҶ-97 аз 09 соли 2025  
Индекси обуна 77762

| РАВЯИ ИЛМИИ<br>МАҶАЛЛА                                                                                                                                | НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ<br>ЖУРНАЛА                                                                                                                                          | SCIENTIFIC DIRECTION                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 05.14.00 Энергетика<br>05.16.00 Металлургия ва<br>маводшиносӣ<br>05.17.00 Технологияи<br>кимӣвӣ<br>05.22.00 Нақлиёт<br>05.23.00 Сохтмон ва<br>меъмори | 05.14.00 Энергетика<br>05.16.00 Металлургия и<br>материаловедение<br>05.17.00 Химическая<br>технология<br>05.22.00 Транспорт<br>05.23.00 Строительство и<br>архитектура | 05.14.00 Energy<br>05.16.00 Metallurgy and<br>materials science<br>05.17.00 Chemical<br>technology<br>05.22.00 Transport<br>05.23.00 Construction and<br>architecture |

| Муассис ва ношир                                                | Учредитель и издатель                                               | Founder and publisher                                               |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи<br>академик М.С. Осимӣ | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University<br>named after academician<br>M.S. Osimi |
| Ҳар семоҳа нашр мешавад                                         | Издається ежеквартально                                             | Published quarterly                                                 |

| Нишонӣ                                                                                | Адрес редакции                                                                          | Editorial office address                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 734042, г. Душанбе, хиёбони<br>академикҳо Раҷабовҳо, 10А<br>Тел.: (+992 37) 227-57-87 | 734042, г. Душанбе, проспект<br>академиков Раджабовых, 10А<br>Тел.: (+992 37) 227-57-87 | 734042, Dushanbe, Avenue<br>of Academicians Radjabovs,<br>10A<br>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.Ч. 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.Ч. РАҲМОНЗОДА**  
н.и.т., дотсент  
**Ч.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  
**Ч.Ҳ. САИДЗОДА**  
д.и.т., профессор  
**Р.Ҳ. РАСУЛОВ**  
д.и.т., профессор (Чумхурии Узбекистон)  
**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. ХАҚДОД**  
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**

|                                                                                                                                                                                   |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY .....</b>                                                                                                                                                  | <b>6</b>          |
| <i><u>СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЛИНИЙ 6–10 кВ НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТАДЖИКИСТАНА .....</u></i>                                                   | <i><u>6</u></i>   |
| Р.Т. Абдуллозода .....                                                                                                                                                            | 6                 |
| <i><u>ДИАГНОСТИКА СИМПТОМОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ .....</u></i>                                                                    | <i><u>13</u></i>  |
| Дж.С. Ахъёев <sup>1</sup> , Ш.М. Султонзода <sup>1</sup> , Д.В. Орлов <sup>2</sup> , И.Х. Махмудов <sup>1</sup> .....                                                             | 13                |
| <i><u>К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ .....</u></i>                                                                                      | <i><u>21</u></i>  |
| М.Ю. Юсуфзода .....                                                                                                                                                               | 21                |
| <i><u>ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК .....</u></i>                             | <i><u>28</u></i>  |
| Б.И. Косимов, Н.С. Шарбатов, А.Г. Каюмов, Д.С. Аминов, А.М. Давлатов .....                                                                                                        | 28                |
| <i><u>ВЫЯВЛЕНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА .....</u></i>                                                                                              | <i><u>35</u></i>  |
| Д.Ю. Гулов, А.М. Давлатов, Н.Х. Одинаев, Р.А. Кахоров, А.С. Амирханов .....                                                                                                       | 35                |
| <i><u>РАҚАМИКУНОНИИ ЗЕРИСТГОҶИ БАҶӢ БО ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҶОИ МУОСИР.....</u></i>                                                                                                | <i><u>43</u></i>  |
| <sup>1</sup> М.М. Воҳидов, <sup>2</sup> Ф.Х. Маҷидов.....                                                                                                                         | 43                |
| <i><u>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОФАЗНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ МИНИ-ГЭС ПРИ РАБОТЕ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ .....</u></i>                                                         | <i><u>50</u></i>  |
| А.М. Давлатов .....                                                                                                                                                               | 50                |
| <b>МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ -<br/>METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE.....</b>                                                                    | <b>59</b>         |
| <i><u>ТАДҚИҚИ САҲТӢ ВА МУСТАҲКАМИИ ХӢЛАИ Zn0.5Al, КИ БО СКАНДИЙ, ИТТРИЙ ВА ЭРБИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА .....</u></i>                                                                    | <i><u>59</u></i>  |
| <sup>1</sup> У.Р. Ҷобиров, <sup>2</sup> И.Н. Фаниев, <sup>3</sup> З.Р. Обидов .....                                                                                               | 59                |
| <i><u>МИКРОСОХТОР ВА ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКИИ БАББИТИ ҚАЛЪАГӢ B83 БО ИНДИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА .....</u></i>                                                                               | <i><u>64</u></i>  |
| И.Н. Фаниев, Х.Д. Музафаров, Р.Д. Исмонов, Х.М. Хоҷаназаров, М.А. Умаров .....                                                                                                    | 64                |
| <i><u>ТАЪСИРИ ЭРБИЙ БА ХУСУСИЯТИ АНОДИИ ХӢЛАИ Zn0.5Al, ДАР МУҲИТИ КОРРОЗИОНИИ HCl .....</u></i>                                                                                   | <i><u>70</u></i>  |
| <sup>1</sup> У.Р. Ҷобиров, <sup>2</sup> И.Н. Фаниев, <sup>3</sup> З.Р. Обидов .....                                                                                               | 70                |
| <i><u>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛИКВИДУСА И СБОРКА 3D МОДЕЛИ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ Ge-Ag-Tl.....</u></i>                                                         | <i><u>75</u></i>  |
| <sup>1</sup> Т.Д. Джурраев, <sup>1</sup> Р.А. Нимонов, <sup>2</sup> А.Э. Зеленая, <sup>2</sup> В.И. Луцык, <sup>2</sup> М.Д. Парфенова .....                                      | 75                |
| <b>ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY .....</b>                                                                                                    | <b>83</b>         |
| <i><u>ТАҲЛИЛИ МУҚОИСАВИИ НИШОНДИҲАНДАҶОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ РАВҒАНҶОИ РАСТАНИИ МАҲАЛЛӢ .....</u></i>                                                                                | <i><u>83</u></i>  |
| А.А. Амيرализода, Р.Ҷ. Чурахонзода, Ф.Х. Назарзода .....                                                                                                                          | 83                |
| <b>НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT .....</b>                                                                                                                                      | <b>88</b>         |
| <i><u>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ MERCEDES-BENZ W211).....</u></i>                                | <i><u>88</u></i>  |
| Р.А. Давлатшоев .....                                                                                                                                                             | 88                |
| <i><u>ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.....</u></i>                                                                                                     | <i><u>93</u></i>  |
| С.Б. Мирзозода .....                                                                                                                                                              | 93                |
| <i><u>ОБОБЩЁННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗУЕМОГО ПРОДОЛЬНОГО ЗАМЕДЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С УЧЁТОМ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЁС, ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗОВ И РАБОТЫ СИСТЕМ ABS/EBD.....</u></i> | <i><u>103</u></i> |
| Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов .....                                                                                                                                               | 103               |

|                                                                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b><u>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ</u></b> .....                                             | <b>108</b> |
| С.С. Сайдуллозода, Р.А. Давлатшоев.....                                                                                                                    | 108        |
| <b><u>ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ...</u></b>                                                    | <b>117</b> |
| Х.Н. Султонов .....                                                                                                                                        | 117        |
| <b><u>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ – КОРПУС – КАБИНА – СИДЕНЬЕ – ОПЕРАТОР»</u></b> .....                               | <b>123</b> |
| К. Дж. Мухиддинзода.....                                                                                                                                   | 123        |
| <b><u>ТАҲЛИЛИ ҲОЛАТИ КУНУНӢ ВА РОҲӢИ ТАКМИЛДИҶИИ ҲАМЛУ НАҚЛИ БОРҲОИ КИШОВАРӢИ ДАР МИНТАҚАҲОИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</u></b> .....                             | <b>131</b> |
| <sup>1</sup> Х. Сафаров, <sup>2</sup> О.С. Ниёзов, <sup>3</sup> Ш.К. Шодиёв.....                                                                           | 131        |
| <b><u>МУКАММАЛГАРДОНИИ ҶАРАӢИ ТАҲВИЛИ БОР ВА БАЛАНДБАРДОРИИ САМАРАНОКИИ БОРКАШОНӢ БО ИСТИФОДАИ ШАРҲОИ ЛОГИСТИКӢ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</u></b> .....      | <b>137</b> |
| <sup>1</sup> Х. Сафаров, <sup>2</sup> Н.Ш. Мирзоева .....                                                                                                  | 137        |
| <b>СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE</b> .....                                                              | <b>142</b> |
| <b><u>ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КЛИНКЕРА</u></b> .....                                                           | <b>142</b> |
| А.А. Акрамов .....                                                                                                                                         | 142        |
| <b><u>СОЦИАЛЬНО – ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ В XIX-XX вв.</u></b> ..... | <b>151</b> |
| Д.Ш. Ганизода.....                                                                                                                                         | 151        |
| <b><u>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</u></b> .....                       | <b>156</b> |
| Р.Х. Сайрахмонов, А.К. Муминов, Х.М. Бокимахмад, А.С. Рахматзода .....                                                                                     | 156        |
| <b><u>ТАШАККУЛӢИ МУҶИТИ МЕЪМОРӢ-СОХТМОНИИ ЭНЕРГИЯБОСАМАРИ БИНОҲОИ ШАҲРВАНДӢ</u></b> .....                                                                  | <b>164</b> |
| Д.Ф. Қаландаров, Н.Н. Ҳасанов, К.Р. Раҳматзода, С.У. Раҷабов .....                                                                                         | 164        |
| <b><u>ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕНТОЧНО-СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОПРЕССОВКИ ГРУНТА</u></b> .....                                   | <b>172</b> |
| Д.Н. Давлатов, К.Р. Рахматзода, А.О. Якубов, Марзбоншохи С. ....                                                                                           | 172        |
| <b><u>СЕЛЬСКИЕ И ГОРНЫЕ ТЕРРИТОРИИ КАК ОСОБЫЙ ОБЪЕКТ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА</u></b> .....                                                              | <b>178</b> |
| <b><u>(на примере Таджикистана и других стран)</u></b> .....                                                                                               | <b>178</b> |
| Н.Н. Хасанов, Ш.И. Рахматуллозода .....                                                                                                                    | 178        |
| <b><u>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И УСТОЙЧИВЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ПАССИВНОГО ДОМА</u></b> .....                      | <b>182</b> |
| Ш.З. Усмонов .....                                                                                                                                         | 182        |
| <b><u>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ И АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ГОРОДА ФАЙЗАБАД</u></b> .....                                               | <b>196</b> |
| Ш.И. Рахматуллозода, Д.Ш.Мирзокаримов, М.Р. Гиёсов .....                                                                                                   | 196        |
| <b><u>СИНТЕЗ ИСКУССТВ В АРХИТЕКТУРЕ ТАДЖИКИСТАНА ПЕРИОДОВ РАЗВИТОГО И ПОЗДНЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ</u></b> .....                                                 | <b>202</b> |
| Д.Ш. Ганизода.....                                                                                                                                         | 202        |
| <b><u>ЗАВИСИМОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА ОТ ЕГО СТРУКТУРЫ</u></b> .....                                                     | <b>207</b> |
| А.А. Акрамов .....                                                                                                                                         | 207        |
| <b><u>ТАДҚИҚИ ПРИНЦИПҲОИ ЛОИҲАКАШИИ КОНСТРУКСИЯҲОИ ИҲОТАДЕВОРИИ ЭНЕРГИЯСАМАРАНӢ</u></b> .....                                                              | <b>217</b> |
| Д.Ф. Қаландаров.....                                                                                                                                       | 217        |
| <b><u>МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ</u></b> .....                                                                                                 | <b>223</b> |
| А.А.Акрамов, А.М. Абдуганиев, А.О. Якубов.....                                                                                                             | 223        |

|                                                                                                                                            |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТА.....</u></b>                              | <b><u>232</u></b> |
| А.С. Рахматзода.....                                                                                                                       | 232               |
| <b><u>ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЗАКОНА ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА В ПК ЛИРА-САПР НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</u></b> | <b><u>239</u></b> |
| У.М. Махмадиев .....                                                                                                                       | 239               |

УДК: 621.391

DOI: 10.65599/ENG4701

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЛИНИЙ 6–10 кВ НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТАДЖИКИСТАНА****Р.Т. Абдуллозода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведена общая характеристика повреждаемости линий электропередачи напряжением 6–10 кВ в ряде подстанций Филиала ОАО «Распределительные электрические сети» города Куляба. В рамках проведённого исследования выполнен статистический анализ повреждаемости, выявлена специфика местных условий эксплуатации электроустановок, а также произведён анализ аварийных отключений на отдельных рассматриваемых отходящих линиях по временам года. В результате проведённого анализа установлено, что наибольшее количество аварийных отключений приходится на зимний период, что обусловлено возрастанием электрической нагрузки на элементы системы электроснабжения. Кроме того, приведены данные по каждой рассматриваемой отходящей линии, отражено их количество и рассмотрены меры по восстановлению нормального режима электроснабжения. При этом следует отметить, что анализ проведён на основе достоверной информации, полученной из оперативных журналов, которые прошиты, пронумерованы и утверждены подписями ответственных лиц и печатью организации.

**Ключевые слова:** электрические сети, релейная защита, автоматика, замыкания на землю, определение места повреждения.

**ТАҲЛИЛИ ОМОРИИ ВАЙРОНШАВИҶОИ ХАТҶОИ ИНТИҚОЛИ 6–10 кВ ДАР МИСОЛИ ЗЕРИСТГОҶҶОИ АЛОҶИДАИ ҚИСМИ ҶАНУБИИ ТОҶИКИСТОН****Р.Т. Абдуллозода**

Дар мақола тавсифоти умумии вайроншавиҷои хатҷои интиқоли барқии шиддати 6–10 кВ дар якҷанд зеристгоҷҷои Филиали ҶСК «Шабақаҳои тақсимои барқ» дар ш. Кӯлоб оварда шудааст. Дар доираи тадқиқоти гузаронидашуда таҳлили омории вайроншавиҷо иҷро шуда, хусусиятҳои шароити маҳаллии истифодаи таҷҳизоти барқӣ муайян карда шудааст, ҳамчунин таҳлили хомушшавиҷои садамавӣ дар хатҷои баромад вобаста ба мавсими сол гузаронида шудааст. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки миқдори зиёди хомушшавиҷои садамавӣ ба мавсими зимистон рост меояд, ки ин бо зиёдшавии сарбории элементҳои системаҳои электротаминкунӣ алоқаманд мебошад. Илова бар ин, маълумот барои ҳар як хатти баромад алоҳида пешниҳод гардида, миқдори хомушшавиҷои он нишон дода шуда, чораҳои барқарорсозии речаи муқаррарии системаи электротаминкунӣ баррасӣ шудаанд. Таҳлили омории дар асоси маълумоти саҳеҳ аз журналҳои амалиётӣ сурат гирифтааст, ки ин журналҳо бастабандӣ ва рақамгузорӣ шуда, бо имзои шахсони масъул ва муҳри муассиса тасдиқ гардидаанд.

**Калидвожаҳо:** шабақаҳои барқӣ, ҷимояи релей, автоматика, расиш ба замин, муайянкунии ҷойи вайроншавӣ.

**STATISTICAL ANALYSIS OF FAULTS IN 6–10 kV LINES BASED ON SELECTED SUBSTATIONS IN THE SOUTHERN PART OF TAJIKISTAN****R. Abdullozoda**

The article presents a general characterization of the failure rate of 6–10 kV power transmission lines at several substations of the Branch of JSC “Distribution Electric Networks” in the city of Kulob. The study includes a statistical analysis of failures, identification of specific features of local operating conditions of electrical installations, and an analysis of emergency outages on selected outgoing feeders by seasons. The results demonstrate that the highest number of emergency outages occurs during the winter period, which is associated with an increased electrical load on the components of the power supply system. Furthermore, detailed data are provided for each outgoing feeder under consideration, including their total number, and measures aimed at restoring the normal operating conditions of the power supply system are discussed. It should be emphasized that the analysis is based on reliable data obtained from official operational logs that are bound, numbered, and certified by the signatures of responsible officials and the official seal of the organization.

**Keywords:** electrical networks, relay protection, automation, earth faults, fault location.

**Введение**

Единая энергетическая система Таджикистана охватывает территории Хатлонской и Согдийской областей, а также районы республиканского подчинения. В её состав входят гидроэлектростанции, теплоэлектроцентрали и распределительные электрические сети, обеспечивающие функционирование системы электроснабжения страны. При этом суммарная установленная мощность энергосистемы Таджикистана составляет более 5000 МВт. В ближайшей перспективе планируется значительное наращивание установленной мощности. Данное увеличение предполагается осуществить за счёт строительства солнечных электростанций на юге и севере

страны, реконструкции действующих гидроэлектростанций, а также поэтапного ввода в эксплуатацию новых агрегатов Рогунской ГЭС.

Следует отметить, что в настоящее время выработка электроэнергии в Таджикистане осуществляется преимущественно за счёт гидроэлектростанций, доля которых превышает 98 % от общего объёма производства электроэнергии.

В настоящее время вся энергетическая система Таджикистана разделена на три компании: ОАО «Барки Точик», ОАО «Шабақаҳои интиқоли барқ» и ОАО «Шабақаҳои тақсимоти барқ». Следует отметить, что передача электроэнергии в единой энергосистеме Таджикистана осуществляется по линиям электропередачи напряжением до 500 кВ.

Наиболее распространёнными и имеющими сложную конфигурацию являются линии электропередачи напряжением 6–35 кВ. Именно в этих сетях возникает наибольшее количество аварийных отключений, в основном из-за однофазных замыканий на землю или многофазных коротких замыканий.

При проведении статистического анализа повреждаемости линий 6–10 кВ электрических сетей Республики Таджикистан возможно выявить основные причины возникновения однофазных замыканий на землю, способы их устранения, а также их влияние на надёжность электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Для анализа повреждаемости линий 6–10 кВ рассматриваются некоторые подстанции Филиала ОАО «Распределительные электрические сети» в городе Кулябе.

### **Актуальность темы исследования**

Как известно, к наиболее распространённым видам повреждений относятся однофазные замыкания на землю, на долю которых приходится более 75 % от всех повреждений. Такие повреждения особенно часто возникают в сетях с изолированной нейтралью [1 – 3]. Причинами однофазных замыканий на землю являются: загрязнение изоляторов опор, схлест ветвей деревьев с фазными проводами, устаревание изоляции в распределительных устройствах и другие факторы.

Как правило, в некоторых случаях, согласно действующим нормативно-техническим документам, разрешается работа электрических сетей в режиме однофазного замыкания на землю при соблюдении ряда условий. При этом длительная работа сетей в таком режиме существенно ускоряет разрушение диэлектрических свойств изоляторов, то есть приводит к ускоренному износу изоляции электрооборудования. Это, в свою очередь, повышает вероятность возникновения двойного замыкания на землю, которое в зависимости от места возникновения точки замыкания может приближаться к полноценному двухфазному короткому замыканию [4, 5].

Устранение повреждения и проведение ремонтно-восстановительных работ осуществляются после определения места повреждения. Эта задача в современных микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики выполняется достаточно легко. Однако на подстанциях, не оснащённых современными микропроцессорными защитами, определение места повреждения выполняют при использовании стационарных или передвижных лабораторных установок. На практике применяются смешанные кабельно-воздушные линии электропередачи (КЛ-ВЛ), и при возникновении однофазных замыканий на землю на таких линиях современные микропроцессорные устройства релейной защиты не всегда правильно определяют место повреждения, что связано с некорректным вводом параметров линий в терминал [6, 7].

Анализ повреждаемости электрических сетей по фактическим данным является актуальной научно-технической задачей. При этом изучается поведение электрооборудования в различных режимах работы электрических сетей и выявляются особенности эксплуатационных характеристик нагрузок. Это необходимо для определения специфики местных условий эксплуатации, чтобы в дальнейшем при проектировании систем релейной защиты и автоматики элементов электрических сетей данные особенности были учтены.

### **Статистика повреждаемости линий 6–10 кВ на рассматриваемых подстанциях**

Для статистического анализа повреждаемости линий 6–10 кВ были выбраны отдельные подстанции региона Куляба Республики Таджикистан. В настоящее время в этом регионе

функционирует более 40 подстанций, имеющих отходящие линии с номинальным напряжением 6 или 10 кВ. Целью нашего статистического исследования является изучение повреждаемости электрических сетей Таджикистана, выявление причин их возникновения, а также разработка требований для дальнейшего проектирования релейной защиты и автоматики электрических сетей с изолированной нейтралью. Кроме того, исследование направлено на обеспечение возможности быстрого восстановления нормального режима работы систем электроснабжения и определения места повреждения отходящих линий с учётом местных специфических факторов.

С этой целью нами была рассмотрена статистика аварийных отключений подстанций «Восеъ» 110/35/10 кВ, ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ, ПС «Сурхоб» 35/10 кВ, ПС «Хулбук» 35/6 кВ и ПС «Хирманчо» 35/10 кВ. Эти подстанции функционируют с 1960-х годов и предназначены для обеспечения электроснабжения населённых пунктов указанного региона. В таблице приведены основные данные вышеуказанных подстанций. Отходящие линии рассматриваемых подстанций выполнены как кабельными (КЛ), так и воздушными (ВЛ), а их защита осуществлена с использованием электромеханических (ЭМ) и микропроцессорных (МП) устройств релейной защиты.

Таблица 1 - Основные характеристики рассматриваемых подстанций

| № п/п | Наименование подстанции | Год ввода в эксплуатацию    | Количество отходящих линий |    |       | Вид релейной защиты |
|-------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|----|-------|---------------------|
|       |                         |                             | КЛ                         | ВЛ | КЛ-ВЛ |                     |
|       | «Восеъ» 110/35/10 кВ    | 1964 (реконструкция в 2024) | 13                         | –  | –     | МП                  |
|       | «Кулоб» 110/35/6 кВ     | 1963 (реконструкция в 2019) | 3                          | –  | 12    | МП                  |
|       | «Сурхоб» 35/10 кВ       | 1983                        | –                          | 6  | –     | ЭМ                  |
|       | «Хулбук» 35/6 кВ        | 1967                        | –                          | 5  | –     | ЭМ                  |
|       | «Хирманчо» 35/10 кВ     | 1988                        | –                          | 8  | –     | ЭМ                  |

Как показано в табл. 1, ПС «Восеъ» 110/35/10 кВ состоит из 13 отходящих линий, все из которых выполнены кабельными.

ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ состоит из 15 отходящих линий: три линии выполнены кабельными, а остальные — смешанными (КЛ-ВЛ).

ПС «Сурхоб» 35/10 кВ, ПС «Хулбук» 35/6 кВ и ПС «Хирманчо» соответственно состоят из 6, 5 и 8 отходящих линий, которые выполнены воздушными.

В табл. 2 представлены данные об аварийных отключениях рассматриваемых подстанций с указанием даты и времени их возникновения за период 2023–2024 гг.

Таблица 2 - Основные характеристики рассматриваемых подстанций за период с октября 2024 г. по сентябрь 2025 г.

| № п/п     | Название подстанции  | Номер ячейки (отходящая линия) | Количество аварийных отключений на отходящих линиях |       |      |        |      |      |      |     |      |      |      | ВСЕГО |       |   |
|-----------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|------|--------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|-------|---|
|           |                      |                                | 2024 г                                              |       |      | 2025 г |      |      |      |     |      |      |      |       |       |   |
|           |                      |                                | окт.                                                | нояб. | дек. | январ. | фев. | март | апр. | май | июнь | июль | авг. |       | сент. |   |
| 1.        | «Восеъ» 110/35/10 кВ | ЛВ2 (КЛ)                       | 1                                                   | 1     | –    | 1      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 3 |
|           |                      | ЛВ5 (КЛ)                       | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
|           |                      | ЛВ8 (КЛ)                       | 1                                                   | 1     | –    | 1      | –    | 1    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 4 |
|           |                      | ЛВ9 (КЛ)                       | 1                                                   | –     | –    | 1      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 2 |
|           |                      | ЛВ10 (КЛ)                      | –                                                   | 1     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 1 |
|           |                      | ЛВ12 (КЛ)                      | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
|           |                      | ЛВ13 (КЛ)                      | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
|           |                      | ЛВ14 (КЛ)                      | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
|           |                      | ЛВ15 (КЛ)                      | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
|           |                      | ЛВ16 (КЛ)                      | –                                                   | 1     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 1 |
|           |                      | ЛВ18 (КЛ)                      | 2                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | 2 |
|           |                      | ЛВ19 (КЛ)                      | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     | –     | – |
| ЛВ20 (КЛ) | –                    | 1                              | –                                                   | –     | –    | –      | –    | –    | –    | –   | –    | –    | –    | –     |       |   |

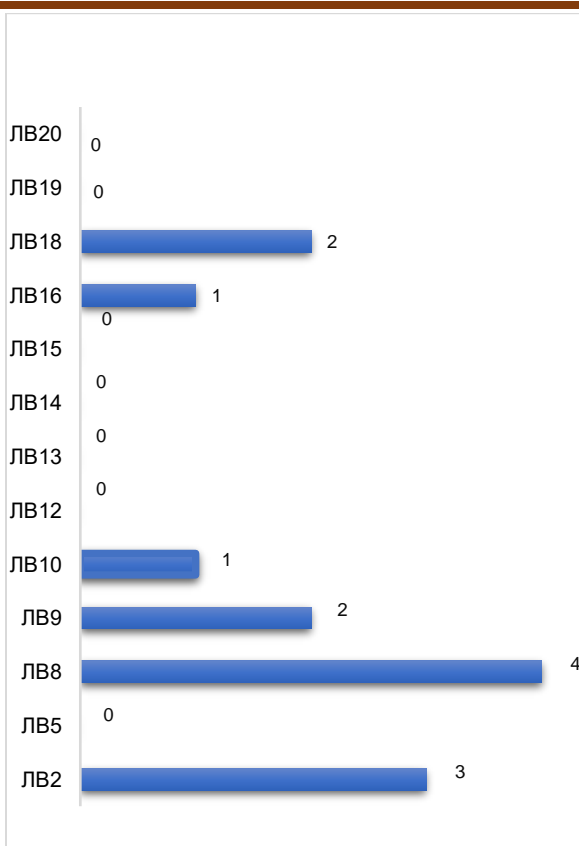
Окончание таблицы 2

| Итого по ПС «Восеъ» 110/35/10 кВ       |                        | 5             | 4        | –        | 3        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | 13       |           |   |
|----------------------------------------|------------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---|
| 2.                                     | «Кулоб»<br>110/35/6 кВ | ЛК1 (КЛ-ВЛ)   | –        | –        | 1        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 2         |   |
|                                        |                        | ЛК2 (КЛ)      | –        | –        | 1        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 2         |   |
|                                        |                        | ЛК3 (КЛ-ВЛ)   | –        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | –        | 1        | –        | –        | 8         |   |
|                                        |                        | ЛК4 (КЛ-ВЛ)   | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК5 (КЛ-ВЛ)   | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК6 (КЛ-ВЛ)   | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | 2         |   |
|                                        |                        | ЛК7 (КЛ)      | 1        | –        | 1        | 1        | 1        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | 5         |   |
|                                        |                        | ЛК8 (КЛ)      | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК9 (КЛ-ВЛ)   | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК10 (КЛ-ВЛ)  | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК11 (резерв) | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         |   |
|                                        |                        | ЛК12 (КЛ-ВЛ)  | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК13 (КЛ-ВЛ)  | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК14 (КЛ-ВЛ)  | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | 1         |   |
|                                        |                        | ЛК15 (КЛ-ВЛ)  | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         |   |
|                                        |                        | ЛК16 (КЛ-ВЛ)  | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1         | 1 |
| <b>Итого по ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ</b> |                        | <b>1</b>      | <b>2</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>3</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>–</b> | <b>1</b> | <b>28</b> |   |
| 3.                                     | «Сурхоб»<br>35/10 кВ   | ЛСР1 (ВЛ)     | 1        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | 3         |   |
|                                        |                        | ЛСР5 (ВЛ)     | –        | 2        | –        | –        | –        | 2        | –        | –        | –        | –        | 2        | –         | 6 |
|                                        |                        | ЛСР6 (ВЛ)     | –        | –        | –        | 1        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 2 |
|                                        |                        | ЛСР7 (ВЛ)     | 1        | –        | 1        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | 1        | –        | 1         | 5 |
|                                        |                        | ЛСР12 (ВЛ)    | 1        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | 1        | –        | 1        | –        | –         | 4 |
|                                        |                        | ЛСР14 (ВЛ)    | –        | 1        | –        | –        | –        | 2        | –        | –        | –        | –        | 1        | –         | 4 |
| <b>Итого по ПС «Сурхоб» 35/10 кВ</b>   |                        | <b>3</b>      | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>5</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>–</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>24</b> |   |
| 4.                                     | «Хулбук» 35/6 кВ       | ЛЛн1 (ВЛ)     | –        | –        | 1        | –        | 1        | –        | –        | 1        | –        | –        | 1        | –         | 4 |
|                                        |                        | ЛЛн2 (ВЛ)     | –        | 2        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –         | 3 |
|                                        |                        | ЛЛн11 (ВЛ)    | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛЛн12 (ВЛ)    | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛЛн13 (ВЛ)    | –        | 2        | 2        | 1        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | 1         | – |
| <b>Итого по ПС «Хулбук» 35/6 кВ</b>    |                        | <b>–</b>      | <b>4</b> | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>–</b> | <b>–</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>–</b> | <b>16</b> |   |
| 5.                                     | «Хирманчо»<br>35/10 кВ | ЛХн1 (ВЛ)     | –        | 1        | 2        | 1        | –        | 1        | –        | –        | 1        | –        | –        | 1         | 7 |
|                                        |                        | ЛХн2 (ВЛ)     | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛХн5 (ВЛ)     | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛХн7 (ВЛ)     | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛХн10 (ВЛ)    | –        | 1        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –         | 3 |
|                                        |                        | ЛХн11 (ВЛ)    | –        | –        | 1        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 2 |
|                                        |                        | ЛХн12 (ВЛ)    | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
|                                        |                        | ЛХн15 (ВЛ)    | –        | –        | –        | –        | –        | 1        | –        | –        | –        | –        | –        | –         | 1 |
| <b>Итого по ПС «Хирманчо» 35/10 кВ</b> |                        | <b>–</b>      | <b>3</b> | <b>5</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>–</b> | <b>–</b> | <b>1</b> | <b>–</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>17</b> |   |

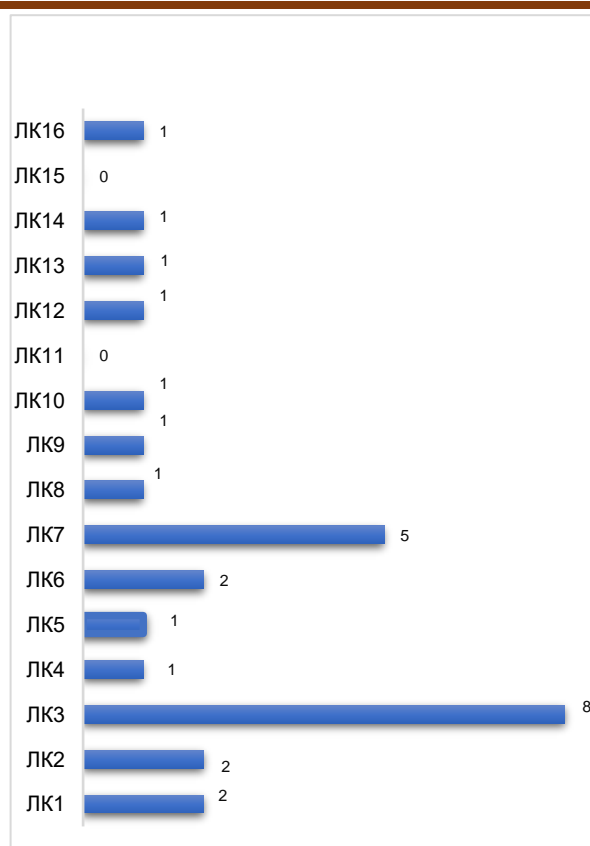
Для выполнения статистического анализа повреждаемости отходящих линий вышеуказанных подстанций используются данные об аварийных отключениях, полученные из оперативных журналов. Достоверность информации подтверждается тем, что рассматриваемые оперативные журналы прошиты, пронумерованы и утверждены подписями ответственных лиц и печатями [8 – 12]. В журналах фиксируются дата и время аварийных отключений, вид сработавшей релейной защиты, а также характер повреждения.

Статистический анализ повреждаемости отходящих линий 6–10 кВ

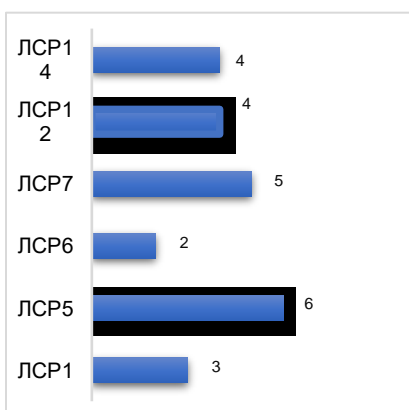
Для статистического анализа повреждаемости отходящих линий рассматриваемых подстанций и с целью наглядного сравнения построены графики аварийных отключений для каждой подстанции в отдельности.



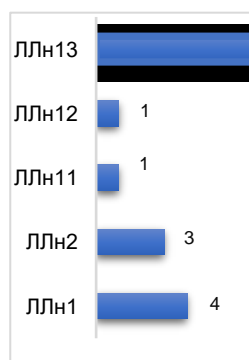
а)



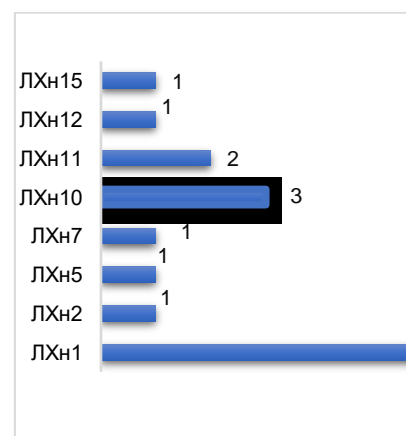
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1 – Статистика аварийных отключений отходящих линий подстанций: а) ПС «Восев» 110/35/10 кВ; б) ПС «Кулоб» 110/35/6 кВ; в) ПС «Сурхоб» 35/10 кВ; г) ПС «Хулбук» 35/6 кВ; д) ПС «Хирманчо» 35/10 кВ

С целью выявления причин возникновения повреждений были рассмотрены паспортные данные, оперативные журналы и журналы релейной защиты подстанций и изучен характер потребителей. Установлено, что указанные отходящие линии в основном предназначены для электроснабжения населённых пунктов. Проведённый анализ показал, что данные отходящих линий наиболее подвержены аварийным отключениям вследствие частого разрушения изоляции кабельных линий.

Для выявления наиболее вероятных причин возникновения аварийных отключений далее в графическом виде рассмотрено распределение количества аварийных отключений по временам года для каждой отходящей линии в отдельности.

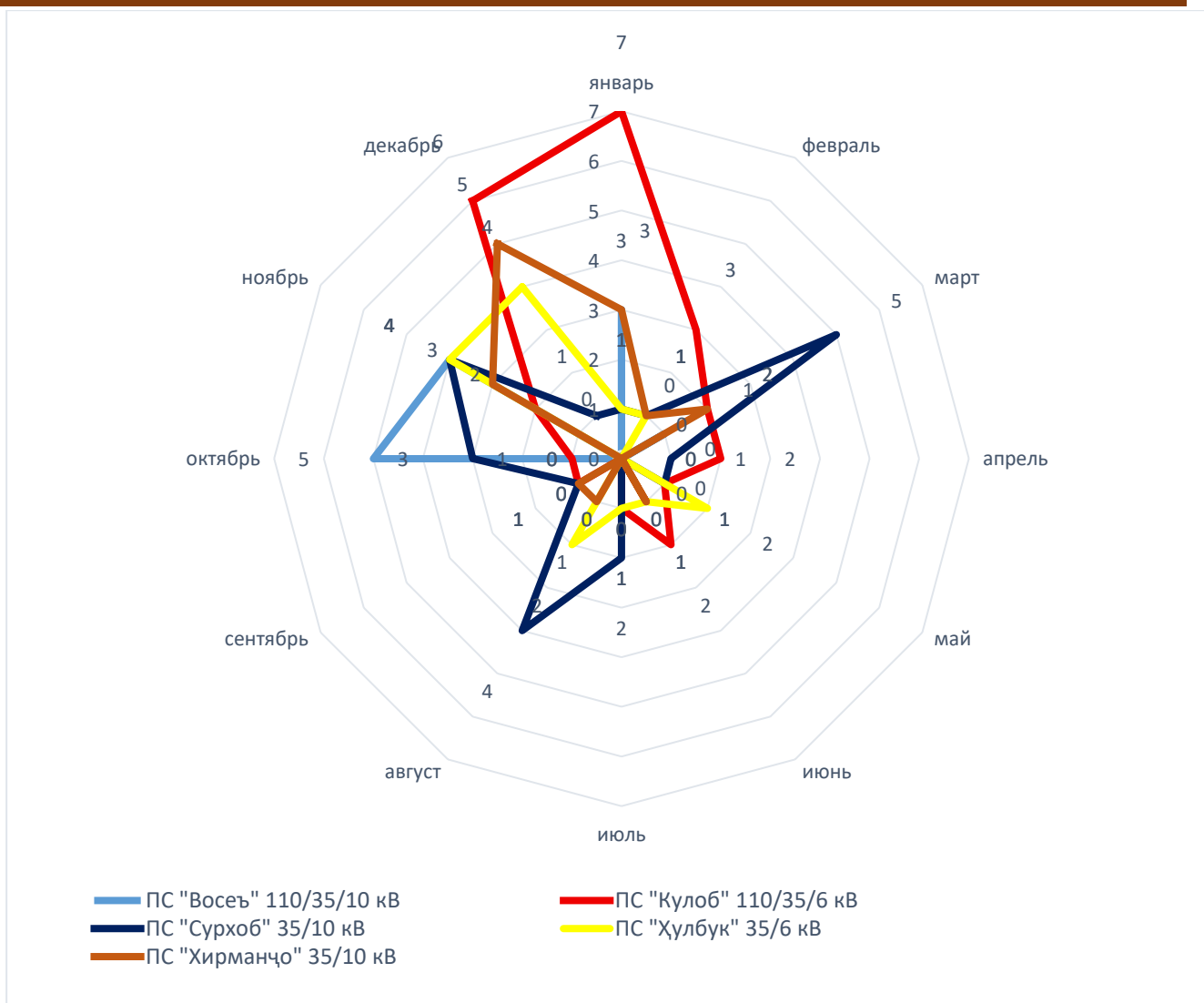


Рисунок 2 – Статистика аварийных отключений рассматриваемых подстанций по временам года за период октябрь 2024 г. – сентябрь 2025 г.

По кривым графика видно, что наибольшее количество аварийных отключений приходится на зимний период (ноябрь–декабрь–январь). Очевидно, что в этот период нагрузка на все подстанции возрастает, и из-за увеличения нагрузки происходит нагрев токопроводящих частей электрооборудования, что ускоряет процесс разрушения изоляции. Вследствие этого, вероятно, происходят значительные аварийные отключения на отходящих линиях напряжением 6–10 кВ.

В весенний период количество аварийных отключений снижается, а наименьшая повреждаемость, как видно по кривым, приходится на летний период. Это связано с относительной разгрузкой отходящих линий. В осенний период наблюдается повторный рост числа аварийных отключений.

Анализ данных оперативных журналов показывает, что для проведения ремонтно-восстановительных работ сначала определяют место повреждения на отходящих линиях. Это осуществляется с использованием специальных стационарных и передвижных лабораторных установок, а в некоторых случаях — при визуальном осмотре вдоль линий электропередачи. Длительность этих операций влияет на время бестоковой паузы, временные и трудовые затраты.

### Заклучение

Статистический анализ повреждаемости отходящих линий 6–10 кВ вышеуказанных подстанций показывает, что количество аварийных отключений в разные времена года и на

различных подстанциях имеет разнообразный характер. На их появление влияют режимы работы электрических потребителей, степень износа электрооборудования рассматриваемых подстанций и другие факторы.

Согласно данным оперативных журналов рассматриваемых подстанций, в большинстве случаев после аварийного отключения персоналом выполняется ручное повторное включение. При устойчивых повреждениях осуществляется определение причины и места повреждения отходящих линий.

Как свидетельствуют данные оперативных журналов, наибольшее время при ликвидации аварийных отключений занимает процесс определения места повреждения отходящих линий, особенно на кабельных линиях. Известно, что в микропроцессорных устройствах релейной защиты предусмотрена функция определения места повреждения, однако её настройка с учётом местных условий эксплуатации представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

*Рецензент: Сидоров А.И. — д.т.н., профессор кафедры БЖД, ЮУрГУ*

### Литература

1. Ҳимояи релееи таҷҳизоти электроэнергетикӣ / R.T. Abdullozoda, D.D. Davlatshoev, B.T. Abdulloev, N.Kh. Tabarov. – Душанбе : Промэкспо, 2018. – 333 p. – ISBN 978-99975-998-5-8. – EDN FWKDUUG.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник / В.А. Андреев. – М. : Высшая школа, 2008. – 640 с.
3. Шабад, М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ / М.А. Шабад. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 240 с.
4. Фролов, В.А. Эксплуатация и диагностика кабельных линий электропередачи / В.А. Фролов. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.
5. Horowitz, S.H. Power System Relaying / S.H. Horowitz, A.G. Phadke. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. – 416 p.
6. Анализ преимуществ микропроцессорных релейных защит перед электромеханическими, применяемых в подстанции "Академгородок -110/35/10 кВ" / Р.Т. Абдуллозода, У.У. Косимов, П.А. Аминов, И.Т. Абдуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 2(46). – С. 33-39. – EDN PBVAVR.
7. Абдуллозода, Р.Т. Учебно-лабораторный стенд для исследования схем соединения трансформаторов тока и обмоток реле / Р.Т. Абдуллозода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 3(55). – С. 5-7. – EDN WXZNOG.
8. Оперативный журнал «Восеъ» 110/35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
9. Оперативный журнал «Кулоб» 110/35/6 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
10. Оперативный журнал «Сурхоб» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
11. Оперативный журнал «Хулбук» 35/6 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.
12. Оперативный журнал «Хирманчо» 35/10 кВ. – Рукописный документ. – Период: 2024 – 2025 гг.

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

| TJ                                                                                        | RU                             | EN                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Абдуллозода Рамазон Толибҷон                                                              | Абдуллозода Рамазон Толибджон  | Ramazon Abdullozoda                    |
| 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: <a href="mailto:art.tj@bk.ru">art.tj@bk.ru</a>                                    |                                |                                        |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-2434-4698">https://orcid.org/0000-0002-2434-4698</a> |                                |                                        |

## ДИАГНОСТИКА СИМПТОМОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Дж.С. Ахъев<sup>1</sup>, Ш.М. Султонзода<sup>1</sup>, Д.В. Орлов<sup>2</sup>, И.Х. Махмудов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет

Предлагается новый метод экспертной диагностики технического состояния электрооборудования, основанный на аналитическом иерархическом процессе и нечеткой логике. Доказано, что на основе некоторых симптомов и парных сравнений экспертных оценок можно сделать правдоподобный прогноз о причинах отказов и неисправностей силового оборудования.

**Ключевые слова:** техническая диагностика, текущее состояние оборудования, анализ иерархий, попарные сравнения, метод Саати.

## ТАШХИСИ НИШОНАҶОИ КОРНОШОЯМИИ ТАҶҲИЗОТИ БАРҶӢ БО ИСТИФОДА АЗ УСУЛИ ТАҲЛИЛИИ ИЕРАРХӢ

Ҷ.С. Ахъев, Ш.М. Султонзода, Д.В. Орлов, И.Х. Махмудов

Усули нави ташхиси экспертии ҳолати техникии таҷҳизоти барҷӣ пешниҳод шудааст, ки ба раванди иерархии таҳлилии ва мантиқи муғлақ асос ёфтааст. Бо тақя ба нишонаҳои муайян ва муқоисаҳои ҷуфтӣ арзёбиҳои коршиносон, имконпазирии пешгӯии боэътимоди сабабҳои корношоямӣ ва азқорбароии таҷҳизоти барҷӣ исбот шудааст.

**Калидвожаҳо:** ташхиси техникӣ, ҳолати ҷорӣ таҷҳизот, таҳлили иерархӣ, муқоисаҳои ҷуфтӣ, усули Саати.

## DIAGNOSIS OF POWER EQUIPMENT FAULT SYMPTOMS USING THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

J.S. Ahyoev, Sh.M. Sultonzoda, D.V. Orlov, I.H. Mahmudov

A new method for expert diagnosis of the technical condition of electrical equipment is proposed, based on an analytical hierarchical process and fuzzy logic. It has been proven that, based on certain symptoms and pairwise comparisons of expert assessments, it is possible to make a plausible prediction about the causes of failures and malfunctions in power equipment.

**Keywords:** technical diagnostics, current technical condition of equipment, analytic hierarchy process, pairwise comparison, Saaty method.

### Введение

Передача электроэнергии включает в себя трансформацию напряжения электроэнергии, генерируемой на шинах электрической станции, до экономически целесообразной величины, транспорт энергии к центрам потребления и преобразование до номинальной величины напряжения электрических приемников. Транспорт электрической энергии к центрам энергопотребления, как правило, осуществляется посредством воздушных линий электропередачи.

Силовые трансформаторы служат для преобразования величины переменного напряжения. В качестве устройств регулирования реактивной мощности применяют шунтирующие реакторы. Конструкция и виды неисправностей этих устройств схожи, хоть их задачи различны. Схожесть строения и дефектов трансформаторов и шунтирующих реакторов позволяет нам объединить их под одним термином «трансформаторное оборудование».

Диагностика неисправностей трансформатора с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками (ВТСП) представляет собой разветвленную многоступенчатую задачу. Также необходимо проводить диагностику смежного коммутационного оборудования: отделители, короткозамыкатели, выключатели, разъединители и другие.

Термин «трансформаторное оборудование» включает в себя все виды трансформаторов с различными диэлектрическими средами: маслонполненные, криогенные, где в качестве диэлектрической среды выбран жидкий азот, а также сухие.

Иерархия представляет собой зависимость низших звеньев (ступеней иерархии) от высших, и их организацию в структуру типа «дерево».

Предложенный Томасом Л. Саати математический инструмент системного анализа для принятия решений метод анализа иерархий (МАИ) позволяет осуществлять поиск подходящей альтернативы в интерактивном режиме. Найденная альтернатива должна наилучшим образом

определять его понимание задачи и требования к ее решению [1, 2]. Таким образом, эксперт принимает решение, основываясь на собственных знаниях и накопленном опыте.

### Постановка задачи

Вид деятельности, который включает в себя процесс сбора, анализа информации, выбор наиболее оптимального варианта из имеющихся возможных, представляет собой процесс принятия решений. Оценки экспертов могут быть составлены после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности [3].

Введем термин «диагностика фактического состояния». Термин включает получение данных с ВТСП-трансформаторов, которые находятся в работе и их анализ для получения определенного вывода о действительном состоянии оборудования. Эта диагностика может проводиться только после осмотра трансформаторов и выявления признаков неисправности [4].

Далее, основываясь на оценках попарных сравнений, необходимо определить вектор-столбец приоритетов (ВСП) признаков неисправностей для каждой из причин, находящейся на более высоком уровне иерархии, который, с математической точки зрения, является главным собственным вектором и называется вектором приоритетов [5]. Этот вектор-столбец показывает отношения признаков данного уровня к элементам более высокого уровня иерархии в численном эквиваленте.

На следующем этапе путем умножения матрицы попарных сравнений на ВСП, получим новый вектор. Разделив первую компоненту этого вектора на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту нового вектора на вторую компоненту оценки вектора решения и т. д. Таким образом, определяем вектор-столбец собственных значений матрицы [6, 7]. Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу  $\lambda_{\max}$  (называемому максимальным или главным собственным значением), используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\lambda_{\max}$  к  $n$  (числу объектов или видов действия в матрице), тем более согласованным будет результат. Отклонение от согласованности может быть вычислено следующим образом

$$(\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

Полученная величина является индексом согласованности (ИС). Затем по методу анализа иерархий требуется определить отношение согласованности (ОС) путем деления ИС на константу, которая зависит от размерности матрицы (для матрицы размерностью 4x4 const=0,9; при 5x5 const=1,12; при 6x6 const=1,24, при 7x7 const=1,32). Значение ОС, меньшее или равное 0,1, считается приемлемым [1]. Под согласованностью понимается то, что при наличии основного массива обработанных данных все другие могут быть получены из них путем логических рассуждений [8, 9].

### Математическая модель для трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой

Принята следующая модель технической диагностики ВТСП-трансформаторов с использованием матрицы нечетких отношений. Такая матрица, в свою очередь, требует некоторых экспертных оценок. Данные вербальные оценки представляют собой некоторые точки функции принадлежности, которая отражает субъективное восприятия неисправности ВТСП-трансформатора экспертом, основываясь на его опыте и знаниях [8].

В качестве параметров, которые можно выделить как факторы для обобщенного анализа состояния ВТСП-трансформаторов, выделим наиболее распространенные и построим иерархию [9, 10].

Главной целью, которая является верхней ступенью иерархии является определение кратчайшего времени, за которое ВТСП-трансформатор выйдет из строя. [5].

Вторая ступень иерархии: X1 – неправильная настройка устройств релейной защиты, автоматики и электроники (РЗАиЭ) или их бездействие; X2 – повреждение кожуха ВТСП-трансформатора; X3 – неисправность или отсутствие разрядника РВС или нелинейного ограничителя перенапряжения (ОПН); X4 – несоблюдение норм эксплуатации устройства.

Следующая (третья) ступень иерархии представляет собой следующие характеристики: Y1 – малый остаток жидкого азота; Y2 – продолжительное воздействие неликвидированного сквозного тока K3; Y3 – перенапряжение; Y4 – неисправность охлаждающего устройства; Y5 – низкая электродинамическая стойкость трансформатора с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками.

Четвертая ступень – основные причины возникновения дефектов ВТСП-трансформаторов являются: G1 – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора; G2 – кипение жидкого азота; G3 – физическое старение изоляции обмоток; G4 – пробой в обмотках.

Пятая (последняя) ступень иерархии – основные признаки неисправностей ВТСП-трансформатора: P1 – утрата свойства сверхпроводимости устройства; P2 – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора; P3 – снижение возможности бесперебойного электроснабжения;

Построенная модель иерархии представлена на рисунке 1.

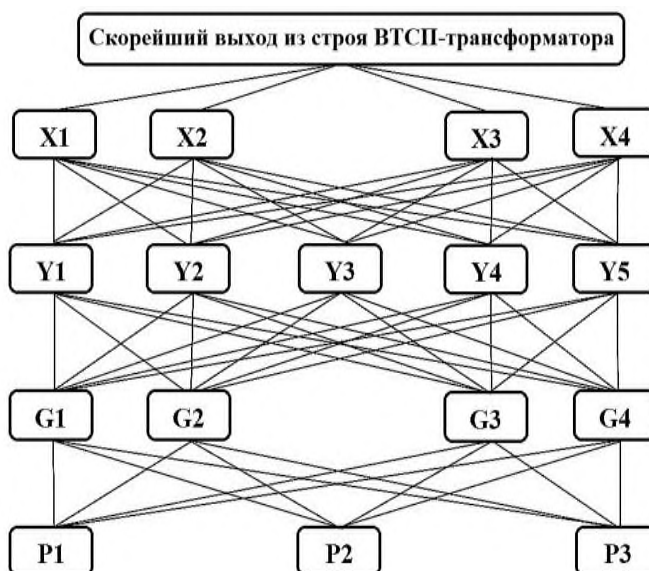


Рисунок 1 – Иерархическая модель причин и признаков неисправностей ВТСП-трансформаторов

На основе МАИ [1] рассчитаны таблицы попарных сравнений признаков неисправностей по числу возможных причин для каждого уровня иерархии. Также, для каждой матрицы рассчитано главное собственное значение ( $\lambda_{max}$ ), индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС).

Результаты расчетов для каждой из пяти возможных причин, перечисленных ранее, представлены ниже.

А. *Нижний (пятый) уровень иерархии*

Таблица 1 – Попарные сравнения признаков при разрушении межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора

|    |    |     |     |       |
|----|----|-----|-----|-------|
|    | P1 | P2  | P3  | BCP   |
| P1 | 1  | 1/7 | 1/5 | 0,075 |
| P2 | 7  | 1   | 2   | 0,560 |
| P3 | 5  | 1/2 | 1   | 0,364 |

Наиболее вероятным признаком является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,560. На втором месте – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,364. На третьем – утрата свойства сверхпроводимости устройства с приоритетом 0,075. Отношение согласованности ОС=0,021, что меньше 0,100 и удовлетворяет условию согласованности метода анализа иерархий Саати. ИС=0,012. Главное собственное значение  $\lambda_{max}$ =3,025.

Таблица 2 – Попарные сравнения признаков при кипении жидкого азота

|    | P1  | P2  | P3 | BCП   |
|----|-----|-----|----|-------|
| P1 | 1   | 5   | 7  | 0,696 |
| P2 | 1/5 | 1   | 3  | 0,225 |
| P3 | 1/7 | 1/3 | 1  | 0,079 |

Наиболее вероятным признаком является утрата свойства сверхпроводимости с приоритетностью 0,696. На втором месте – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,225. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,079. ОС=0,083, ИС=0,048,  $\lambda_{\max}$ =3,097.

Таблица 3 – Попарные сравнения признаков при физическом старении изоляции обмоток

|    | P1 | P2  | P3  | BCП   |
|----|----|-----|-----|-------|
| P1 | 1  | 1/5 | 1/3 | 0,103 |
| P2 | 5  | 1   | 3   | 0,605 |
| P3 | 3  | 1/3 | 1   | 0,291 |

Здесь наиболее вероятным признаком является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора приоритетностью 0,605. На втором месте – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,291. На третьем – утрата свойства сверхпроводимости с приоритетом 0,103. ОС=0,048, ИС=0,028. Главное собственное значение  $\lambda_{\max}$ =3,055.

Таблица 4 – Попарные сравнения признаков при пробое в обмотках

|    | P1  | P2  | P3 | BCП   |
|----|-----|-----|----|-------|
| P1 | 1   | 3   | 5  | 0,641 |
| P2 | 1/3 | 1   | 2  | 0,238 |
| P3 | 1/5 | 1/2 | 1  | 0,121 |

Наиболее вероятным признаком является утрата свойства сверхпроводимости с приоритетностью 0,641. На втором месте – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,238. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,121. ОС=0,004, ИС=0,002,  $\lambda_{\max}$ =3,005.

*В. Следующий (четвертый) уровень иерархии*

Таблица 5 – Попарные сравнения повреждений при малом остатке жидкого азота

|    | G1  | G2  | G3  | G4 | BCП   |
|----|-----|-----|-----|----|-------|
| G1 | 1   | 3   | 5   | 7  | 0,555 |
| G2 | 1/3 | 1   | 2   | 3  | 0,220 |
| G3 | 1/5 | 1/2 | 1   | 3  | 0,163 |
| G4 | 1/7 | 1/3 | 1/3 | 1  | 0,063 |

Здесь наиболее вероятным повреждением является разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,555. На втором месте – кипение жидкого азота с приоритетом 0,220. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,163. ОС=0,040, ИС=0,036,  $\lambda_{\max}$ =4,109.

Таблица 6 – Попарные сравнения повреждений при продолжительном воздействии неликвидированного сквозного тока КЗ

|    | G1  | G2  | G3  | G4 | BCП   |
|----|-----|-----|-----|----|-------|
| G1 | 1   | 2   | 3   | 5  | 0,481 |
| G2 | 1/2 | 1   | 1   | 3  | 0,241 |
| G3 | 1/3 | 1   | 1   | 2  | 0,190 |
| G4 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1  | 0,089 |

Наиболее вероятным повреждением является разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,481. На втором месте – кипение жидкого азота с приоритетом 0,241. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,190. ОС=0,010, ИС=0,009,  $\lambda_{\max}=4,027$ .

Таблица 7 – Попарные сравнения повреждений при перенапряжении

|    | G1  | G2 | G3  | G4  | ВСП   |
|----|-----|----|-----|-----|-------|
| G1 | 1   | 3  | 1/5 | 1/3 | 0,131 |
| G2 | 1/3 | 1  | 1/9 | 1/7 | 0,046 |
| G3 | 5   | 9  | 1   | 2   | 0,491 |
| G4 | 3   | 7  | 1/2 | 1   | 0,332 |

Здесь наиболее вероятным повреждением является физическое старение изоляции обмоток с приоритетностью 0,491. На втором месте – пробой в обмотках с приоритетом 0,332. На третьем – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,131. ОС=0,022, ИС=0,020,  $\lambda_{\max}=4,059$ .

Таблица 8 – Попарные сравнения повреждений при неисправности охлаждающей установки

|    | G1  | G2  | G3 | G4 | ВСП   |
|----|-----|-----|----|----|-------|
| G1 | 1   | 1/5 | 3  | 5  | 0,256 |
| G2 | 5   | 1   | 7  | 9  | 0,611 |
| G3 | 1/3 | 1/7 | 1  | 1  | 0,069 |
| G4 | 1/5 | 1/9 | 1  | 1  | 0,064 |

Наиболее вероятным повреждением является кипение жидкого азота с приоритетностью 0,611. На втором месте – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,256. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,069. ОС=0,068, ИС=0,061,  $\lambda_{\max}=4,183$ .

Таблица 9 – Попарные сравнения повреждений при низкой электродинамической стойкости ВТСП-трансформатора

|    | G1  | G2 | G3 | G4  | ВСП   |
|----|-----|----|----|-----|-------|
| G1 | 1   | 5  | 5  | 1/5 | 0,281 |
| G2 | 1/5 | 1  | 1  | 1/9 | 0,058 |
| G3 | 1/5 | 1  | 1  | 1/9 | 0,058 |
| G4 | 5   | 9  | 9  | 1   | 0,603 |

Наиболее вероятным повреждением является пробой в обмотках с приоритетностью 0,603. На втором месте – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,281. На третьем – физическое старение изоляции обмоток и кипение жидкого азота с одинаковым приоритетом 0,058. ОС=0,075, ИС=0,067. Главное собственное значение  $\lambda_{\max}=4,201$ .

*С. Третий уровень иерархии*

Таблица 10 – Попарные сравнения причин повреждений при неправильной настройке устройств РЗАИЭ или их бездействии

|    | Y1 | Y2  | Y3  | Y4  | Y5  | ВСП   |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1  | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 0,039 |
| Y2 | 9  | 1   | 2   | 3   | 1   | 0,348 |
| Y3 | 5  | 1/2 | 1   | 2   | 1/3 | 0,192 |
| Y4 | 3  | 1/3 | 1/2 | 1   | 1/2 | 0,116 |
| Y5 | 7  | 1   | 3   | 2   | 1   | 0,305 |

Наиболее вероятная причина – продолжительное воздействие неликвидированного сквозного тока КЗ с приоритетностью 0,348. На втором месте – низкая электродинамическая стойкость ВТСП-

трансформатора с приоритетом 0,305. На третьем – перенапряжение с приоритетом 0,192. ОС=0,026, ИС=0,029,  $\lambda_{\max}=5,114$ .

Таблица 11 – Попарные сравнения причин повреждений при повреждении кожуха ВТСП-трансформатора

|    | Y1  | Y2  | Y3  | Y4  | Y5 | ВСП   |
|----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Y1 | 1   | 7   | 5   | 3   | 9  | 0,544 |
| Y2 | 1/7 | 1   | 1   | 1/2 | 2  | 0,101 |
| Y3 | 1/5 | 1   | 1   | 1/2 | 3  | 0,124 |
| Y4 | 1/3 | 2   | 2   | 1   | 3  | 0,181 |
| Y5 | 1/9 | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1  | 0,050 |

Наиболее вероятная причина – малый остаток жидкого азота с приоритетом 0,544. На втором месте – неисправность охлаждающего устройства с приоритетом 0,181. На третьем – перенапряжение с приоритетом 0,124. ОС=0,016, ИС=0,018,  $\lambda_{\max}=5,070$ .

Таблица 12 – Попарные сравнения причин повреждений при отсутствии или несрабатывании ОПН

|    | Y1 | Y2  | Y3  | Y4  | Y5  | ВСП   |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1  | 1/3 | 1/9 | 1/5 | 1/7 | 0,038 |
| Y2 | 3  | 1   | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 0,115 |
| Y3 | 9  | 3   | 1   | 3   | 2   | 0,387 |
| Y4 | 5  | 2   | 1/3 | 1   | 1/2 | 0,190 |
| Y5 | 7  | 2   | 1/2 | 2   | 1   | 0,269 |

В данном случае наиболее вероятной причиной является перенапряжение с приоритетностью 0,387. На втором месте – низкая электродинамическая стойкость ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,269. На третьем – неисправность охлаждающего устройства с приоритетом 0,190. ОС=0,021, ИС=0,023,  $\lambda_{\max}=5,094$ .

Таблица 13 – Попарные сравнения причин повреждений при несоблюдении норм эксплуатации ВТСП-трансформатора

|    | Y1  | Y2 | Y3  | Y4  | Y5  | ВСП   |
|----|-----|----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1   | 5  | 1/3 | 1/5 | 3   | 0,171 |
| Y2 | 1/5 | 1  | 1/7 | 1/9 | 1/2 | 0,035 |
| Y3 | 3   | 7  | 1   | 1/2 | 5   | 0,296 |
| Y4 | 5   | 9  | 2   | 1   | 7   | 0,431 |
| Y5 | 1/3 | 2  | 1/5 | 1/7 | 1   | 0,066 |

Наиболее вероятной причиной является неисправность охлаждающего устройства с приоритетностью 0,431. На втором месте – перенапряжение с приоритетом 0,296. На третьем – малый остаток жидкого азота с приоритетом 0,171. ОС=0,048, ИС=0,054,  $\lambda_{\max}=5,215$ .

#### D. Второй уровень иерархии

Таблица 14 – Попарные сравнения дефектов, влияющих на скорейший выход из строя ВТСП-трансформатора

|    | X1 | X2  | X3  | X4  | ВСП   |
|----|----|-----|-----|-----|-------|
| X1 | 1  | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 0,060 |
| X2 | 7  | 1   | 3   | 2   | 0,464 |
| X3 | 3  | 1/3 | 1   | 1/2 | 0,172 |
| X4 | 5  | 1/2 | 2   | 1   | 0,303 |

Дефектом, который с наибольшей вероятностью приведет к скорейшему выходу из строя ВТСП-трансформатора, является повреждение кожуха ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,464. На втором месте – несоблюдение норм эксплуатации устройства с приоритетом 0,303. На третьем – неисправность или отсутствие разрядника РВС или нелинейного ограничителя перенапряжения (ОПН) с приоритетом 0,172. ОС=0,010, ИС=0,009,  $\lambda_{\max}=4,028$ .

Верхний уровень иерархии, представляющий главную цель руководителя проекта, определяет кратчайшее время, в течение которого ВТСП-трансформатор выйдет из строя.

С помощью умножения матриц вектор-столбцов от низшего уровня к верхнему найден результирующий вектор-столбец влияния каждого из признаков на скорейший выход из строя ВТСП-трансформатора.

Таблица 15 – Итоговый вектор-столбец

|    |       |
|----|-------|
| P1 | 0,349 |
| P2 | 0,421 |
| P3 | 0,229 |

Таким образом, признаком неисправности (дефектом), которая с наибольшей вероятностью в кратчайшее время приведет ВТСП-трансформатор в неработоспособное состояние, является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,421. Второе место занимает утрата свойства сверхпроводимости устройства в диэлектрической среде жидкого азота с приоритетом 0,349. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения, имеющее приоритет 0,229.

### Заклучение

Предложенный метод диагностики текущего технического состояния трансформаторного оборудования, включая трансформаторы с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками, не использует широко распространенный метод хроматографического анализа масла, и поэтому хорошо применим для сухих и ВТСП-трансформаторов. Процесс принятия решений по результатам технической диагностики может быть основан на симбиозе теории нечетких множеств и фундаментальной шкалы попарных сравнений Саати.

Простота представленного метода и достоверность полученных результатов открывает возможность для внедрения в программные комплексы краткосрочного прогнозирования и диагностики текущего технического состояния в режиме реального времени [11]. Предложенный метод свидетельствует о возможности итогового принятия решений на новом уровне иерархии для трех возможных исходов:

- Исправное состояние;
- Возможна эксплуатация ВТСП-трансформатора с учащенным контролем фактического состояния;
- Неисправное состояние.

Проведенные исследования для криогенных ВТСП - и маслонаполненных трансформаторов показывают, что предложенный метод эффективен особенно в случаях, когда хроматография анализов растворенных газов может быть нецелесообразна. Особая значимость метода заключается в возможности проведения диагностики текущего технического состояния любого электрооборудования и в его простоте. Проведенные исследования для ВТСП-трансформаторов показывают, что при некоторых признаках неисправностей, а также нечеткой лингвистической оценки этих признаков экспертами можно сделать достаточно правдоподобные выводы о причинах неисправностей.

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

### Литература

1. Т.Л. Саати, Принятие решений, метод анализа иерархий, Питтсбургский университет, г. Москва, 1993 г., пер. с англ. - М.: Радио и связь, 278 с.
2. О.В. Пугач, Математические методы оценки рисков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. г. Москва. - 2013. - Т. 79, №7. - С. 64-69.
3. С.Д. Штовба, Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. С.А. Хрусталева, А.И. Орлов, В.Д. Шаров, Математические методы оценки эффективности управленческих решений //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2013. - Т. 79, № 11. - С. 67-72.

5. Манусов, В. З. Диагностика признаков неисправностей трансформаторного оборудования по методу анализа иерархий / В. З. Манусов, Д. В. Орлов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3-4. – С. 198-203.
6. V.Z. Manusov, D.V. Orlov, J.S. Ahyoev, Fault Symptom Diagnostics for Coupling Capacitors using the Analytic Hierarchy Process / 19th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 - July 3, 2018. – 482-487 pp.
7. Диагностика технического состояния электрооборудования по методу анализа иерархий / В. З. Манусов, Д. С. Ахъев, Д. В. Орлов, Д. Б. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 4(44). – С. 13-17.
8. Orlov, D. V. Diagnostics of fault symptoms of power equipment using the analytic hierarchy process / D. V. Orlov // *Aspire to Science: Материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Новосибирск, 18 апреля 2019 года / Ответственный редактор Е.Т. Китова.* – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – Р. 208-213.
9. Dmitriev, S.; Safaraliev, M.; Gusev, S.; Ismoil, O.; Ahyoev, J.; Khujaaidov, J.; Zicmane, I. Analysis and evaluation of experts judgements consistency during electrical equipment diagnostics. In Proceedings of the 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON, Riga, Latvia, 5–7 November 2020; doi:10.1109/RTUCON51174.2020.9316577.
10. Ахъев, Д. С. Диагностика технического состояния электрооборудования на основе нечетких признаков / Д. С. Ахъев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 1(53). – С. 10-14.
11. Махмудов, И. Х. Анализ методов мониторинга и диагностики гидроагрегатов гидроэлектростанций / И. Х. Махмудов, Ш. М. Султонзода, Д. С. Ахъев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 4(68). – С. 40-48.

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

| TJ                                                                                        | RU                                                       | EN                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Ахъёв Чавод Саламшоевич                                                                   | Ахъёв Джавод Саламшоевич                                 | Ahyoev Javod Salamshoevich                              |
| н.и.т. дотсент                                                                            | к.т.н., доцент                                           | Candidate of technical sciences,<br>Associate Professor |
| ДТТ ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                                                        | ТТУ имени академика М.С. Осими                           | TTU named after Academician<br>M.S. Osimi               |
| E.mail: <a href="mailto:Javod@ttu.tj">Javod@ttu.tj</a>                                    |                                                          |                                                         |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-9869-288X">https://orcid.org/0000-0002-9869-288X</a> |                                                          |                                                         |
| TJ                                                                                        | RU                                                       | EN                                                      |
| Султонзода (Султонов)<br>Шерхон Муртазо                                                   | Султонзода (Султонов)<br>Шерхон Муртазо                  | Sultonzoda (Sultonov)<br>Sherkhon Murtazo               |
| н.и.т., дотсент                                                                           | к.т.н., доцент                                           | Candidate of technical sciences,<br>Associate Professor |
| ДТТ ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                                                        | ТТУ имени академика М.С. Осими                           | TTU named after Academician<br>M.S. Osimi               |
| E.mail: <a href="mailto:sultonzoda.sh@mail.ru">sultonzoda.sh@mail.ru</a>                  |                                                          |                                                         |
| TJ                                                                                        | RU                                                       | EN                                                      |
| Орлов Дмитрий Викторович                                                                  | Орлов Дмитрий Викторович                                 | Orlov Dmitry Viktorovich                                |
| Аспирант                                                                                  | Аспирант                                                 | postgraduate student                                    |
| Донишгоҳи Давлатии техникии<br>Новосибирск                                                | Новосибирский государственный<br>технический университет | Novosibirsk State Technical University                  |
| E.mail: <a href="mailto:4eel@inbox.ru">4eel@inbox.ru</a>                                  |                                                          |                                                         |
| TJ                                                                                        | RU                                                       | EN                                                      |
| Махмудов Илхом Хотамович                                                                  | Махмудов Илхом Хотамович                                 | Mahmudov Ilhom Hotamovich                               |
| Докторант PhD                                                                             | Докторант PhD                                            | PhD                                                     |
| ДТТ ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                                                        | ТТУ имени академика М.С. Осими                           | TTU named after Academician<br>M.S. Osimi               |
| E.mail: <a href="mailto:imahmudov640@gmail.com">imahmudov640@gmail.com</a>                |                                                          |                                                         |

## К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВИЭ

М.Ю. Юсуфзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Работа посвящена обзору локальных электроэнергетических систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), применяемых для создания системы электроснабжения потребителей, расположенных в удаленных и труднодоступных районах. Рассмотрены нормативные документы, определяющие понятия терминов «Smart Grid» и «Локальной электроэнергетической системы» за рубежом и в пространстве стран, входящих в СНГ. Приведен пример создания иерархии электроэнергетической системы на примере России, а также опыт создания ЭЭС в других странах мира. Показаны компоненты концепции создания «Умной сети». В заключении с учетом нынешнего состояния электроэнергетической отрасли Республики Таджикистан сформулированы основные задачи для дальнейшего рассмотрения и развития локальных электроэнергетических систем на основе ВИЭ.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, возобновляемые источники энергии, локальная электроэнергетическая система, умные сети, Smart Grid, нормативные документы.

## ДАР БОРАИ СОХТАНИ СИСТЕМАИ МАҲАЛЛИИ ЭНЕРГИЯИ БАРҚ ДАР АСОСИ МАНБАӢҲОИ ЭНЕРГИЯИ БАРҚАРОРШАВАНДА

М.Ю. Юсуфзода

Дар ин мақола шарҳи мухтасари системаҳои маҳаллии энергетикӣ дар асоси манбаҳои барқароршавандаи энергия (МБЭ), ки барои эҷоди системаҳои таъминоти барқ барои истеъмолкунандагоне, ки дар минтақаҳои дурдаст ва душвордастрас ҷойгиранд, истифода мешаванд, пешниҳод шудааст. Ҳуҷҷатҳои меъёрие, ки истилоҳоти "Шабакаи интеллектуалӣ" ва "Системаи маҳаллии энергетикӣ"-ро дар сатҳи байналмилалӣ ва кишварҳои ИДМ муайян мекунад, баррасӣ шудаанд. Мисоли эҷоди иерархияи системаи энергетикӣ барқӣ бо истифода аз Русия ҳамчун мисол, инчунин таҷрибаи эҷоди EPS дар дигар кишварҳо оварда шудааст. Ҷузъҳои консепсияи "Шабакаи интеллектуалӣ" пешниҳод шудаанд. Дар ҳулоса, бо назардошти вазъи кунунии саноати энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон, ҳадафҳои асосии баррасӣ ва рушди минбаъдаи системаҳои маҳаллии энергетикӣ дар асоси МБЭ тартиб дода шудаанд.

**Калидвожаҳо:** системаи энергетикӣ барқӣ, манбаҳои барқароршавандаи энергия, системаи маҳаллии энергетикӣ барқӣ, шабакаҳои интеллектуалӣ, шабакаҳои интеллектуалӣ, ҳуҷҷатҳои меъёрӣ.

## ON THE QUESTION OF CREATING A LOCAL ELECTRIC POWER SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

M.Yu. Yusufzoda

This paper provides an overview of local power systems based on renewable energy sources (RES) used to create power supply systems for consumers located in remote and hard-to-reach areas. Regulatory documents defining the terms "Smart Grid" and "Local Power System" internationally and in the CIS countries are reviewed. An example of creating a hierarchy of an electric power system is provided using Russia as an example, as well as the experience of creating EPSs in other countries. The components of the "Smart Grid" concept are presented. In conclusion, taking into account the current state of the electric power industry in the Republic of Tajikistan, the main objectives for the further consideration and development of local power systems based on RES are formulated.

**Keywords:** electric power system, renewable energy sources, local electric power system, smart grids, Smart Grid, regulatory documents.

В современной мировой энергетической практике одновременно реализуется ряд стратегических направлений, ориентированных на повышение энергоэффективности и обеспечение устойчивого электроснабжения как действующих, так и вновь создаваемых электроэнергетических систем. Одной из ключевых тенденций данной трансформации является развитие высокотехнологичной инфраструктуры электроснабжения на основе концепции Smart Grid. Данный подход предполагает внедрение современных технологий управления, а также формирование децентрализованных или изолированных систем электроснабжения с использованием местных энергетических ресурсов, преимущественно возобновляемых источников энергии. Возрастающая значимость данного направления подтверждается принятием национальных стратегий, нормативно-правовых актов и законодательных инициатив в ведущих индустриально развитых странах.

В Российской Федерации модернизация энергетической отрасли осуществляется с использованием механизмов государственно-частного партнёрства, включая технологическую платформу «Интеллектуальные энергетические системы Российской Федерации». Данная

платформа выступает инструментом координации инновационной деятельности участников электроэнергетического рынка и обеспечивает согласование национальных направлений развития с международной практикой внедрения концепции Smart Grid в США и странах Европейского союза. Концепция Smart Grid принципиально изменяет традиционное понимание электроснабжения, трансформируя его в сервисно-ориентированную модель, в рамках которой потребители выступают не только в роли конечных пользователей, но и активных участников, способных генерировать, аккумулировать и передавать избыточную электрическую энергию в сеть. Таким образом, традиционная иерархическая модель взаимоотношений между поставщиком и потребителем трансформируется в партнёрскую систему, основанную на равноправии и взаимном взаимодействии.

Парадигму Smart Grid концептуально можно сопоставить с глобальной интернет-инфраструктурой ввиду сходства их физической и функциональной архитектуры. Обе системы обеспечивают многомерное взаимодействие участников, включая не только обмен энергией, но и информационные и финансовые транзакции в рамках электроэнергетической системы. Данная интеграционная природа принципиально отличает технологии Smart Grid от традиционных централизованных моделей электроснабжения.

Архитектура сети Интернет построена в соответствии с международно-признанной эталонной моделью взаимодействия открытых систем (OSI), включающей семь иерархических уровней, которые обычно группируются в физический, сетевой и прикладной уровни. Физический уровень обеспечивает техническую среду передачи данных; сетевой уровень регулирует маршрутизацию и механизмы передачи информации; прикладной уровень реализует программное управление и координацию информационного обмена между узлами сети. Такая многоуровневая структура обеспечивает масштабируемость, совместимость и функциональную интеграцию системы.

Благодаря универсальности методологической структуры модель OSI может быть адаптирована для описания организации современных электроэнергетических систем. В условиях Smart Grid физический уровень соответствует линиям электропередачи, трансформаторам и интеллектуальному электротехническому оборудованию, обеспечивающему передачу электрической энергии. Сетевой уровень отражает многоуровневые процессы транспортировки электроэнергии между источниками генерации и потребителями. Прикладной уровень включает цифровые системы управления, осуществляющие мониторинг, учет, тарифное регулирование и оптимизацию потоков электроэнергии в режиме реального времени с учетом вариабельности генерации и динамики нагрузки.

Анализ международного опыта показывает, что в большинстве развитых стран электроэнергетические системы по своей структуре подразделяются на объединённые и территориально изолированные типы. Объединённые системы формируются в результате технологического объединения нескольких энергосистем, функционирующих под единым диспетчерским управлением при сохранении административной автономии. В противоположность этому территориально изолированные системы функционируют в географически определённых границах, установленных на государственном уровне, и не имеют технологической связи с единой энергетической системой.

Рост доли возобновляемых источников энергии в национальных энергетических балансах стимулировал развитие моделей распределённого энергоснабжения. Использование локально доступных энергетических ресурсов, расположенных в непосредственной близости от потребителей, позволяет существенно снизить потери при передаче электроэнергии, капитальные затраты на развитие сетевой инфраструктуры и общую протяжённость линий электропередачи. Данный процесс отражает глобальную тенденцию к децентрализации и повышению гибкости электроэнергетических систем.

На нижнем иерархическом уровне базовой структурной единицей организации электроснабжения выступает локальная энергетическая система, включающая источники генерации, системы накопления энергии, а также физический и сетевой уровни инфраструктуры. Современные локальные системы дополнительно интегрируют прикладной уровень, обеспечивающий автоматизированное управление режимами работы и оптимизацию энергетических потоков. В Российской Федерации иерархия систем электроснабжения нормативно классифицируется на

федеральный, региональный, районный и локальный уровни в соответствии с действующими нормативными документами [4]. Федеральный закон «Об электроэнергетике» также закрепляет понятия Единой энергетической системы России, технологически изолированных территориальных систем и объектов микрогенерации, формируя правовую основу многоуровневой организации отрасли.

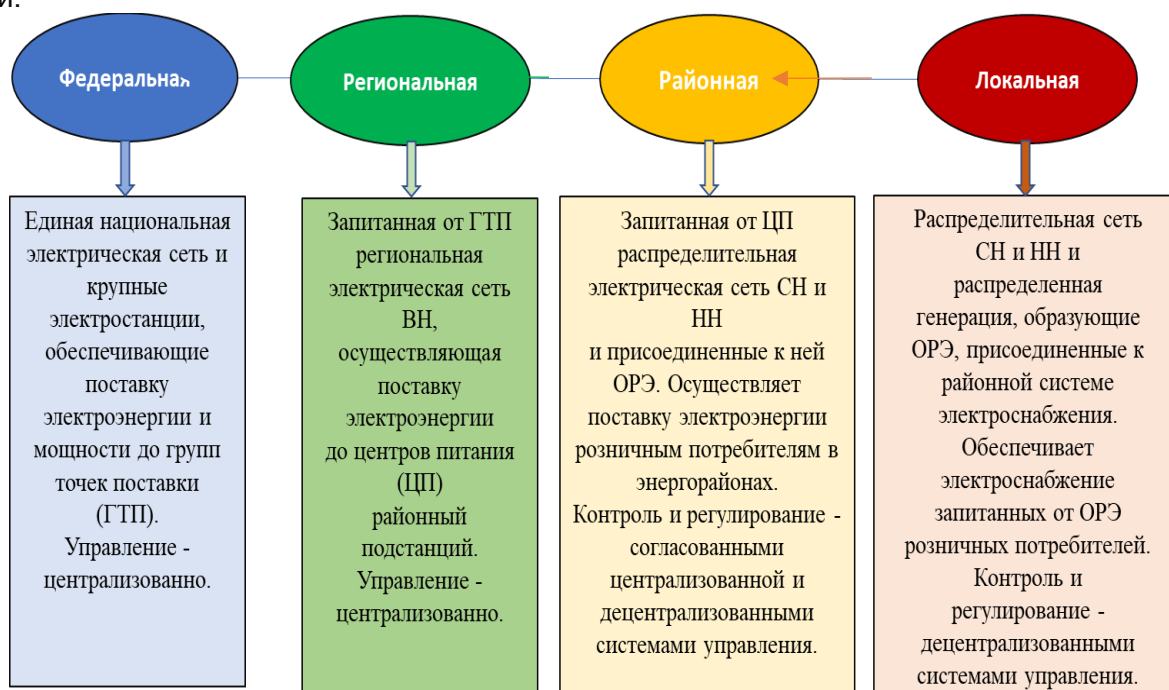


Рисунок 1 – Иерархическая структура электроэнергетической системы Российской Федерации

Сравнительный анализ законодательных и нормативно-правовых документов государств — участников Содружества Независимых Государств (СНГ) показывает, что иерархическая организация электроэнергетических систем в большинстве стран характеризуется относительно упрощённой структурной классификацией. В отличие от многоуровневой модели, принятой в Российской Федерации, в большинстве стран СНГ применяется более компактная иерархия управления системой и территориального деления (табл. 1) [5–13].

Данная упрощённость проявляется в структуре оперативного управления, механизмах регулирования и уровнях системной интеграции. Сокращённое количество иерархических уровней свидетельствует о специфическом подходе к управлению и координации энергетической инфраструктуры, обусловленном национальными экономическими условиями, масштабом энергосистемы и степенью либерализации рынка электроэнергии.

Таблица 1 – Основные определения ЭЭС в странах СНГ

| Определение/ страна                               | Таджикистан | Белоруссия | Казахстан | Узбекистан | Кыргызстан | Туркменистан | Армения | Молдова | Азербайджан |
|---------------------------------------------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|--------------|---------|---------|-------------|
| Объединённая электроэнергетическая система        | +           | +          | +         | +          | +          | +            | +       | +       | +           |
| Территориальная электроэнергетическая система     | -           | -          | +         | +          | -          | +            | +       | +       | +           |
| Национальная электрическая сеть                   | -           | -          | +         | -          | -          | +            | -       | -       | -           |
| Районная электроэнергетическая система            | -           | -          | -         | -          | -          | -            | -       | -       | +           |
| Локальная (местная) электроэнергетическая система | +           | -          | -         | -          | -          | +            | -       | -       | -           |

## Мировой опыт развития иерархии интеллектуальных электроэнергетических систем

Концепция активно-адаптивных электрических сетей была первоначально предложена в странах Европы и Соединённых Штатах Америки, что послужило основой формирования парадигмы, известной в настоящее время как Smart Grid [14–15]. Интеллектуальные сети интегрируют современные информационно-коммуникационные технологии в инфраструктуру электроэнергетики, обеспечивая автоматизированный мониторинг процессов генерации и потребления электрической энергии. Такая интеграция способствует повышению эффективности системы, надёжности, устойчивости функционирования и оптимизации распределения электроэнергии.

Соединённые Штаты Америки и Европейский союз осуществили комплексные меры по стандартизации архитектуры Smart Grid посредством разработки региональных нормативно-технических документов [16–17]. Несмотря на методологические различия, данные инициативы преследуют общие стратегические цели. К числу основных задач внедрения Smart Grid относятся обеспечение надёжного и бесперебойного электроснабжения, повышение энергетической эффективности, увеличение доли экологически устойчивой генерации на основе возобновляемых источников энергии, а также содействие низкоуглеродной интеграции в рамках крупных объединённых энергосистем.

Несмотря на эволюцию и уточнение терминологии концепции Smart Grid [18], в настоящее время её базовые структурные компоненты имеют чёткое определение. Указанные компоненты формируют технологическую основу цифровизированных и децентрализованных электроэнергетических систем (см. рис. 2).



Рисунок 2 – Основные компоненты инфраструктуры интеллектуальной электрической сети

Переход к технологиям Smart Grid обусловлен экологическими вызовами, истощением ископаемых видов топлива и ростом доли возобновляемых источников энергии. Несмотря на то, что генерация на основе ВИЭ традиционно характеризовалась вариабельностью и повышенной сложностью управления, развитие цифровых систем управления обеспечило возможность

масштабной интеграции распределённых энергетических ресурсов. В отличие от традиционных централизованных систем распределённая генерация имеет территориально рассредоточенный характер и требует подключения к различным узлам сети. Данная трансформация обуславливает необходимость перехода от радиальных структур с односторонним потоком мощности к замкнутым, неиерархическим архитектурам, способным интегрировать многочисленные источники малой мощности наряду с крупными электростанциями.

Технологическую основу интеллектуальных сетей составляют развитая инфраструктура учёта, модернизированные системы релейной защиты, коммуникационные протоколы на базе IP, а также средства самодиагностики оборудования. Многотарифные микропроцессорные счётчики электроэнергии обеспечивают сбор, передачу и аналитическую обработку данных в режиме реального времени для мониторинга и оптимизации функционирования системы. Многолетние исследования процессов старения изоляции, деградации трансформаторного масла и характеристик частичных разрядов способствовали созданию интеллектуальных диагностических средств, повышающих надёжность сетевой инфраструктуры. Экспериментальные исследования подтверждают, что модернизация систем защиты и автоматики приводит к существенному снижению эксплуатационных затрат [17, 19, 20].

Международная практика внедрения демонстрирует экономическую и стратегическую эффективность реализации технологий Smart Grid. По оценкам компании Siemens, модернизация электроэнергетических систем Европы способна обеспечить экономию до 45 млрд евро в течение ближайшего десятилетия [21]. Проект Telegestore, реализованный компанией Enel S.p.A. в Италии, является одним из первых успешных примеров масштабного внедрения интеллектуального учёта. Ведущие экономики мира — США, Китай и страны Европейского союза — продолжают расширять инвестиционные программы в сфере интеллектуальных сетевых технологий, тогда как развивающиеся государства, включая Индию и Бразилию, активно реализуют национальные стратегии внедрения Smart Grid [22]. На основе сравнительного анализа международных иерархических моделей предлагается обобщённая структурная классификация (табл. 2) [23, 26, 27].

Таблица 2 – Основные определения ЭЭС в зарубежных странах (кроме СНГ)

| Определение/ страна                               | США | Евросоюз | Германия | Турция | Китай | Индия | Франция |
|---------------------------------------------------|-----|----------|----------|--------|-------|-------|---------|
| Объединённая электроэнергетическая система        | +   | +        | +        | +      | +     | +     | +       |
| Территориальная электроэнергетическая система     | -   | +        | -        | -      | -     | -     | -       |
| Национальная электрическая сеть                   | -   | -        | -        | +      | +     | +     | +       |
| Районная электроэнергетическая система            | +   | -        | +        | -      | -     | -     | -       |
| Локальная (местная) электроэнергетическая система | +   | +        | +        | +      | +     | +     | -       |

В Соединённых Штатах Америки иерархическая организация электроэнергетического сектора традиционно описывается через понятия районных и локальных электроэнергетических систем. Нормативно-правовая база характеризуется децентрализованной моделью регулирования, в рамках которой каждый штат принимает собственные законодательные акты, устанавливающие энергетические стандарты и эксплуатационные требования. Районная электроэнергетическая система функционирует под юрисдикцией соответствующего штата, при этом на его территории могут располагаться энергетические объекты федерального уровня [24, 25].

Локальная электроэнергетическая система, как правило, определяется как автономный энергетический «остров», способный к продолжительной самостоятельной работе при отключении от централизованной сети при условии наличия достаточной генерирующей мощности. Исторически такие системы ассоциировались со стратегически важными объектами, включая военные базы. Однако после принятия Закона об энергетической политике 2005 года развитие локализованных и островных энергосистем получило расширенную институциональную и промышленную поддержку,

что способствовало более широкому внедрению распределённых и устойчивых энергетических инфраструктур.

## Заключение

Таким образом, проведённый анализ современного состояния и перспектив развития концепции Smart Grid в мировой практике подтверждает её стратегическую значимость для формирования цифровых, устойчивых и децентрализованных электроэнергетических систем. Несмотря на достигнутые технологические результаты, остаётся ряд методологических и прикладных вопросов, связанных с интеграцией возобновляемых источников энергии, обеспечением надёжности функционирования локальных систем и оптимизацией режимов их работы в условиях изменяющихся нагрузок и стохастического характера генерации.

В условиях Республики Таджикистан реализация положений Национальной стратегии достижения энергетической независимости предопределяет необходимость адаптации и научного обоснования международного опыта построения локальных электроэнергетических систем. Особую актуальность приобретают задачи оценки ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии, определения вероятностных характеристик ветровых и солнечных потоков, разработки методов планирования и оптимизации режимов электропотребления, а также технико-экономической оценки предлагаемых решений.

Научная обоснованность и практическая применимость разработанных методик и структурных решений должны подтверждаться результатами комплексных исследований, основанных на физическом и математическом моделировании, а также сравнительном анализе различных сценариев функционирования системы. Полученные результаты могут служить методологической основой для формирования эффективных локальных электроэнергетических систем, ориентированных на повышение энергетической безопасности, устойчивости и экономической эффективности национальной энергосистемы.

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

## Литература

1. ОАХК «Барки Точик», [Электронный ресурс]. URL: <http://www.barqitojik.tj/129> (дата обращения: 15.04.2025).
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1715-р от 13.11.2009г. [Электронный ресурс]. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Интеллектуальная энергетическая платформа РФ [Электронный ресурс]. URL: [http://rosenergo.gov.ru/regulations\\_and\\_methodologies/tehnologicheskaya\\_platforma\\_tp\\_ies](http://rosenergo.gov.ru/regulations_and_methodologies/tehnologicheskaya_platforma_tp_ies) (дата обращения: 02.08.2024).
4. Суворов А.Б. Телекоммуникационные системы, компьютерные сети и Интернет: учебное пособие/А.Б. Суворов - Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 384с.: ил.
5. Закон Российской Федерации об электроэнергетике // Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ [Электронный ресурс]. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 04.05.2025).
6. Закон Республики Таджикистан об энергетике дата: 29.11.2000 [Электронный ресурс]. <http://ncz.tj/content/закон-республики-таджикистан-обэнергетике> (дата обращения: 05.05.2025).
7. Закон Республики Беларусь Об электроэнергетике [Электронный ресурс]. <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/news/Projekt-Zakona-26-09-2017.pdf> (дата обращения: 05.05.2025).
8. Закон Республики Казахстан Об электроэнергетике от 9 июля 2004 года № 588-II (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.05.2025 г.) [Электронный ресурс]. [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=1049314](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1049314) &pos=5;-106#pos=5;-106 (дата обращения: 05.05.2025).
9. Закон Республики Узбекистан об электроэнергетике Принят Законодательной палатой 24 июня 2009 года одобрен сенатом 28 августа 2009 года [Электронный ресурс]. <https://lex.uz/docs/1521175> (дата обращения: 05.05.2025).
10. Закон Кыргызской Республики об электроэнергетике г. Бишкек от 28 января 1997 года N 8 [Электронный ресурс]. <http://energo130.cis.ru/wyswyg/file/Zakon/Nacional/Kyrgysya/1997%2001%2028%20закон%20об%20электроэнергетике%20КРNo.pdf> (дата обращения: 05.05.2025).
11. Закон Туркменистана об электроэнергетике от 16 августа 2014 года №104-v (с изменениями по состоянию на 08.06.2019 г.) [Электронный ресурс]. [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31600269](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31600269) (дата обращения: 05.05.2025).
12. Закон Республики Армения об энергетике принят 7 марта 2001 года [Электронный ресурс]. [https://www.translacioncentre.am/pdf/Trans\\_ru/HH\\_Orenq/Energetika/Energetika\\_ru.pdf](https://www.translacioncentre.am/pdf/Trans_ru/HH_Orenq/Energetika/Energetika_ru.pdf) (дата обращения: 05.05.2025).

13. Закон Республики Молдова об энергетике с изменениями 2023 год №174 от 21.09.2017, редакция от 21.09.2017 [Электронный ресурс]. [https://lege.md/ru/download\\_act/ob\\_energetike](https://lege.md/ru/download_act/ob_energetike) (дата обращения: 05.05.2025)
14. Закон Азербайджанской Республики об электроэнергетике от 3 апреля 1998 года № 459-IQ (с изменениями и дополнениями по состоянию на 17.06.2022г.) [Электронный ресурс]. [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30598502](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30598502) (дата обращения: 05.05.2025).
15. Сафаров, М. И. Обзор возобновляющих источников энергии в районах Республики Таджикистан / М. И. Сафаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – № 3(39). – С. 6-11. – EDN YLYUIY.
16. Burr M.T. Reliability demands drive automation investments / Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, 2003, № 1, available at: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>.
17. Хасанзода, Н. Энергетический потенциал ветрового потока на основе уточненного закона распределения скорости ветра / Н. Хасанзода, М. И. Сафаров // Энергетика: состояние и перспективы развития: Материалы международной научно - практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 года. – Душанбе: Aprint, 2024. – С. 179-187. – EDN CPTPWE.
18. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0, available at: [http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST\\_Framework\\_Release\\_2-0\\_corr.pdf](http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf).
19. Гуревич В.И. Smart Grid: Западный вариант [Электронный ресурс]. –URL: <http://relay-protection.ru/content/view/114/11.131>
20. Aminjon R. Zokirzoda, Ruslan S. Tsgoev, Behruzi T. Shohzoda, Jamshed H. Karimzoda, Jamshed B. Rahimzoda, Manuchehr I. Safarov, "Design of an Integrated Helio-Thermal Plant Scheme and Methodology for Assessing Its Performance", 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), pp.1-8, 2025.
21. Хасанзода, Н. Система оптимального электропотребления при интеграции в неё возобновляемых источников энергии / Н. Хасанзода, М. И. Сафаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 1(65). – С. 45-52. – EDN KSQYMB.
22. GridWise: The Benefits of a Transformed Energy System / L.D. Kannberg, M.C. Kintner-Meyer, D.P. Chassin, R.G. Pratt, J.G. DeSteele, L.A. Schienbein, S.G. Hauser, W.M. Warwick; Pacific Northwest National Laboratory under contract with the United States Department of Energy. – 2003. – November. – P. 25.
23. Кобулиев З.В. Оптимальное управление генерирующим потребителем с использованием базы логических правил и алгоритмов роевого интеллекта / З. В. Кобулиев, Н. Хасанзода, М. И. Сафаров [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 3(47). – С. 20-32. – EDN JBWHWQ.
24. EES ЕАЕС. Мировая энергетика [Электронный ресурс]. <https://www.eeseaec.org/energeticeskij-profil-ssa> (дата обращения: 11.05.2025).
25. Закон об энергетике США 2005 г. - US Energy Law of 2005 [Электронный ресурс]. [https://ru.wikibrief.org/wiki/Energy\\_Policy\\_Act\\_of\\_2005](https://ru.wikibrief.org/wiki/Energy_Policy_Act_of_2005) (дата обращения: 12.05.2025).
26. Хасанзода Н., Анализ энергетического баланса потребителя с учетом возобновляемых источников энергии / Хасанзода Н., Сафаров М.И., Юнусов С.Р. // Энергетика: состояние и перспективы развития: Материалы международной научно - практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 года. – Душанбе: Aprint, 2024. – С. 179-187. – EDN CPTPWE.
27. Aminjon R. Zokirzoda, Ruslan S. Tsgoev, Behruzi T. Shohzoda, Jamshed H. Karimzoda, Manuchehr I. Safarov, Shamsiddin F. Samiev, "Economic Justification of a Comprehensive Helio-Thermal Station", 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), pp.1-5, 2025.

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

| TJ                                                                                        | RU                                                            | EN                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Юсуфзода Манучехр Юсуф                                                                    | Юсуфзода Манучехр Юсуф                                        | Yusufzoda Manuchehr Yusuf                                     |
| 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: <a href="mailto:manu_1804@mail.ru">manu_1804@mail.ru</a>                          |                                                               |                                                               |
| <a href="https://orcid.org/0009-0005-1307-0547">https://orcid.org/0009-0005-1307-0547</a> |                                                               |                                                               |

## ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК

**Б.И. Косимов, Н.С. Шарбатов, А.Г. Каюмов, Д.С. Аминов, А.М. Давлатов**

Таджикский энергетический институт

В статье рассматривается проблема эффективного использования потенциала малых и средних рек Республики Таджикистан в условиях децентрализованного энергоснабжения. Обоснована целесообразность применения асинхронизированного синхронного генератора (машины двойного питания) в составе малых гидроэлектростанций. Отмечены социально-экономические и экологические преимущества внедрения таких комплексов, включая повышение передачи мощности в удалённых горных районах, снижение эксплуатационных затрат и уменьшение выбросов CO<sub>2</sub>. Рекомендуется в перспективности переходить к адаптивным гибридным системам малой гидроэнергетики как к активным интеллектуальным элементам энергосистемы.

**Ключевые слова:** ВИЭ, асинхронизированный синхронный генератор с двойным питанием, машины переменного тока, управление электрических машин, синхронные машины, асинхронный генератор.

## ИСТИФОДАИ ГЕНЕРАТОРҶОИ СИНХРОНИИ АСИНХРОНИШУДА ҶАМЧУН МАНБАЪҶОИ АЛТЕРНАТИВИИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ БАРОИ ДАРӢҶОИ ХУРД ВА МИӢНА

**Б.И. Қосимов, Н.С. Шарбатов А.Г. Қаюмов, Д.С. Аминов, А.М. Давлатов**

Дар мақола масъалаи истифодаи самараноки потенисали дарёҳои хурду миёнаи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар шароити таъминоти ғайримарказонидашудаи нерӯи барқ баррасӣ шудааст. Зарурати истифодаи генератори синхронии асинхронизуода (мошинаи манбаи таъминоташ дутога) дар ҳайати неругоҳҳои барқи оби хурд асоснок карда шудааст. Афзалиятҳои иқтимоию иқтисодӣ ва экологии ҷорӣ намудани ҷунин комплексо, аз ҷумла баланд бардоштани интиқоли тавонои минтақаҳои дурдасти кӯҳистон, кохиш додани хароҷоти истифодабарӣ ва кам кардани партовҳои CO<sub>2</sub> қайд гардидаанд. Дар оянда гузаштан ба системаҳои хурди гидроэнергетикии гибридии мутобиқшаванда (адаптивӣ), ки элементҳои фаъоли зехнии низоми энергетикӣ мебошанд, тавсия дода мешавад.

**Калидвожаҳо:** МБЭ, генератори синхронии асинхронизуода бо манбаи таъминоташ дутога, мошинҳои ҷараёни тағйирёбанда, идоракунии мошинҳои электрикӣ, мошинҳои синхронӣ, генератори асинхронӣ.

## APPLICATION OF ASYNCHRONIZED SYNCHRONOUS GENERATORS AS ALTERNATIVE ENERGY SOURCES FOR SMALL AND MEDIUM RIVERS

**B.I. Kosimov, N.S. Sharbatov A.G. Kayumov, D.S. Aminov, A.M. Davlatov**

The article addresses the efficient utilization of the hydropower potential of small and medium rivers in the Republic of Tajikistan under decentralized power supply conditions. The study substantiates the feasibility of using asynchronous synchronous generators (doubly-fed induction machines) within small-scale hydropower plants. The socio-economic and environmental benefits of implementing such systems are highlighted, including increased power transmission capacity in remote mountainous areas, reduced operating costs, and lower CO<sub>2</sub> emissions. It is recommended to transition toward adaptive hybrid small-scale hydropower systems as active intelligent components of the power grid.

**Keywords:** RES, doubly fed induction generator, alternating current machine, electric machine control, synchronous machines, asynchronous generator.

### Введение

Широкое внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в отдельных регионах мира обусловлено их географической спецификой. В частности, дефицит ископаемого топлива и высокий потенциал местных возобновляемых ресурсов вынуждают некоторые страны, особенно такие как Таджикистан, полагаться на ВИЭ как на основной или ключевой источник электроэнергии. Существенная роль гидроэнергетики в структуре ВИЭ и высокий потенциал её дальнейшего развития в развивающихся странах отмечены в ряде исследований [2, 5, 6].

Основное направление развития современной электроэнергетики связано с переходом к распределённым энергосистемам и приоритетным использованием чистых ВИЭ. Данный переход обусловлен ростом энергопотребления, необходимостью снижения выбросов CO<sub>2</sub> и задачами повышения энергетической эффективности [5, 6]. Некоторые стимулирующие причины перехода – факторы, приведенные на рис. 1.

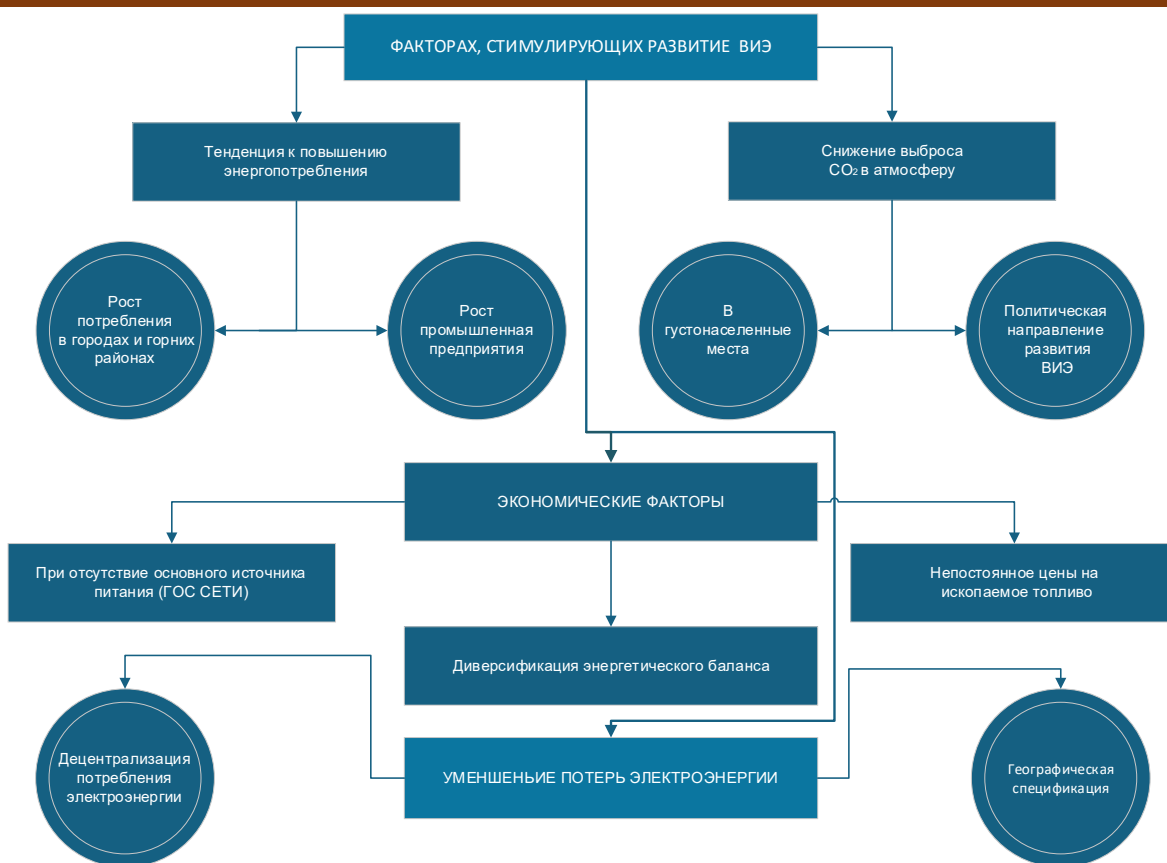


Рисунок 1 – Фокус на стимулах развития ВИЭ

**Тенденция к повышению энергопотребления.** В последние годы в связи с ростом населения и необходимостью ввода в эксплуатацию новых промышленных предприятий возрастает потребность в качественном и бесперебойном обеспечении электроэнергией. Эта востребованность совпадает с одной из стратегических задач нашей страны — плавным переходом от аграрно-индустриального сектора к индустриально-аграрному сектору. Следует отметить, что обеспечение электроэнергией населения в горных районах затрудняется в связи с проведением ЛЭП в труднодоступных местах, а в некоторых случаях строительство ЛЭП практически невозможно. В этих условиях особую актуальность приобретает развитие малой и микро-гидроэнергетики как основы автономного и децентрализованного электроснабжения [5].

### Снижение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу

Ввод в эксплуатацию малых, мини- и микро-ГЭС играет ключевую роль в электрификации сельских районов во многих странах [1, 9] и способствует более значительному снижению выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, чем другие виды источников энергии. Данные аспекты энергетического перехода и роль ВИЭ подробно рассмотрены в работах [6, 7]. Снижение эмиссии требует ускоренного энергетического перехода к ВИЭ, в частности, к фотоэлектрической станции (ФЭС), ветроэнергетической (ВЭС) и гидроэнергетической генерации. Данный процесс включает масштабную электрификацию конечного потребления (транспорт и теплоснабжение), повышение энергетической эффективности, а также интеграцию технологий интеллектуальных сетей (Smart Grid). Необходимым условием является массивное инвестирование в чистые технологии и принятие регуляторных механизмов, направленных на поэтапный вывод из эксплуатации генерирующих мощностей на ископаемом топливе и масштабирование таких инновационных решений, как накопители энергии (Battery Storage) и зеленый водород (Green Hydrogen).

**Географическая специфика** потенциала малых водотоков представляет собой перспективный сегмент ВЭИ. В сравнении с крупномасштабными гидроэнергетическими комплексами, микро-ГЭС

демонстрируют ряд инженерных и эксплуатационных преимуществ, прежде всего, в контексте децентрализованного энергоснабжения. Роль гидроресурсов в производстве электроэнергии значительно превышает роль любой другой технологии возобновляемой энергии, и в развивающихся странах всё ещё сохраняется огромный потенциал [2, 3]. Наша страна располагает богатыми водными ресурсами и значительным потенциалом малой и средней гидроэнергетики. Крайне важно правильно использовать эти ресурсы в необходимых объёмах для снижения дефицита электроэнергии и формирования экологически чистой (зелёной) среды.

### **Уменьшение потерь электроэнергии**

В настоящее время из-за высоких потерь электроэнергии в стране поставлена задача стремительно снизить их. Один из способов снижения потерь электроэнергии — децентрализация источников и потребления электроэнергии. Кроме того, потери энергии могут быть сокращены за счёт просвещения пользователей, чтобы они были осведомлены об ограничениях своих устройств. Благодаря усовершенствованию процессов мониторинга и координации производства (генерации), передачи и распределения энергии, возможности для сокращения потерь энергии могут быть найдены во всех сферах энергопотребления (коммунальная, промышленная, коммерческая и бытовая). Области, предоставляющие такие возможности, включают, но не ограничиваются следующим:

- сбор и управление данными энергосистемы;
- автоматическое управление генерацией;
- управление нагрузкой и энергопотреблением;
- распределённая генерация;
- ценообразование на электроэнергию в режиме реального времени.

Это был краткий обзор по снижению потерь энергии, и в настоящее время происходит активное развитие в этой области.

### **Экономические факторы**

В условиях текущей высокой стоимости топлива промышленные предприятия проводят переоценку своей собственной электрогенерирующей мощности и требований к приводам насосного оборудования. Решение о переходе на автономную генерацию (самообеспечение энергией) должно быть основано на технико-экономическом обосновании (ТЭО). То, что ранее считалось нерентабельным, в настоящее время может обеспечить существенную экономию.

В связи с вышеуказанными факторами нам необходимо внедрить новые научно-технические меры для рационального использования энергетических ресурсов, особенно в области малой гидроэнергетики. На рис.2 приведен график развития малой гидроэнергетики Республики Таджикистан.

### **Обоснование применения асинхронизированного синхронного генератора в гидроэнергетическом комплексе малых рек**

Несмотря на очевидные преимущества развития малой гидроэнергетики, реализация потенциала малых рек Таджикистана сталкивается с фундаментальным техническим противоречием. Традиционные гидроэнергетические установки, использующие классические синхронные генераторы, ориентированы на работу с постоянной частотой вращения [4]. Однако гидрологический режим горных рек характеризуется значительной стоковой вариативностью. В условиях сезонных колебаний расхода и напора воды жесткая фиксация скорости вращения турбины приводит к существенному снижению коэффициента полезного действия (КПД) гидроагрегата и нерациональному использованию энергетического ресурса водотока. Именно эти факторы привели к отсутствию надлежащего развития малой гидроэнергетики в Республике Таджикистан за последние 5 лет (см. рис. 2) [5-7].

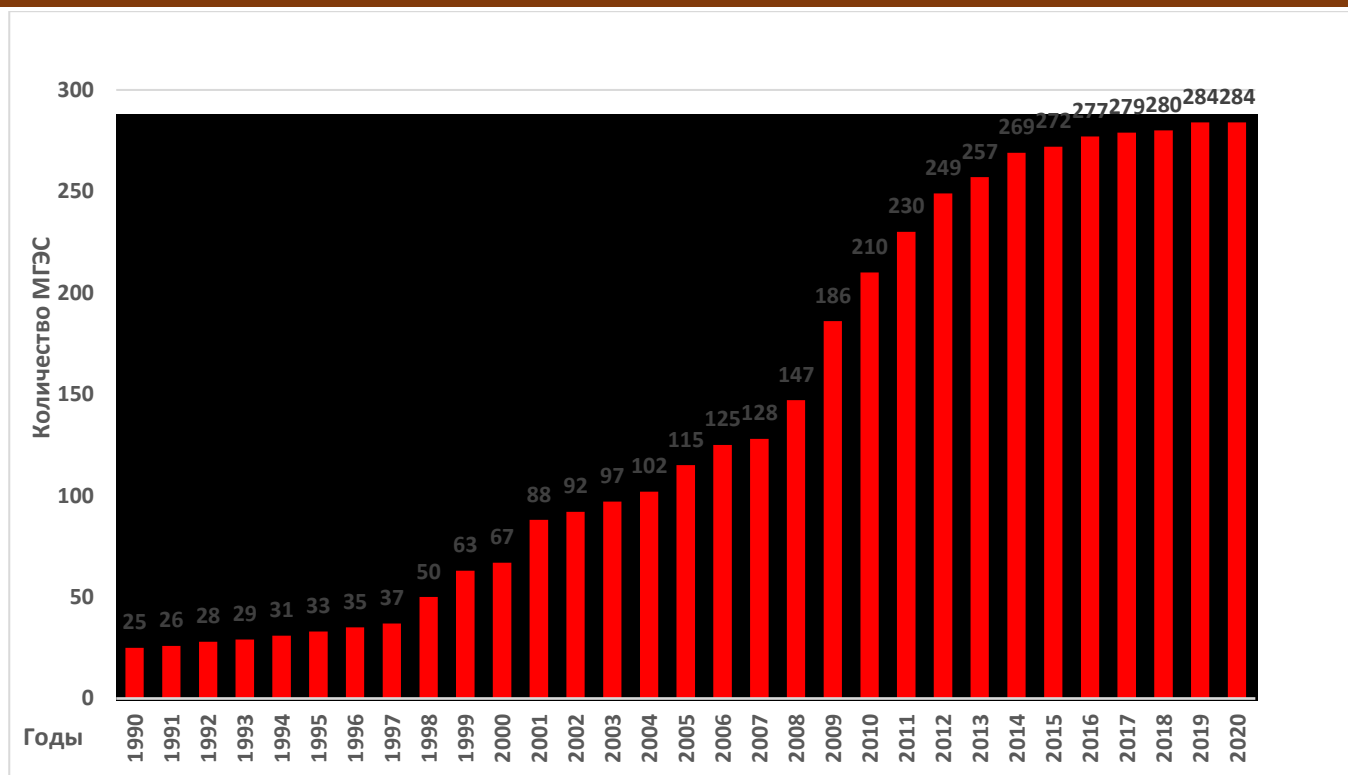


Рисунок 2 – Динамика развития малых гидроэлектростанций

В качестве эффективного решения данной проблемы выступает переход к технологиям регулируемой скорости вращения на базе машин двойного питания (МДП), в отечественной литературе часто классифицируемых как асинхронизированные синхронные генераторы (АСГ) [8]. Конструктивная особенность данных машин, предполагающая питание обмоток ротора через двухзонный преобразователь частоты, позволяет разделить частоту вращения вала и частоту напряжения в сети. Это дает возможность реализовать алгоритмы отслеживания точки максимальной мощности (MPPT), адаптируя скорость турбины под текущие гидравлические параметры потока без потери качества генерируемой электроэнергии.

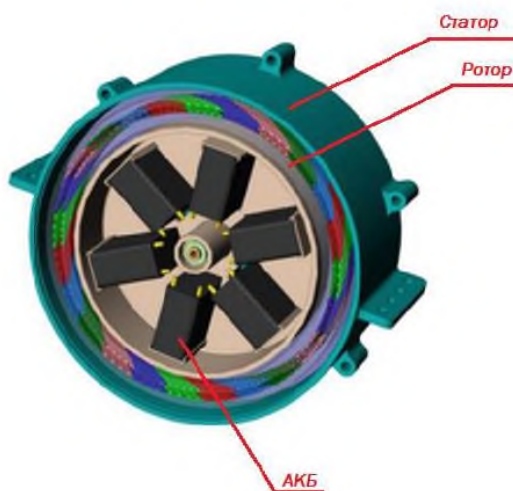


Рисунок 3 – Общий вид асинхронизированного синхронного генератора

Применение АСГ на малых ГЭС Республики Таджикистан обусловлено не только энергетической эффективностью, но и необходимостью поддержания устойчивости распределительных сетей. Большинство малых объектов генерации интегрируются в радиальные линии электропередач напряжением 10 кВ, характеризующиеся значительной протяженностью и высоким полным сопротивлением (так называемые «слабые сети»). В таких условиях резкие изменения нагрузки вызывают недопустимые отклонения уровней напряжения у потребителей.

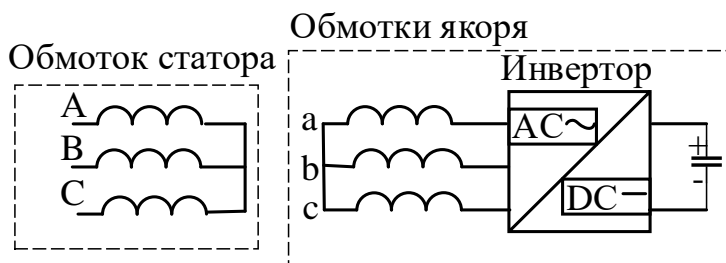


Рисунок 4 – Общая электрическая схема АСГ-АКБ

Использование преобразователя в цепи ротора МДП превращает генератор в активное средство управления параметрами сети (см.рис.4). Благодаря векторному управлению, АСГ способен осуществлять прецизионное и независимое регулирование активной и реактивной мощности. Это позволяет не только оптимизировать выработку энергии, но и динамически компенсировать дефицит реактивной мощности в сети, стабилизируя напряжение в точке общего подключения. Таким образом, технологический переход к машинам двойного питания позволяет трансформировать малую ГЭС из пассивного источника энергии в активный элемент системы регулирования качества электроэнергии. Однако практическая реализация потенциала АСГ в условиях высокогорных и труднодоступных регионов Таджикистана требует решения еще одной критической задачи — обеспечения гарантированной надежности системы возбуждения при возникновении аварийных режимов в «слабых» сетях.

Учитывая стохастический характер гидрологических процессов и специфику распределительных сетей 10 кВ, представляется целесообразным переход от классической архитектуры АСГ к гибридным энергосистемам. Интеграция фотоэлектрических панелей и аккумуляторных батарей непосредственно в систему питания ротора позволяет создать энергетический резерв, необходимый для бесперебойного управления генератором. Для анализа эффективности такой интеграции и разработки алгоритмов согласованного управления потоками энергии от разнородных источников требуется построение комплексной математической модели, учитывающей динамическое взаимодействие всех элементов гибридного узла.

### Социально-экономический эффект внедрения в Республике Таджикистан

Переход от классических схем генерации к предлагаемым гибридным комплексам на базе АСГ несет в себе выраженный мультипликативный эффект. Во-первых, это снижение эксплуатационных затрат: за счет перекладывания функций регулирования с механики турбины на силовую электронику увеличивается межремонтный интервал гидроагрегата.

Во-вторых, это повышение энергетической безопасности. Для Таджикистана, где малые ГЭС часто являются единственным источником тепла и света для горных кишлаков, надежность системы возбуждения — это вопрос жизнеобеспечения. Предлагаемая схема превращает каждую малую ГЭС в полноценный интеллектуальный узел, способный «выживать» в самых суровых сетевых условиях и неблагоприятных гидрологических условиях.

### Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что для эффективного освоения гидроэнергетического потенциала малых и средних рек Республики Таджикистан необходим переход

от традиционных жестких схем генерации к адаптивным гибридным системам. В ходе работы были получены следующие ключевые результаты и выводы:

**1. Технологическая адаптация:** Доказано, что применение машин двойного питания (АСГ) является наиболее рациональным решением для малых ГЭС, работающих в условиях значительной сезонной вариативности стока. Использование векторного управления позволяет реализовать принцип переменной скорости вращения турбины, что обеспечивает работу гидроагрегата в точке максимального КПД (MPPT) и увеличивает годовую выработку электроэнергии в среднем на 12–15% по сравнению с синхронными машинами.

**2. Инновационная топология:** Разработана и теоретически обоснована гибридная электрическая схема, объединяющая АСГ, фотоэлектрические панели и накопители энергии на общей шине постоянного тока. Такая конфигурация решает критическую проблему надежности системы возбуждения в «слабых» распределительных сетях 10 кВ. Наличие АКБ и солнечной генерации гарантирует бесперебойную работу преобразователя ротора, обеспечивая возможность автономного пуска («черного старта») и функционирования ГЭС в режиме микросети при авариях в основной энергосистеме.

**3. Социально-экономический и экологический эффект:** Внедрение предлагаемых комплексов в энергосистему Таджикистана несет выраженный практический эффект. Снижение механических нагрузок на направляющий аппарат турбины за счет перевода функций регулирования на силовую электронику позволяет увеличить межремонтный интервал оборудования. С точки зрения социального развития, это обеспечивает качественное и бесперебойное энергоснабжение труднодоступных населенных пунктов, способствуя развитию локальной промышленности и улучшению бытовых условий населения.

В конечном итоге, предложенный подход трансформирует малую гидроэнергетику из пассивного участника генерации в активный интеллектуальный ресурс, способный динамически поддерживать устойчивость национальной энергосистемы. Дальнейшее развитие темы может быть связано с оптимизацией алгоритмов управления гибридным узлом с использованием методов искусственного интеллекта для прогнозирования суточного графика нагрузки и выработки ФЭП в специфических климатических условиях высокогорья.

*Рецензент: Касобов А.С. — к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ЛЭТУ имени академика М.С. Осими*

## Литература

1. Рывкин, С. Е. Современные способы управления микро-ГЭС с асинхронным генератором / С. Е. Рывкин, Г. Б. Зиборов, А. А. Ель // *Электротехника*. – 2017. – № 8. – С. 67-73. – EDN WIGZWQ.
2. Ганджа С.А., Аминов Д.С. Разработка водопогружного гидрогенератора в качестве возобновляемого источника электроэнергии малых рек. // *Материалы десятой научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ*. Челябинск-2018. С.82-86.
3. Котов, А. А. Применение генератора двойного питания для ветроэнергетических установок малой, средней и большой мощности / А. А. Котов, Н. И. Неустроев // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 80-89. – DOI 10.14529/power170409. – EDN ZXNZRB.
4. Gandzha S., Aminov D, and Kosimov B. “Application of the combined Excitation Submersible Hydrogenerator as an Alternative energy source for small and medium rivers. // 2019 IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI)”, 4-5 Oct. 2019 Magnitogorsk, Russia. DOI: 10.1109/PEAMI.2019.8915294.\
5. Автоматизированная мини-ГЭС как основа системы электроснабжения горных районов Таджикистана / С. Г. Воронин, А. М. Давлатов, О. О. Султонов [и др.] // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 100-107. – DOI 10.14529/power190311. – EDN KJFFOR.
6. Д.С. Аминов, Б.И. Косимов, Ниматов Р.Р. Использование малых гидроэлектростанций в качестве возобновляемых источников энергии. // *Приоритетные направления развития энергетики в АПК Курган*, 22 февраля 2018 г. Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2018. С.70-75.

7. Tazil, M., Kumar, V., Bansal, R., Kong, S., Dong, Z., Freitas, W., and Mathur, H., "Three-phase doubly fed induction generators: An overview," IET Elect. Power Appl., Vol. 4, No. 2, pp. 75–89, 2010.

8. Аминов Д.С. Применение программного комплекса Ansys Electronics Desktop для анализа водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения // Журнал «Электротехнические системы и комплексы» – 2020. – №1(46), – С. 13-18.

9. Шамсиев, М.В. О возможности совместной работы гидрогенератора Варзоб ГЭС - 3 с гравитационной аккумулирующей электрической станцией / М. В. Шамсиев, Д. Т. Мамаджанова, Ш. М. Султонзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 3(71). – С. 22-26. – EDN STZOJS.

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

| TJ                                                                                        | RU                                                               | EN                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Қосимов Бахтиёр<br>Исматуллоевич                                                          | Косимов Бахтиёр Исматуллоевич                                    | Kosimov Bakhtiyor Ismatulloevich                                                                    |
| н.и.т., саромӯзгори кафедраи<br>«неругоҳҳои барқӣ»                                        | к.т.н., старший преподаватель кафедры<br>«электрические станции» | Candidate of Technical Sciences,<br>Senior teacher of the Department<br>"Electrical power stations" |
| Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон                                                          | Таджикский энергетический институт                               | Tajikistan Power Engineering<br>institute                                                           |
| E-mail: <a href="mailto:kosimov.energy@mail.ru">kosimov.energy@mail.ru</a>                |                                                                  |                                                                                                     |
| <a href="https://orcid.org/0000-0001-8807-3260">https://orcid.org/0000-0001-8807-3260</a> |                                                                  |                                                                                                     |
| TJ                                                                                        | RU                                                               | EN                                                                                                  |
| Шарбатов Навруз Сайвалиевич                                                               | Шарбатов Навруз Сайвалиевич                                      | Sharbatov Navruz Sayvalievich                                                                       |
| Докторанти PhD                                                                            | Докторант PhD                                                    | PhD student                                                                                         |
| Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон                                                          | Таджикский энергетический институт                               | Tajikistan Power Engineering<br>institute                                                           |
| E-mail: <a href="mailto:nsharbatov@internet.ru">nsharbatov@internet.ru</a>                |                                                                  |                                                                                                     |
| TJ                                                                                        | RU                                                               | EN                                                                                                  |
| Қаюмов Алишер Гафурҷонович                                                                | Қаюмов Алишер Гафурҷонович                                       | Kayumov Alisher Gafurjonovich                                                                       |
| н.и.т., саромӯзгори кафедраи<br>«неругоҳҳои барқӣ»                                        | к.т.н., старший преподаватель кафедры<br>«электрические станции» | Candidate of Technical Sciences,<br>Senior teacher of the Department<br>"Electrical Power stations" |
| Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон                                                          | Таджикский энергетический институт                               | Tajikistan Power Engineering<br>institute                                                           |
| E-mail: <a href="mailto:kayumov_ag@mail.ru">kayumov_ag@mail.ru</a>                        |                                                                  |                                                                                                     |
| TJ                                                                                        | RU                                                               | EN                                                                                                  |
| Аминов Дилшод Саидович                                                                    | Аминов Дилшод Саидович                                           | Aminov Dilshod Saidovich                                                                            |
| н.и.т., саромӯзгори кафедраи<br>«неругоҳҳои барқӣ»                                        | к.т.н., старший преподаватель кафедры<br>«электрические станции» | Candidate of Technical Sciences,<br>Senior teacher of the Department<br>"Electrical Power stations" |
| Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон                                                          | Таджикский энергетический институт                               | Tajikistan Power Engineering<br>institute                                                           |
| E-mail: <a href="mailto:aminov_ds@mail.ru">aminov_ds@mail.ru</a>                          |                                                                  |                                                                                                     |
| TJ                                                                                        | RU                                                               | EN                                                                                                  |
| Давлатов Азамҷон Махмадиевич                                                              | Давлатов Азамҷон Махмадиевич                                     | Davlatov Azamjon Mahmadiyevich                                                                      |
| н.и.т., саромӯзгори кафедраи<br>«неругоҳҳои барқӣ»                                        | к.т.н., старший преподаватель кафедры<br>«электрические станции» | Candidate of Technical Sciences,<br>Senior teacher of the Department<br>"Electrical Power stations" |
| Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон                                                          | Таджикский энергетический институт                               | Tajikistan Power Engineering<br>institute                                                           |
| E-mail: <a href="mailto:Davlatov_azam@bk.ru">Davlatov_azam@bk.ru</a>                      |                                                                  |                                                                                                     |

## ВЫЯВЛЕНИЕ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКЕ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Д.Ю. Гулов, А.М. Давлатов, Н.Х. Одинаев, Р.А. Кахоров, А.С. Амирханов

Институт энергетики Таджикистана

В основу разрабатываемой системы диагностики коротких замыканий легла гипотеза о том, что установка дополнительной информационной обмотки позволяет регистрировать магнитную асимметрию машины, возникающую в аварийных условиях. Теоретический фундамент данного подхода базируется на классическом методе симметричных составляющих. Однако практическая реализация сопряжена с рядом технических неопределенностей. В частности, эффективность метода может снижаться из-за факторов, не учтенных в исходной теоретической модели: нелинейного влияния насыщения магнитной цепи (нарушающего принцип суперпозиции) и воздействия высших гармонических составляющих магнитного поля. Для верификации предложенной концепции и оценки влияния указанных факторов были проведены на действующем образце генератора.

**Ключевые слова:** синхронный генератор, постоянный магнит, межвитковое короткое замыкание.

## МУАЙЯНКУНИИ РАСИШИ БАИНИ ПЕЧИДАҲО ДАР ҒАЛТАКИ ГЕНЕРАТОРИ СИНХРОНИЙ

Д.Ю. Гулов, А.М. Давлатов, Н.Х. Одинаев, Р.А. Қаҳоров, А.С. Амирханов

Дар асоси ташхиси расиши кутӯхи байни печидаҳо, ки тибқи он насби печаҳои иттилоотии иловагӣ имкон медиҳад, ки асимметрияи магнитии мошиноро, ки дар шароитҳои садамавӣ ба вуҷуд меояд, қайд кунад. Заминаи назариявии равиши мазкур ба усули классикии ташкилдихандаҳои симметрии асос ёфтааст. Вале иҷрои амалии он бо як қатор номуайяниҳои техникӣ алоқаманд мебошад. Аз ҷумла, самаранокии усул метавонад аз ҳисоби омилҳои, ки дар модели назариявии аввалия ба назар гирифта нашудаанд, коҳиш ёбад: таъсири ғайрихаттии сершавии занҷири магнитӣ (вайронкунандаи принсипи суперпозиция) ва таъсири ташкилдихандаҳои гармоникаҳои олиӣ майдони магнитӣ. Бо мақсади санҷиши қобилияти қорӣ усули мазкур ва арзёбии дараҷаи таъсири сершавии магнитӣ ва гармоникаҳои олиӣ, тадқиқот дар дастгоҳи воқеии генератор амалӣ карда шуд.

**Калидвожаҳо:** генератори синхронӣ, магниту доими, расиши кутӯхи байни печидаҳо.

## DETECTION OF INTERTURN SHORT CIRCUIT FAULTS IN THE WINDING OF A SYNCHRONOUS GENERATOR

D.Yu. Gulov, A.M. Davlatov, N.Kh. Odinaev, R.A. Kakhorov, A.S. Amirkhanov

The short-circuit diagnostic system being developed is based on the hypothesis that installing an additional information winding allows for the detection of machine magnetic asymmetry that occurs under emergency conditions. The theoretical foundation of this approach is based on the classical method of symmetrical components. However, practical implementation is associated with a number of technical uncertainties. In particular, the method's effectiveness may be reduced by factors not considered in the original theoretical model: the nonlinear effect of magnetic circuit saturation (which violates the superposition principle) and the influence of higher harmonic components of the magnetic field. To verify the proposed concept and assess the impact of these factors, tests were conducted on a working generator prototype.

**Keywords:** synchronous generator, permanent magnet, interturn short circuit.

### Введение

Своевременная диагностика начальных дефектов синхронных генераторов (СГ) выступает критическим аспектом их надежной эксплуатации [1, 2]. Игнорирование первичных признаков неисправности обмотки ведет к термическому разрушению изоляции и плавлению проводников. Данные процессы провоцируют возникновение высокочастотных электромагнитных колебаний в контуре возбуждения, что, в свою очередь, вызывает электрический пробой в зонах с наименьшей диэлектрической прочностью [3]. Кроме того, развитие дефекта нарушает баланс магнитных сил, действующий на ротор. Возникающая вследствие этого механическая асимметрия перегружает шейку вала, способствуя образованию микротрещин, наличие которых делает продолжение работы агрегата технически невозможным.

Классификация современных подходов к дефектоскопии витковых замыканий включает тепловой, параметрический, вибрационный и частотный анализы, а также методы активного зондирования. Несмотря на многообразие, традиционные решения — например, применение индукционных датчиков [4] или подача зондирующих импульсов на обмотку ротора [5-8] — обладают рядом ограничений. Ключевыми недостатками являются их неполная диагностическая способность

и потребность в интеграции вспомогательной измерительной аппаратуры непосредственно в узлы синхронного генератора, что усложняет конструкцию агрегата.

### Постановка задачи

Хотя теоретическая база исследования ориентирована на вентильные генераторы с постоянными магнитами, разработанный диагностический алгоритм универсален, так как анализирует состояние якорной обмотки и инвариантен к типу системы возбуждения. В целях оптимизации сроков экспериментальной проверки в качестве объекта исследования был использован лабораторный стенд на базе генератора автотракторного электрооборудования. Данная электрическая машина характеризуется когтеобразной магнитной системой с электромагнитным возбуждением, а ее статорная цепь выполнена по классической трехфазной схеме с соединением обмоток в «треугольник».

Генератор имеет следующие паспортные данные (табл. 1):

Таблица 1 – Основные параметры генератора

|                                            |                             |
|--------------------------------------------|-----------------------------|
| Номинальное напряжение, В                  | 28                          |
| Максимальный выпрямленный ток, А           | 47                          |
| Масса, кг                                  | 10                          |
| Мощность, кВт                              | 1316                        |
| Частота вращения вала без нагрузки, об/мин | 1200                        |
| Частота вращения вала, об/мин при токе, А  | 2100/30                     |
| Длина, мм                                  | 230                         |
| Диаметр, мм                                | 174                         |
| Применяемость                              | а/м КраЗ с дв. ЯМЗ 236, 238 |

### Объект исследования

В качестве объекта исследования был выбран трехфазный синхронный генератор модели Г288Е.3701. Данная электрическая машина оснащена интегрированным выпрямительным блоком и рассчитана на эксплуатацию в буферном режиме с аккумуляторной батареей в энергосетях тяжелой техники (в частности, автомобилей КраЗ с силовыми агрегатами ЯМЗ-236/238). Устройство адаптировано для работы в широком диапазоне климатических условий. Важно отметить, что, являясь серийным изделием массового производства, статор данного генератора конструктивно не предусматривает пазов для размещения дополнительной информационной обмотки (рис. 1).



Рисунок 1 – Основные части испытуемого генератора

Тем не менее, анализ плотности намотки 18-зубцового статора позволил выявить незанятые участки в пазах. Этого пространства достаточно для размещения проводника диаметром 0,15 мм, выполняющего функцию информационной обмотки (рис. 2).



Рисунок 2 – Якорная обмотка генератора

В рамках подготовки к экспериментальным исследованиям была спроектирована и изготовлена трехфазная информационная обмотка. Каждая секция данной обмотки включает в себя 15 витков, что в суммарном исчислении обеспечивает наличие 90 витков в каждой фазе.

Для обеспечения аутентичности условий эксперимента конфигурация информационной обмотки повторяла геометрию силовой: шаг по пазам был принят равным единице. Для гибкости измерений выводы фаз были вынесены за пределы корпуса, что позволяло оперативно менять схему их соединения («звезда» или «треугольник»).

Процесс моделирования межвитковых повреждений был реализован путем интеграции в пазы фазы А контрольных петель из провода диаметром 1,5 мм, что полностью соответствует сечению штатной якорной обмотки. В ходе испытаний последовательно имитировались режимы с различной степенью деградации: замыкание одного, трех и пяти витков соответственно.

После сборки генератор был собран в испытательный стенд (рис. 3.).

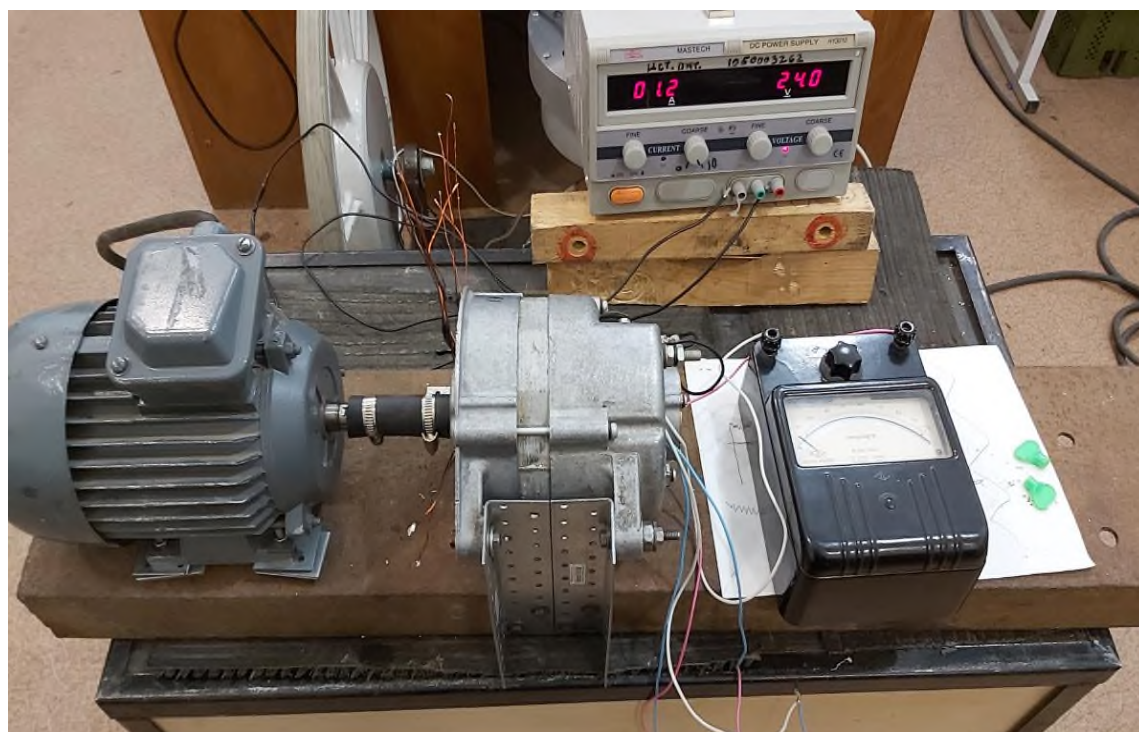


Рисунок 3 – Стенд для испытания генератора в режиме межвитковых замыканий

Функцию первичного двигателя в составе испытательного стенда выполняла асинхронная электрическая машина с номинальной синхронной скоростью 1500 об/мин. Энергетический режим системы возбуждения характеризовался подачей на обмотку напряжения 24 В, при этом величина потребляемого тока стабилизировалась на отметке 1,2 А, что зафиксировано на осциллограмме (рис. 4).

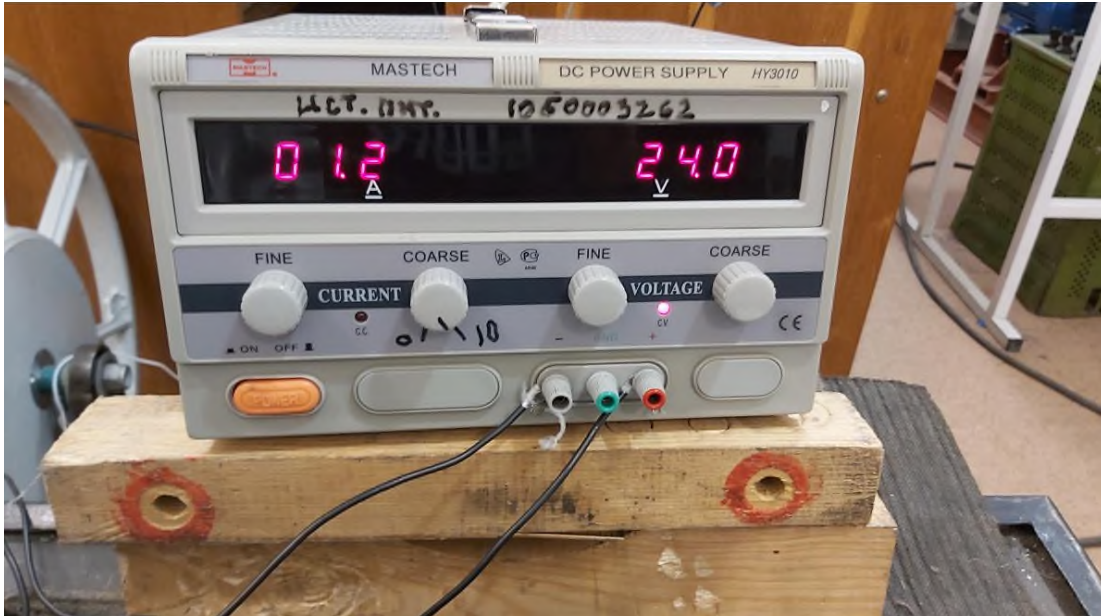


Рисунок 4 – Питание цепи возбуждения генератора источником постоянного тока

Выбранные параметры цепи возбуждения практически соответствуют паспортным значениям для данного типа машин. С целью обеспечения высокой достоверности результаты измерения проводились с использованием контрольно-измерительной аппаратуры (цифровой и аналогового типов) класса точности 0,5. Экспериментальные исследования ограничивались режимом холостого хода при отсутствии внешней электрической нагрузки.

В данном разделе представлены данные, полученные в ходе исследования межвитковых повреждений при условии коммутации измерительной обмотки по схеме «треугольник». Общая конфигурация измерительной цепи и порядок соединений, использованные в ходе эксперимента, отражены на рис. 5. Такой подход к организации измерений позволил зафиксировать специфические изменения электрических параметров, характерные для короткозамкнутых витков.

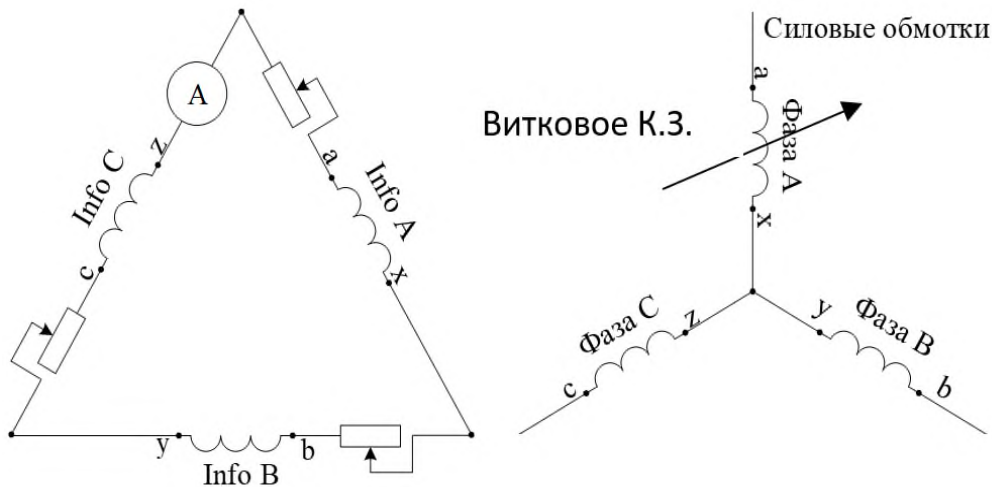


Рисунок 5 – Схема испытания генератора в режиме виткового короткого замыкания при соединении информационной обмотки в треугольник

В режиме холостого хода с помощью прецизионных переменных резисторов ток в контуре измерительной обмотки был сбалансирован до нулевого значения. В дальнейшем проводилась регистрация тока короткого замыкания при помощи миллиамперметра для различных сценариев повреждения: при замыкании одного, трех и пяти витков (рис. 6). Полученные данные подтвердили высокую чувствительность разработанной информационной обмотки к возникновению локальных межвитковых дефектов в якорной цепи.

Амперметр показал следующие результаты:

- 1 короткозамкнутый виток – 31 мА (рис. 4.2.3);
- 3 короткозамкнутых витка – 35 мА (рис. 4.2.4);
- 5 короткозамкнутых витков – 36 мА (рис. 4.2.5).

Короткозамкнутый виток

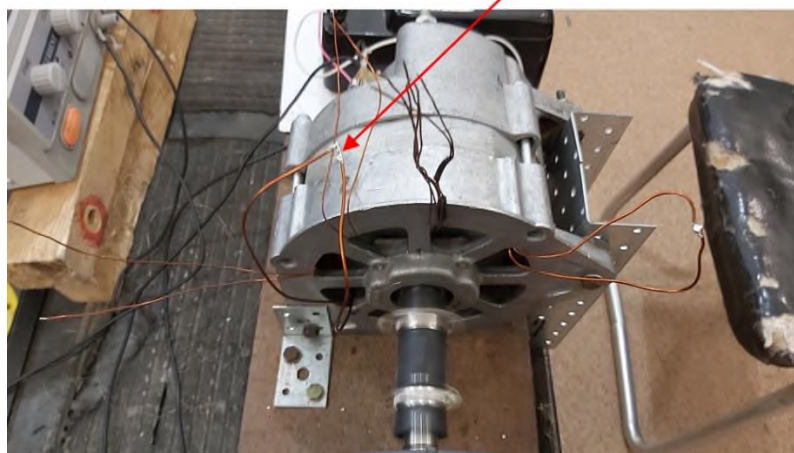


Рисунок 6 – Формирование короткозамкнутого витка якорной обмотки



Рисунок 7 – Показания амперметра при коротком замыкании 1 витка



Рисунок 8 – Показания амперметра при коротком замыкании 3 витков



Рисунок 9 – Показания амперметра при коротком замыкании 5 витков

Экспериментально зафиксировано интенсивное тепловыделение в зоне дефекта: температура короткозамкнутых витков превышала 100 °С уже в течение первых секунд процесса. Анализ полученных данных подтвердил, что конфигурация информационной обмотки по схеме «треугольник» обладает высокой чувствительностью к электромагнитной асимметрии, инициированной межвитковыми замыканиями.

Дальнейший этап исследований был посвящен изучению характеристик генератора при перекоммутации фаз измерительной обмотки в «звезду». Методика проведения данного цикла испытаний опиралась на принципиальную электрическую схему, представленную на рис. 10.

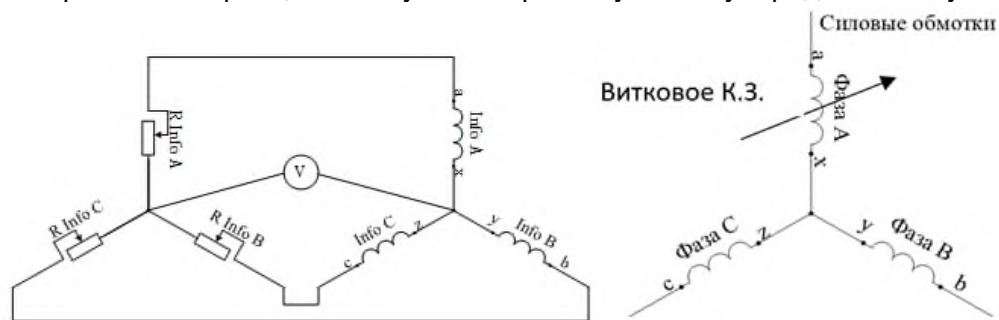


Рисунок 10 – Схема испытания генератора в режиме виткового короткого замыкания при соединении информационной обмотки в звезду

В качестве нагрузочных элементов измерительного контура были применены переменные резисторы, суммарное сопротивление которых составило 500 Ом. Начальный этап эксперимента в режиме холостого хода заключался в прецизионной балансировке системы: путем варьирования сопротивлений разность потенциалов между нейтральными точками измерительной цепи сводилась к минимуму (практически до нулевого значения). В дальнейшем фиксировалось изменение напряжения между нейтральными при последовательной имитации витковых замыканий (1, 3 и 5 витков соответственно), результаты чего отражены на рис. 8. Полученные данные подтвердили адекватность отклика информационной обмотки на возникновение электромагнитной асимметрии в статоре.

Милливольтметр показал следующие результаты:

- 1 короткозамкнутый виток – 72 мВ;
- 3 короткозамкнутых витка – 75 мВ;
- 5 короткозамкнутых витков 76 мВ.

В процессе моделирования аварийных режимов наблюдался интенсивный рост температуры в короткозамкнутых контурах, которая за считанные секунды превышала порог в 100 °С. Это свидетельствует о значительных энергетических потерях в месте возникновения дефекта. Обобщая результаты эксперимента, можно утверждать, что конфигурация информационной обмотки по схеме «звезда» является эффективным индикатором магнитной асимметрии. Данная схема позволяет достоверно фиксировать искажения основного магнитного потока, возникающие при межвитковых замыканиях.

### Заключение

Для верификации предложенных теоретических положений был спроектирован и реализован автоматизированный измерительный комплекс, функционал которого ориентирован на непрерывный мониторинг состояния обмоток и идентификацию межвитковых дефектов. Натурные испытания опытного образца позволили экспериментально обосновать эффективность применения информационной обмотки: зафиксирована четкая корреляция между возникновением короткозамкнутых контуров и изменением выходных параметров системы. Обобщение полученных данных позволяет сформулировать ряд ключевых выводов.

1. Апробированная архитектура и программно-аппаратные алгоритмы автоматизированной системы могут послужить фундаментом для создания промышленных диагностических комплексов. Внедрение подобных решений на объектах малой гидроэнергетики (мини-ГЭС) позволит существенно повысить надежность эксплуатации генераторных установок за счет непрерывного мониторинга состояния обмоток.

2. Практическое применение информационной обмотки в качестве селективного датчика требует обязательной процедуры предварительной балансировки. Данная необходимость обусловлена наличием естественной технологической асимметрии магнитной и электрической систем машины. Процесс прецизионной настройки критически важен для обеих исследованных конфигураций — как при соединении фаз «звездой», так и «треугольником».

3. Установлено, что при коммутации информационной обмотки по схеме «треугольник» критерием возникновения дефекта служит появление токов нулевой последовательности. Этот физический эффект инициируется локальным искажением магнитного поля, вызванным протеканием значительных токов в короткозамкнутых контурах якорной цепи.

4. В случае использования схемы «звезда» индикатором межвиткового замыкания выступает смещение потенциала нейтрали относительно опорной точки. Данное явление также является следствием нарушения магнитной симметрии агрегата, возникающего при аварийных токах в поврежденных витках статорной обмотки.

5. Для повышения достоверности и прецизионности диагностирования в реальных условиях эксплуатации целесообразно использовать комбинированный подход, предполагающий одновременный анализ сигналов от обмоток, включенных по обеим схемам. Корреляционная обработка данных от «звезды» и «треугольника» позволяет минимизировать ложные срабатывания и более точно идентифицировать характер и тяжесть повреждения.

*Рецензент: Касобов А.С. — к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ЛЭПГУ имени академика М.С. Осими*

### Литература

1. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: в 2 т. Т. 2. / А. В. Иванов-Смоленский. — 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МЭИ, 2005. - 528 с.
2. Кавун, Ю. Ю. Новые типы синхронных электрических машин с постоянными магнитами / Ю. Ю. Кавун, Л. К. Ковалев // Проектирование и изготовление аэрокосмических аппаратов / под ред. проф. Ю. Ю. Комарова. – М.: Изд-во МАИ, 2006.
3. Полищук В.И. Построение защиты от виткового замыкания в обмотке ротора синхронного генератора на основе индукционного датчика магнитного поля рассеяния // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 4. – С. 57–61.

4. Соболев, А.Н. Признаки повреждения обмотки статора асинхронного генератора / А.Н. Соболев А.В. Богдан, И.А. Потапенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 8. – С. 13 – 14.
5. Устройство защиты синхронной электрической машины от витковых и двойных на землю замыканий в обмотке ротора: пат. 22450 (KZ). № 2008/1073.1, заявл. 29.09.2008; опубл. 15.04.2010, Бюл. № 5. – 4 с.
6. Д.Ю. Гулов // Исследования межвиткового замыкания синхронного генератора с постоянными магнитами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 12. С. 391-399
7. С.А. Ганджа. Устройство защиты якорной обмотки машин переменного тока от коротких замыканий // Д.Ю. Гулов // Патент на изобретения № 2766958 С1 Российская Федерация, СПК Н02Н 7/08, (2021-08) G01R 17/02, (202108).: № 2021114949.
8. Davlatov, A. M. Development of reliability model for a multiphase synchronous generator with an uncontrolled rectifier / A. M. Davlatov, N. Kh. Odinaev, A. Z. Rakhmatulloev // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies. – 2024. – No. 4(68). – P. 63-71. – EDN NMJYRA.

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

| TJ                                                                                   | RU                               | EN                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Гулов Диловар Юсупович                                                               | Гулов Диловар Юсупович           | Gulov Dilovar Yusupovich         |
| Донишкадаи Энергетикии Тоҷикистон                                                    | Институт энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan   |
| н.и.т.                                                                               | кандидат технических наук        | Candidate of Technical Sciences  |
| E-mail: <a href="mailto:GDY_02@mail.ru">GDY_02@mail.ru</a>                           |                                  |                                  |
| TJ                                                                                   | RU                               | EN                               |
| Давлатов Азаматҷон Махмадиевич                                                       | Давлатов Азаматҷон Махмадиевич   | Davlatov Azamajon Mahmadiyevich  |
| Донишкадаи Энергетикии Тоҷикистон                                                    | Институт энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan   |
| н.и.т.                                                                               | кандидат технических наук        | Candidate of Technical Sciences  |
| E-mail: <a href="mailto:davlatov_azam@bk.ru">davlatov_azam@bk.ru</a>                 |                                  |                                  |
| TJ                                                                                   | RU                               | EN                               |
| Одинаев Неккадам Хушқадамович                                                        | Одинаев Неккадам Хушқадамович    | Odinaev Nekkadam Khushkadamovich |
| Донишкадаи Энергетикии Тоҷикистон                                                    | Институт энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan   |
| н.и.т.                                                                               | кандидат технических наук        | Candidate of Technical Sciences  |
| E-mail: <a href="mailto:onk.tj@mail.ru">onk.tj@mail.ru</a>                           |                                  |                                  |
| TJ                                                                                   | RU                               | EN                               |
| Қаҳоров Рустам Асалиевич                                                             | Қаҳоров Рустам Асалиевич         | Kahorov Rustam Asaliyevich       |
| Донишкадаи Энергетикии Тоҷикистон                                                    | Институт энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan   |
| н.и.т.                                                                               | кандидат технических наук        | Candidate of Technical Sciences  |
| E-mail: <a href="mailto:rustam-kahorov-2226@mail.ru">rustam-kahorov-2226@mail.ru</a> |                                  |                                  |
| TJ                                                                                   | RU                               | EN                               |
| Амирханов Алишер Сайвалиевич                                                         | Амирханов Алишер Сайвалиевич     | Amirkhanov Alisher Sayvaliyevich |
| Донишкадаи Энергетикии Тоҷикистон                                                    | Институт энергетики Таджикистана | Institute of Energy Tajikistan   |
| н.и.т.                                                                               | кандидат технических наук        | Candidate of Technical Sciences  |
| E-mail: <a href="mailto:amirkhonov_as@mail.ru">amirkhonov_as@mail.ru</a>             |                                  |                                  |

## РАҚАМИКУНОНИИ ЗЕРИСТГОҲИ БАРҚӢ БО ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ МУОСИР

<sup>1</sup>М.М. Воҳидов, <sup>2</sup>Ғ.Х. Мачидов

<sup>1</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

<sup>2</sup>ҶСК “Шабақаҳои тақсимоти барқ”

Дар мақола афзалиятҳои рақамикунонӣ ҳамчун самти ояндадор дар соҳаи электроэнергетика баён шудааст. Хусусиятҳои хоси кори шабақаҳои барқӣ ва унсурҳои онҳо бо истифода аз технологияҳои «Smart Grid» мавриди баррасӣ қарор мегиранд. Таҳлили кори унсури асосии шабақа - зеристгоҳи барқии рақамӣ - ба таври муфассал пешниҳод мешавад, ки дар он сохтор ва равандҳои идоракунии таҷҳизоти таркибӣ мавриди тавачҷуҳ қарор гирифтааст. Гузариш ба технологияҳои рақамӣ яке аз самтҳои асосии ояндадори рушди энергетикаи муосир ба шумор рафта, рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ имкони баланд бардоштани эътимоднокӣ, беҳтаркунии сифати нерӯи барқи додешаванда, таъмини бартарарафсозии фаврии ҳолатҳои садамавӣ ва муносибгардонии хароҷоти истифодабариро фароҳам меорад. Автоматикунони паҳншуда, мониторинги фосолавии низом дар маҷмӯъ ва идоракунии ягонаи ҳамаи ҷузъҳои он — ин дар умум бо гузариш ба низоми зеҳнии идоракунӣ, ки бар асоси платформаи кушодаи додаҳо фаъолият мекунад, имконпазир мегардад.

**Калидвожаҳо:** рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ, технологияҳои рақамӣ, шабақаи электрикӣ, зеристгоҳи барқӣ, трансформатор, эътимоднокӣ, сарфакорӣ.

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

М.М. Воҳидов, Г.Х. Маджидов

В статье изложены преимущества цифровизации как перспективного направления в электроэнергетике. Рассмотрены особенности работы электрических сетей и их элементов с использованием технологий «Smart Grid». Представлен детальный анализ работы основного элемента сети – цифровой электрической подстанции, в котором особое внимание уделено структуре и процессам управления составляющим оборудованием. Переход к цифровым технологиям является одним из главных перспективных направлений развития современной энергетики, а цифровизация электрических подстанций позволяет повысить надежность, улучшить качество поставляемой электроэнергии, обеспечить оперативное устранение аварийных ситуаций и оптимизировать эксплуатационные расходы. Распределенная автоматизация, дистанционный мониторинг системы в целом и унифицированное управление всеми ее компонентами – все это возможно в целом при переходе к интеллектуальной системе управления, работающей на основе открытой платформы данных.

**Ключевые слова:** цифровизация понизительных подстанций, цифровые технологии, электрическая сеть, подстанция, трансформатор, надежность, энергоэффективность.

## DIGITALIZATION OF A TRANSFORMER SUBSTATION USING MODERN TECHNOLOGIES

M.M. Vohidov, G.Kh. Madjidov

This article outlines the advantages of digitalization as a promising area in the electric power industry. It examines the operational characteristics of electrical networks and their components using Smart Grid technologies. A detailed analysis of the operation of the network's core element—the digital electrical substation—is presented, with particular attention to the structure and control processes of its component equipment. The transition to digital technologies is one of the key promising areas for the development of the modern energy sector, and the digitalization of electrical substations allows for increased reliability, improved power quality, prompt emergency response, and optimized operating costs. Distributed automation, remote monitoring of the entire system, and unified management of all its components are all possible with the transition to an intelligent control system operating on an open data platform.

**Keywords:** digitalization of transformer substations, digital technologies, electrical network, substation, transformer, reliability, energy efficiency.

## Муқаддима

Суръати баланди рушди шаҳрҳо, афзоиши зичии аҳоли, истифодаи таҷҳизоти муосири коммуналию маишӣ, инчунин зиёд шудани истифодабарандагони нерӯи барқ талаботҳои зиёдро ба системаҳои электротәъминкунӣ оварда мерасонад [1]. Бояд қайд намуд, ки дар шаҳри Душанбе низ талабот оид ба нерӯи барқ сол аз сол афзуда истодааст. Таҳлилҳо нишон медиҳад, ки дар умум, сатҳи миёнаи истеъмоли нерӯи барқ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон то соли 2025 қариб ду маротиба аз нишондиҳандаҳои аввали солҳои 2000-ум зиёд шудааст [2]. Бинобар ин дар шароити фарсуда гардидани трансформаторҳо, ноқилҳои электрикӣ ва дигар таҷҳизот нигоҳ доштани масъалаи эътимоднокӣ ва устувории системаҳои барқтәъминкунӣ аҳамияти хосса пайдо мекунад [3]. Аз ҳамин

лихоз, кори боэътимоди шабакаи электротаъминкунӣ, пешгирии қатъшавиҳои технологӣ ва низоми мунтазами таъмини барқ мониторинги назорати доимии дастгоҳҳо талаб мекунад [4].

Имрӯз соҳаи энергетика марҳилаи тағйирёбии рақамиро таҷриба мекунад, ки ба баланд бардоштани эътимоднокӣ, самаранокӣ ва идорашавии низоми энергетикӣ ва инчунин ба коҳиш додани талафоти нерӯи барқ равона шудааст. Рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ, ки дар пояи истифодаи технологияҳои муосири иттилоотӣ қарор дорад, роҳи боэътимоди ҳалли мушкилоти мавҷуда ба ҳисоб меравад [5-6]. Ҳадафҳои асосии рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ аз баланд бардоштани эътимоднокии таъминоти барқ, коҳиши хароҷоти истифодабарӣ ва вақти хизматрасонӣ, вусъат бахшидан ба ташхис ва бартарафсозии ҳолатҳои фавқулода, баланд бардоштани саҳеҳияти ченкуниҳо ва дараҷаи идорашавии таҷҳизот, ташкили муҳити ягонаи рақамӣ барои ҳамгирӣ бо системаҳои муосири рақамикунонӣ ба монанди SCADA, системаи идоракунии автоматии зеристгоҳи трансформаторӣ (САИ ЗТ), «Smart Grid», кам кардани талафоти иқтисодӣ ва техникӣ энергия тавассути назорати сарбории шабакаҳо ва коҳиши назарраси талафоти тиҷоратӣ (ноқисии ҳисоб, худсарона ва ғайри қонунӣ истифодаи нерӯи барқ) иборат мебошад [7-10].

Шабакаҳои барқӣ одатан иншоотҳои чамъиятӣ, биноҳои истиқоматӣ ва корхонаҳои саноатино бо нерӯи барқ таъмин мекунад. Дар шароити кунунӣ, таҷҳизоти аънавии энергетикӣ ба талаботи нави иқтисодӣ (талаботҳои ҷаҳони муосир) ва технологӣ қисман ҷавобгӯ нест.

Рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ имрӯз дар ҷаҳони муосир бо як равиши муайян дар амал татбиқ шуда истодааст. Аз он ҷумла дар Федератсияи Россия, Ҷумҳурии мардумии Чин, Ҷумҳурии Қазоқистон ва Иттиҳоди давлатҳои Аврупо дар рушди тараққӣ мебошанд [6, 11].

### **Маводҳо барои омӯзиши кор**

Дар кори мазкур озмоиши раванди рақамикунонӣ дар зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10 кВ-и шаҳри Душанбе гузаронида шудааст. Пеш аз он, ки ба рақамикунонии зеристгоҳи барқӣ гузарем, аввал бояд схемаи вучуддоштаи зеристгоҳи барқиро бо дастгоҳу таҷҳизотҳои воқеӣ таҳлил намоем.

Зеристгоҳи барқии трансформатории «Академикҳо» бо шиддати 110/35/10 кВ, дар маҳаллаи 7-уми Тепаҳои Шарқии ноҳияи Шохмансур ҷойгир аст. Зеристгоҳи барқии мазкур соли 1975 бо ду адад трансформатори қудратии 16000 кВА ба истифода дода шудааст. Масоҳати умумии зеристгоҳ 2,09 гектарро ташкил медиҳад.

Зеристгоҳи барқӣ аз ду хати ҳавоии интиқоли нерӯи барқӣ шиддати 110 кВ, бо рақамҳои танзимгарии Л-ОВ ва Л-ОВС қувва мегирад.

Соли 2014 баъди таҷдид ва азнавсозӣ дар тарафи дастгоҳҳои тақсимоти кушодаи 110 кВ (ОРУ-110 кВ) ду трансформатори қуввагии навъи ТДТН-25000/110/35/10 кВА насб карда шуданд:

Бахшҳои 110 кВ тавассути ҷудокунакҳои (разъединители) намуди РНДЗ-1 ва таҷҳизоти элегазии комбинатсияи муосир пайваст карда шудаанд. Зеристгоҳи барқӣ бо маҳдудкунандаи фузуншиддати ОПН-110 кВ, шаш трансформатори ҷараёни навъи ЭМЭК-150/5, инчунин шаш трансформатори шиддати навъи ТИД-110 кВ мучаҳҳаз мебошад.

Дар тарафи дастгоҳҳои тақсимоти кушодаи 35 кВ ду таҷҳизоти тақсимоти бр васлаҳои рағғани навъи С-35 кВ ва ду васлаки вакуумии намуди ЕАЕ насб шудаанд. Ба хати интиқоли барқӣ Л-АР ду адад васлаҳои воридот, як васлаки байнибахшӣ пайваст карда шудааст. Илова бар ин, дар ин сатҳ 10 адад ҷудокунаки РЛНД-35 кВ, 3- адад трансформатори шиддати ТИД-35 кВ, 3 – адад трансформатори шиддати ЗНОМ-35 кВ, 6 – адад трансформатори ҷараёни АГУ-300/5 ва тахлиягари намуди РВС-35 кВ мавҷуданд.

Дастгоҳҳои тақсимоти пӯшидаи ДТП -10 кВ аз 31 адад чашмаҳои намуди АВВ иборат буда, ҳамаи онҳо бо васлаҳои вакуумӣ мучаҳҳазанд. Аз ҷумла: 2 адад чашмаки воридотӣ, 23 адад чашмаки содиротӣ (отвода), 1 адад чашмаки ҷудокунаки байнибахшӣ, 1 адад чашмаки васлаки байнибахшӣ, 2 адад чашмак барои воситаҳои ченкунӣ, 2 адад трансформатори шиддат пайваст аст.

Тибқи маълумоти соли охир, дар зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10 кВ дар маҷмӯъ 133 қатъшавии кӯтоҳмуддати таъминоти нерӯи барқ ба қайд гирифта шудааст.

Шумораи истеъмолкунандагон дар бахшҳои хизматрасонии коммуналӣ, ки аз зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10 таъмин мешаванд сол то сол афзоиш меёбад. Дар чунин шароит,

системаҳои мавҷудаи танзим ва идоракунии автомати раванди технологӣ дар ҳолатҳои фавқулодаи ба миёномада имконияти пурра идора нмуданро надорад. Аз ин рӯ зарурати иваз намудани инфрасохтори шабакаҳои барқии ба талаботи муосир ҷавобгу ба миён меояд.

### Натиҷаи кор ва пешниҳоди он

Технологияе, ки имкони гузариш ба равандаи ягонаи иттилоотиро фароҳам меорад, бо номи «Smart Grid» — «Шабакаи зеҳнӣ» маъруф аст. Ин технология раванди идоракунӣ, истифодабарии шабакаҳои тақсимои нерӯи барқро ба таври назаррас содда менамояд.

Шабакаи «Smart Grid» он маҷмӯи равандҳои технологӣ ва иттилоотиро дар бар мегирад, ки низоми ягонаи зеҳнии таъминоти нерӯи барқро ташкил медиҳад ва барои интиқоли энергия аз истеҳсолкунанда ба истеъмолкунанда пешбинӣ шудааст [9].

Гузариш ба чунин система имкон медиҳад, ки тамоми маҷмӯи додаҳои аз ҷузъҳои шабака воридшаванда ба таври фаврӣ коркард мешаванд. Дар натиҷа истифодаи энергия муносиб (оптимизатсия) гардида эътимоднокии шабакаҳои барқӣ афзоиш меёбад [5].

Зеристгоҳҳои барқии рақамӣ унсурҳои асосии шабакаи зеҳнӣ ба шумор меравад. Зери ин мафҳум зеристгоҳи барқӣ пурра автоматикунонидашуда фаҳмида мешавад, ки дар он системаҳои рақамии иттилоотӣ ва идоракунӣ дар як вақт бо ҳам кор мекунанд [7-11].

Зеристгоҳи барқии рақамӣ метавонад бидуни хузури доимии кормандони хизматрасон фаъолият намояд.

Барои пурра рақамикунонӣ намудани зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10 кВ аксарияти таҷҳизоти мавҷудбудаи зеристгоҳро бо дастгоҳи таҷҳизоти муосир иваз намудан лозим аст, ки метавонад шумораи қатъшавии кутохмуддати таъминоти нерӯи барқро як чанд маротиба коҳиш диҳад [2, 7, 11, 12].

Дар ҷадвалҳои 1-5 нишондоди муқоисавии зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10 бо таҷҳизотҳои муосири Smart Grid нишон дода шудааст.

Ҷадвали 1-Ҷадвали муқоисавии таҷҳизоти зеристгоҳи барқии «Академикҳо» ва таҷҳизоти муосири Smart Grid.  
Таҷҳизоти ДТК – 110 кВ

| Таҷҳизоти ҳозира                                   | Мушкилот                                      | Таҷҳизоти Smart Grid                                     | Баргари Smart Grid                                               |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Трансформаторҳои қудратии ТДТН-25000/110/35/10 кВА | Мониторинги аналогӣ, набудани назорати онлайн | Трансформатори интеллектуалӣ (Digital Power Transformer) | Мониторинги 24/7, сенсорҳои ҳарорат, газ, вибратсия, OLTC-sensor |
| Ҷудокунакҳои РНДЗ-1                                | Идоракунии дастӣ                              | Ҷудокунаки интеллектуалӣ (Smart Disconnecter)            | Идоракунии фосилавӣ, сабти ҳолат, худдиагностика                 |
| ДТКЭ АВВ (элегаз)                                  | Рақамисозии нопурра                           | ДТКЭ рақамӣ бо IEC 61850                                 | Сенсорҳои дохилӣ, ҳамгирӣ бо процес-бус                          |
| Трансформаторҳои ҷараёни ЭМЭК-150/5                | Аналогӣ                                       | Digital CT (Оптическое ТТ)                               | Саҳеҳияти баланд, коҳиши хатоӣ, кори устувор                     |
| Трансформаторҳои шиддати ТИД-110                   | Аналогӣ                                       | Digital VT                                               | Интиқоли рақамии фазаҳо ва шиддат                                |
| Таҳлиагари ОПН-110                                 | Назорати дастӣ                                | Smart Surge Arrester                                     | Мониторинги онлайнӣ фишори барзиёд                               |

Чадвали 2 - Чадвали муқоисавии таҷҳизоти зеристгоҳи барқии «Академикҳо» ва таҷҳизоти муносири Smart Grid  
Таҷҳизоти ДТК – 35 кВ

| Таҷҳизоти ҳозира                 | Мушкилот                         | Smart Grid таҷҳизот               | Бартарӣ                        |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Васлакҳои рағғани С-35 кВ        | Сарфаи вақти бисёр, хавфи баланд | Вакуумӣ + Smart Vacuum Switchgear | Беҳатарӣ, идоракунии онлайн    |
| Чудокунакҳои РЛНД-35             | Идоракунии дастӣ                 | Smart RLND-35                     | Назорати фосилавӣ, автоматика  |
| Трансформаторҳои шиддати ТИД-35  | Аналогӣ                          | Digital VT-35                     | Дақиқ, бо SCADA мутобиқ        |
| Трансформаторҳои шиддати ЗНОМ-35 | Кӯҳнашуда                        | Digital Sensor-VT                 | Каммасраф, босамар             |
| АГУ-300/5 (ТТ)                   | Аналогӣ                          | Smart CT 35 кВ                    | Интиқоли рақамӣ                |
| Анализатори РВС-35               | Дастӣ                            | Online PQ Analyzer                | Мониторинги доимии сифати барқ |

Чадвали 3 - Чадвали муқоисавии таҷҳизоти зеристгоҳи барқии «Академикҳо» ва таҷҳизоти муносири Smart Grid  
Таҷҳизоти ДТП – 10 кВ

| Таҷҳизоти ҳозира               | Камбудӣ         | Таҷҳизоти Smart Grid                             | Бартарӣ                        |
|--------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| 31 чашмак бо васлакҳои вакуумӣ | Бе IED          | Чашмакҳои интеллектуалӣ (Smart Switchgear 10 kV) | Назорати пурра онлайн          |
| Васлакҳои воридотӣ (2 адад)    | Аналогӣ         | Input IED + Sensor                               | Муҳофизати пешрафта            |
| 27 васлакҳои баромад           | Назорати маҳдуд | Feeder IED                                       | Автоматикаи худбарқароркунанда |
| Васлаки байнибахшӣ             | Кори дастӣ      | Automatic Bus-Section Switch                     | Фавран чудо кардани қитъа      |
| Чашмаки пайваст                | Дастӣ           | Smart Bus Coupler                                | Идоракунии аз диспетчер        |
| Трансформаторҳои НАЛИ-10       | Аналогӣ         | Digital VT-10                                    | Интиқоли рақамӣ                |
| «Зигзаг» 750 кВА               | Бе сенсор       | Smart Zig-Zag                                    | Назорати гармӣ ва чараён       |

Чадвали 4 - Системаҳои идоракунии ва коммуникатсия

| Системаи ҳозира          | Камбудӣ                  | Системаи Smart Grid | Бартарӣ                  |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| СИА ЗТ (аналогӣ)         | Норасоии маълумоти воқеӣ | SCADA + DMS         | Идоракунии интеллектуалӣ |
| Кабелҳои мисӣ            | Хатогиҳои зиёд           | Process Bus         | 90% камшавии кабел       |
| Бидуни сенсори ҳарорат   | Мониторинги маҳдуд       | IoT-сенсорҳо        | Речаи 24/7               |
| Назорати дастӣ           | Хатогиҳои инсон          | Full Automation     | Худтанзимкунии           |
| Набудани ҳимояи шабакавӣ | Хатарҳои киберӣ          | Cybersecurity Grid  | Рамзгузори пешрафта      |

Ҷадвали 5 - Ҷадвали хулосавии муқоисавӣ

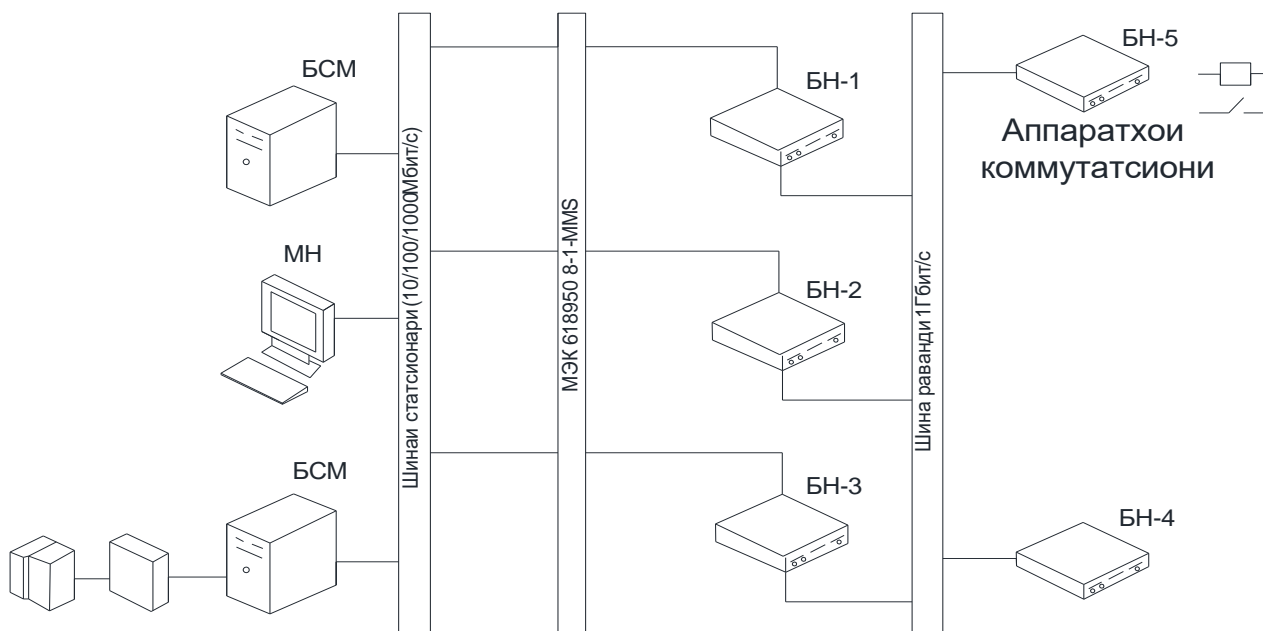
| Категория        | Таҷҳизоти анъанавӣ      | Таҷҳизоти Smart Grid      |
|------------------|-------------------------|---------------------------|
| Ченкуниҳо        | Аналогӣ                 | Digital CT/VT             |
| Муҳофизати релеи | Электромеханикӣ/ҳибридӣ | IED-ҳои рақамӣ            |
| Идоракуни        | Дастӣ                   | Фосилавӣ ва автоматӣ      |
| SCADA            | Нопурра                 | SCADA + IEC 61850         |
| Сенсорҳо         | Нисбатан кам            | IoT + PMU                 |
| Кабелҳо          | Мис, ҳаҷми калон        | Process Bus (нахи оптикӣ) |
| Трансформатор    | Мониторинг нест         | Digital Transformer       |
| Чудокунакҳо      | Механикӣ                | Smart Disconnecter        |
| Хизматрасонӣ     | Дастӣ                   | Predictive Maintenance    |

Бо вуҷуди он, ки дар зеристгоҳи барқии муосир СИА ЗТ бо интерфейси рақамӣ истифода мешавад, онҳоро пурра рақамӣ номидан имконнопазир аст, зеро интиқоли иттилоот аз олоти тақсимоти (PУ) то маркази идоракуни асосан тавассути сигналҳои аналогӣ сурат мегирад [2]. Рақамикунонии сигналҳо дар сатҳи дастгоҳҳои зеринизомӣ ба таври ҷудогона амалӣ мешавад.

Дар зеристгоҳҳои рақамӣ бошад, интиқоли иттилоот тавассути шинаи ягонаи раванди технологӣ (Process Bus) амалӣ мегардад [4]. Ин раванд имкон медиҳад, ки дастгоҳҳо маълумотро бо суръати баланд мубодила кунанд, шумораи кабелҳои мисӣ ва таҷҳизоти иловагӣ коҳиш ёбад ва дар масоҳати хурд ҷойгир карда шавад.

Дар расми 1 сохтори рақамикунонии зеристгоҳи барқӣ бо истифода аз технологияи муосир нишон дода шудааст.

Баланд бардоштани эътимоднокии шабака ва сифати нерӯи барқӣ ба истеъмолкунандагон расонидашаванда имкон медиҳад, ки самаранокии истифодаи он ба ҳадди ақал расонида шавад. Дар солҳои охир, Ҷумҳурии Тоҷикистон бо мақсади кам кардани сатҳи талафоти технологӣ ва тичоратии энергияи барқ, шабакаҳои барқии пастшиддат ва миёнашиддатро дар шаҳрҳо ва ноҳияҳо аз навсозӣ мекунад. [13]. Сарфакории энергия ҳамчунин тавассути коҳиш додани талафоти нерӯи барқ ба даст меояд, зеро «шабакаи зеҳнӣ» кодир аст, ки қисматҳои осебдидаро ба таври мустақил ва фаврӣ ташхис ва ҷудо намояд.



Расми 1 – Сохтори рақамикунонии зеристгоҳ

Рақамикунонии зеристгоҳҳои барқӣ бо технологияи муосир чунин имкон медиҳад:

- коҳиши ҳаҷми хатҳои кабелӣ;
- таъмин намудани мониторинги равшан ва пурраи каналҳои ҷамъоварӣ ва интиқоли иттилоот;
- соддагардони санҷиш ва санҷиши таҷҳизот;
- ташкили низоми ягонаи санҷиши таҷҳизот;
- имконияти ташхис ва назорати фосилавӣ таҷҳизот;
- заминагузори барои гузариш ба зеристгоҳҳои барқие, ки ба хизматрасони инсон ниёз надоранд.

Дар натиҷаи рақамикунонӣ, автоматизатсияи шабакаҳо дорои хусусияти тақсимшуда мегардад, мониторинг (расми 2) тавассути идоракунии фосилавӣ (дистанционӣ) амалӣ мешавад ва низоми идоракунии унсурҳои шабака ба таври ягона фаъолият мекунад [4-8].



Расми 2 – Мониторинги назоратӣ ва системаи идоракунии

## Хулоса

Гузариш ба технологияҳои муосири идоракунии яке аз самтҳои асосии ояндадори рушди энергетикаи муосир ба шумор рафта рақамикунонии чунин зеристгоҳҳои барқӣ имкони баланд бардоштани эътимоднокӣ, беҳтаркунии сифати нерӯи барқӣ додашаванда ва барои таъмир ва бартарафсозии фаврии ҳолатҳои садамавӣ шароитҳои заруриро фароҳам меорад.

Гуаронидани зеристгоҳи барқии «Академикҳо» 110/35/10кВ ба идоракунии намуди Smart Grid ба ҳисоби миёна аз 2,9 – 3,4 миллион доллари ИМА-ро талаб мекунад.

*Муқарризон: Назиров Хуршед Ҷобоҳочиевич — н.и.т., дотсенти қабедраи Электроэнергетикаи Филлиали донишҷадаи энергетикаии Москва дар ш. Душанбе*

## Адабиёт

1. Гусев, В. Н. Цифровые подстанции и интеллектуальные электрические сети: учебное пособие / В. Н. Гусев – М.: Энергоатомиздат, 2019. – 320 с.
2. Агентии оморӣ назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон. Энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон: маҷмуаи оморӣ. – Душанбе, 2024. – 150 с.
3. Шалин, А. И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем: учебное пособие/ А.И. Шалин. – М.: Академия, 2017. – 384 с.

4. Кузьмин, А. В. Автоматизация и управление электрическими сетями: учебное пособие / А. В. Кузьмин., С. Ю. Соколов – М.: Энергия, 2020. – 296 с.
5. Касьянов, В. П. Современные технологии в электроэнергетике: учебное пособие / В. П. Касьянов – СПб.: Питер, 2018. – 272 с.
6. IEC 61850. Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. – Geneva: IEC, 2018.
7. ABB Group. Digital Substations: Technology and Application. – Zurich: ABB, 2020. – 98 p.
8. Siemens AG. Digital Substation Solutions. – Munich: Siemens Energy, 2021. – 112 p.
9. IEEE Power & Energy Society. Digital Substations and Smart Grid [Электронный ресурс]. Technologies. <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/resources/whitepapers/digital-substation-supporting-utilities.html> – IEEE, 2019. – 134 p. (дата обращения 10.01.2026).
10. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Цифровые подстанции. Общие технические требования. – М.: ПАО «ФСК ЭЭС», 2017.
11. Schneider Electric. Digital Substations: The Future of Power Distribution. – Technical Guide, 2021.
12. Вохидов, М. М. Исследование аварийности в электросетевом комплексе / М. М. Вохидов, Ф. О. Исмоилов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 2(62). – С. 48-51. – EDN KVKJFQ.
13. Рахимзода, Дж.Б. Оценка эффективности интеллектуальных систем учета потребления электрической энергии / Дж.Б. Рахимзода, М.М. Вохидов, Д.Дж. Кудратова // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология». Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана. – Душанбе: ИВПГЭЭ, – 2025, №1 (5). – С. 45-53.

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

| TJ                                                                                      | RU                                                            | EN                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Вохидов Миробид Мирвохидович                                                            | Вохидов Миробид Мирвохидович                                  | Vokhidov Mirobid Mirvohidovich                                |
| Н.и.т., дотсент                                                                         | К.т.н., дотцент                                               | 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 |
| Email: <a href="mailto:supergold84@mail.ru">supergold84@mail.ru</a>                     |                                                               |                                                               |
| <a href="http://orcid.org/0009-0002-2379-9022">http://orcid.org/0009-0002-2379-9022</a> |                                                               |                                                               |
| TJ                                                                                      | RU                                                            | EN                                                            |
| Мачидов Гафурҷон Хушбахтович                                                            | Маджидов Гафурджон Хушбахтович                                | Majidov Gafurjon Khushbaktovich                               |
| ҶСК “Шабакаҳои тақсимои барқ”                                                           | ОАО “Распределительные электрические сети”                    | OJSC “Electricity Distribution Network”                       |

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОФАЗНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ МИНИ-ГЭС ПРИ РАБОТЕ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

А.М. Давлатов

Институт энергетики Таджикистана

В настоящей работе исследована эффективность многофазных синхронных генераторов применительно к гидроэлектростанциям малой и средней мощности. Как правило, эти электрические машины работают в автономном необслуживаемом режиме. Увеличение числа фаз обусловлено повышением надежности, так как для многофазных электрических машин выход из строя одной из фаз приводит к ухудшению параметров, но не полному отказу, при этом повышается эффективность работы самого генератора. В работе проведена оценка эффективности работы генераторов при увеличении числа фаз и различных схемах подключения к выпрямительному блоку. Число фаз изменялось от 3-х до 9-ти. Были рассмотрены схемы соединения в звезду, кольцо и мостовые схемы. В качестве показателя качества были приняты среднее значение выпрямленного напряжения и уровень пульсаций выпрямленного напряжения. Результаты анализа сведены в таблицы, которые удобно использовать в инженерной практике.

**Ключевые слова:** мини-ГЭС, обмотка генератора, многофазный генератор, выпрямитель, мостовое соединение, пульсации выпрямленного напряжения.

## ТАДҚИҚИ САМАРАНОКИИ ГЕНЕРАТОРҲОИ СИНХРОНИИ БИСЁРФАЗАИ НЕУРОГОҲОИ БАҶҚИ ОБИИ ХУРД ҲАНГОМИ ФАЪОЛИЯТ ДАР РЕҶАИ МУҚАРРАӢ

А.М. Давлатов

Ин кори илмӣ ба тадқиқи самаранокии генераторҳои синхронии бисёрфаза дар неругоҳҳои баҷи оби иқтидорашон хурд ва миёна баҳшида шудааст. Одатан, ин мошинаҳои баҷӣ дар реҷаи мустақил (автономӣ) ва бидуни хизматрасонии доимӣ фаъолият мекунанд. Зиёд кардани шумораи фазаҳо бо мақсади баланд бардоштани эътимоднокӣ сурат гирифтааст, зеро дар мошинҳои баҷии бисёрфаза аз қор баромадани яке аз фазаҳо боиси бад шудани нишондиҳандаҳои мегардад, вале боиси аз қор мондани пурраи дастгоҳ намешавад. Ҳамзамон, ин усул самаранокии кори худӣ генераторро низ афзун мегардонад. Дар ин қор арзёбии самаранокии фаъолияти генераторҳо ҳангоми афзоиши шумораи фазаҳо ва истифодаи нақшаҳои гуногуни пайвастишавӣ ба блоки росткунанда гузаронида шудааст. Шумораи фазаҳо аз 3 то 9 адад тағйир дода шуд. Схемаҳои пайвастишавии ситора, ҳалқавӣ ва схемаи пулак мавриди баррасӣ қарор гирифтанд. Ҳамчун нишондиҳандаи сифат, қимати миёнаи шиддати ростшуда ва сатҳи набзи (пульсатсияи) шиддати ростшуда қабул карда шуданд. Нагиҷаҳои таҳлил дар ҷадвалҳо ҷамъбаст гардидаанд, ки истифодаи онҳо дар таҷрибаи муҳандисӣ қулай мебошад.

**Калидвожаҳо:** НБО-хурд, печай генератор, генератори бисёрфаза, росткунанда, пайвасти пулакӣ, набзи шиддати ростшуда.

## RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF MULTIPHASE SYNCHRONOUS GENERATORS OF MINI HYDROPOWER PLANTS UNDER NORMAL OPERATING CONDITIONS

A.M. Davlatov

The present work investigates the efficiency of multiphase synchronous generators for small and medium-capacity hydropower plants. Generally, these electrical machines operate in an autonomous, unattended mode. The increase in the number of phases is driven by the need for higher reliability; in multiphase machines, a single-phase failure results in performance degradation rather than a total system shutdown, while simultaneously improving the overall efficiency of the generator. This study evaluates the operational efficiency of generators across an increased number of phases and various connection schemes to the rectifier unit. The number of phases was varied from 3 to 9. Star, ring (polygon), and bridge connection schemes were examined. The average value of the rectified voltage and the ripple factor (ripple level) were used as quality indicators. The analysis results are summarized in tables, which are convenient for use in engineering practice.

**Keywords:** mini hydropower plant (Mini HPP); generator winding, multiphase generator, rectifier, bridge rectifier connection, rectified voltage ripple.

### Вводные замечания

Современный вектор развития мировой энергетики продиктован необходимостью минимизации экологического ущерба, возникающего при сжигании углеводородного топлива. В поиске устойчивых альтернатив особое место занимает гидроэнергетика. Благодаря значительным природным запасам и относительной равномерности их распределения освоение энергии воды технологически более доступно по сравнению с ядерным синтезом или биоэнергетическими установками. Очевидно, что текущие темпы развития крупных гидротехнических объектов не способны компенсировать прогрессирующий глобальный энергодефицит.

В связи с вышеизложенным, актуальной научной задачей становится количественная и качественная оценка работы гидрогенераторов при варьировании числа фаз в условиях номинального режима эксплуатации. Настоящая работа посвящена частичному решению данной задачи, предлагая методику анализа эффективности многофазных машин.

### Варианты подключения фаз в системе генератор-выпрямитель

Исторически автономное использование многофазных генераторов было ограничено узким сегментом специализированных сетей, что препятствовало их массовому внедрению. Однако в современной энергетике возрастает интерес к синхронному генератору — выпрямителю, где многофазная машина формирует звено постоянного тока. Следовательно, традиционные методы расчета, применимые для классических сетей, оказываются некорректными для систем с выпрямительными мостами. Это обуславливает необходимость разработки уточненной математической модели, учитывающей импульсный характер токов и нелинейность взаимодействия обмоток генератора с преобразовательным звеном. Указанная специфика работы фаз на полупроводниковый преобразователь неизбежно ведет к снижению энергетического КПД генераторной установки [1-3].

Согласно теоретическим исследованиям [4-7], при проектировании систем «генератор – выпрямитель» рассматриваются следующие базовые способы сочленения фазных обмоток (рис. 1):

- соединение фаз в звезду;
- соединение фаз в кольцо;
- соединение фаз в мосту независимо друг от друга.

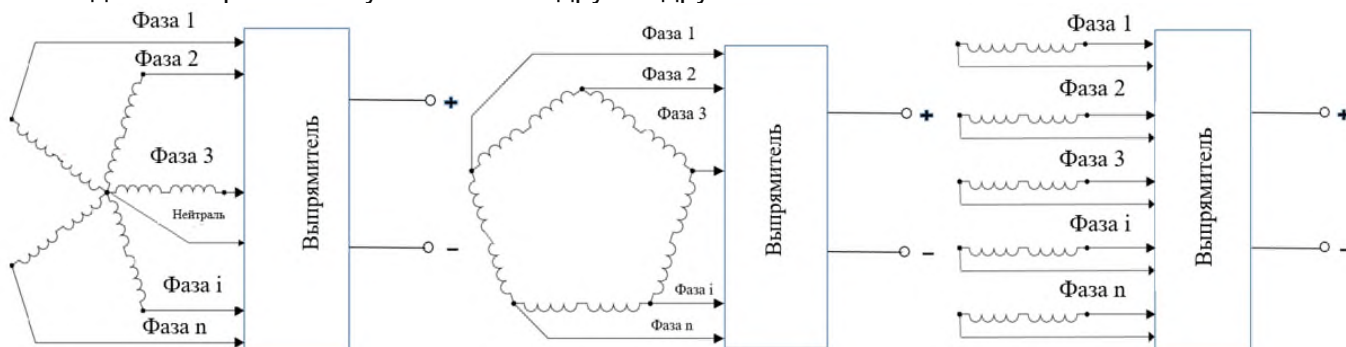


Рисунок 1– Соединение фаз: а – звезду: б – треугольник: в – мостовое соединение

Для определения оптимальной конфигурации системы «генератор - выпрямитель» необходимо провести комплексную оценку функционирования многофазных машин при их интеграции с различными типами преобразовательных схем.

### Анализ работы многофазного генератора на однополупериодный выпрямитель

В рамках исследования нормального режима работы рассмотрим  $m$ -фазную генераторную установку, нагруженную на однополупериодный выпрямитель. С точки зрения схмотехники, единственно возможной конфигурацией для реализации такого режима является соединение фазных обмоток по схеме «звезда» с обязательным выводом нейтральной точки.

Принципиальная электрическая схема исследуемого соединения и способ интеграции полупроводниковых диодов отражены на рис. 2.

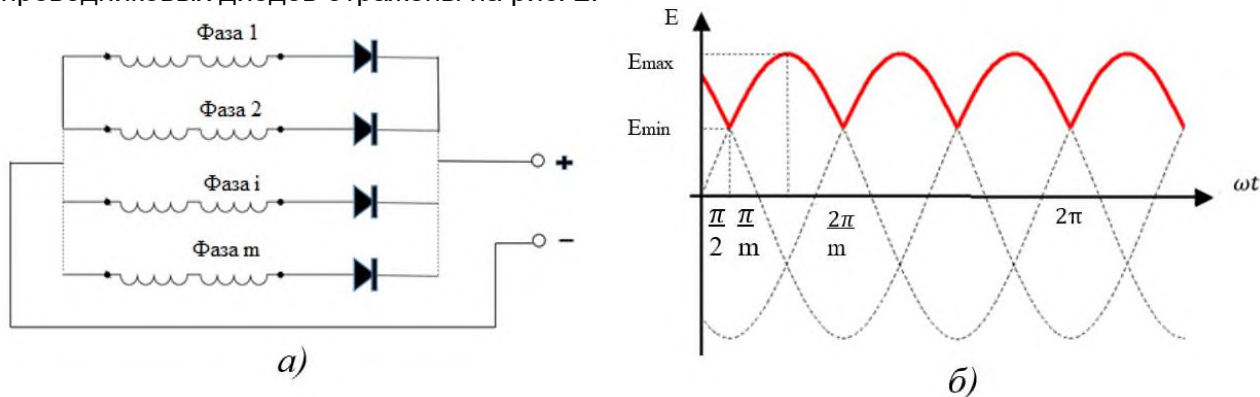


Рисунок 2 – Однополупериодный выпрямитель  $m$ -фазного генератора: а) принципиальная схема; б) зависимость выпрямленного напряжения

Детальное изучение графических закономерностей, представленных на рис. 3, позволяет систематизировать ключевые параметры функционирования выпрямительного узла. Результаты проведенного анализа дают возможность количественно описать рабочие характеристики системы и выявить их корреляцию с числом фаз генератора.

Угол, при котором выпрямитель имеет минимальное напряжение:

$$\alpha_{min} = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}, \quad (1)$$

где  $m$  – число фаз.

Угол, при котором выпрямитель имеет максимальное напряжение:

$$\alpha_{max} = \frac{\pi}{2}. \quad (2)$$

Соответственно, минимальное напряжение определится по формуле:

$$E_{min} = E_m \sin(\alpha_{min}). \quad (3)$$

Максимальное напряжение будет равно амплитуде фазного напряжения генератора  $E_m$ :

$$E_{max} = E_m. \quad (4)$$

Среднеквадратичное значение выпрямленного напряжения определим по формуле:

$$E_{сркв} = \frac{m \int_{\alpha_{min}}^{\frac{\pi}{2}} E_m \sin(\omega t) d(\omega t)}{\pi} \quad (5)$$

Среднеквадратичное значение выпрямленного напряжения определим по формуле:

$$E_{ср} = \frac{E_{max} + E_{min}}{2}. \quad (6)$$

Пульсации выпрямленного напряжения определим по формуле:

$$\Delta E = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}. \quad (7)$$

Следовательно, расчет коэффициента использования обмотки якоря должен базироваться на учете скажности токовых импульсов. Математически данный показатель, отражающий степень интеграции активных материалов в процесс передачи мощности, описывается следующим выражением:

$$K_{исп\_якоря} = \frac{1}{m} \quad (8)$$

Для проведения количественного анализа и выявления закономерностей целесообразно представить исследуемые характеристики в нормированном виде. В ходе вычислительного эксперимента число фаз ( $m$ ) варьировалось в диапазоне от 3 до 9. Сводные результаты расчетов, отражающие влияние фазности на выходные показатели системы, систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели однополупериодного выпрямителя для различного количества фаз

| Число фаз | Среднеквадратичное выпрямленное напряжение $E_{сркв}$ | Среднее выпрямленное напряжение $E_{ср}$ | Пульсации выпрямленного напряжения $\Delta E$ | Коэффициент использования обмотки $K_{исп\_якоря}$ |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 3         | 0,827                                                 | 0,75                                     | 0,333                                         | 0,333                                              |
| 4         | 0,9                                                   | 0,854                                    | 0,172                                         | 0,25                                               |
| 5         | 0,935                                                 | 0,905                                    | 0,106                                         | 0,2                                                |
| 6         | 0,955                                                 | 0,933                                    | 0,072                                         | 0,167                                              |
| 7         | 0,967                                                 | 0,95                                     | 0,052                                         | 0,143                                              |
| 8         | 0,974                                                 | 0,962                                    | 0,04                                          | 0,125                                              |
| 9         | 0,98                                                  | 0,97                                     | 0,31                                          | 0,111                                              |

Обобщая результаты анализа однополупериодных схем, можно констатировать наличие выраженного технического противоречия. С одной стороны, наращивание числа фаз способствует оптимизации формы выходного напряжения и снижению коэффициента пульсаций.

### Анализ работы многофазного генератора на двухполупериодный выпрямитель

Для двухполупериодного выпрямителя возможны два варианта соединения фаз: в звезду и в кольцо [8-10]. Исследуем оба варианта для режима холостого хода. Принципиальная электрическая схема данного варианта представлена на рис. 4.

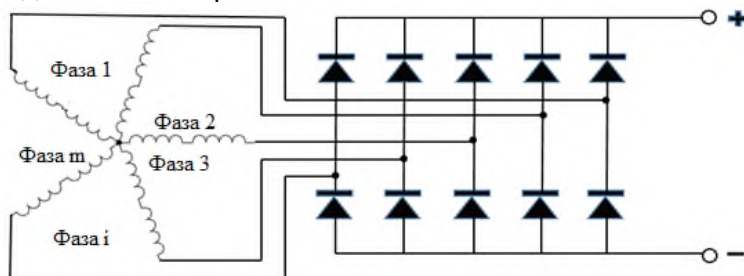


Рисунок 3 – Принципиальная схема  $m$ -фазного генератора и двухполупериодного выпрямителя при соединении фаз в звезду

При эксплуатации  $m$ -фазного генератора, обмотки которого соединены по схеме «звезда», в связке с двухполупериодным мостовым преобразователем проявляется специфический характер распределения токовых нагрузок. Выбор активных фаз определяется принципом экстремальных потенциалов: в работу вовлекаются те обмотки, мгновенные значения ЭДС которых в данный интервал времени достигают максимального положительного и максимального отрицательного уровней относительно нейтральной точки.

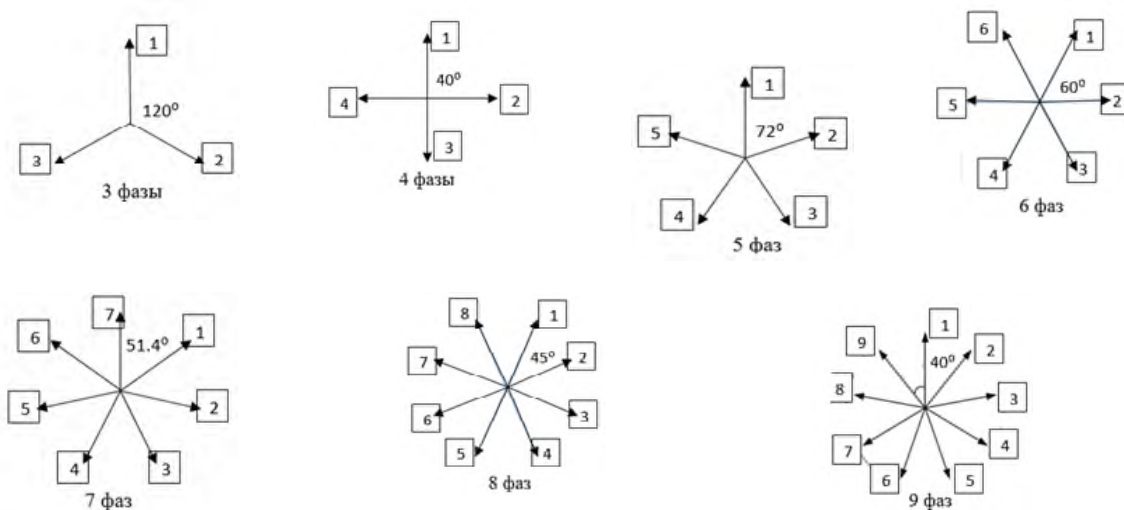


Рисунок 4 – Углы между фазами для многофазного генератора

Зависимость выпрямленного напряжения при произвольном числе фаз, соединенных в звезду, для двухполупериодного выпрямления показана на рис. 5.

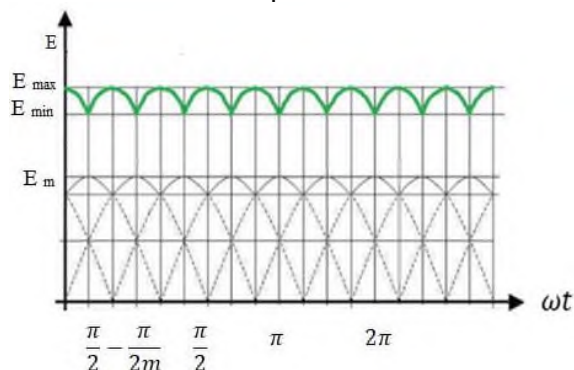


Рисунок 5 – Зависимость выпрямленного напряжения при произвольном числе фаз, соединенных в звезду, для двухполупериодного выпрямления

Среднеквадратичное значение выпрямленного напряжения определим по формуле:

$$E_{\text{сркв}} = \frac{m \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2m}} E_m \sin(\omega t) d(\omega t)}{\pi} \quad (9)$$

Для удобства сравнительного анализа сведем параметры двухполупериодного многофазного выпрямления при соединении фаз в звезду в табл. 2.

Таблица 2 – Показатели двухполупериодного выпрямителя для различного количества фаз, соединенных в звезду

| Число фаз | Среднеквадратичное выпрямленное напряжение $E_{\text{сркв}}$ | Среднее выпрямленное напряжение $E_{\text{ср}}$ | Пульсации выпрямленного напряжения $\Delta E$ | Коэффициент использования обмотки $K_{\text{исп\_якоря}}$ |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 3         | 1,654                                                        | 1,616                                           | 0,072                                         | 0,667                                                     |
| 4         | 1,949                                                        | 1,924                                           | 0,04                                          | 0,5                                                       |
| 5         | 1,871                                                        | 1,856                                           | 0,025                                         | 0,4                                                       |
| 6         | 1,977                                                        | 1,966                                           | 0,017                                         | 0,333                                                     |
| 7         | 1,934                                                        | 1,925                                           | 0,013                                         | 0,286                                                     |
| 8         | 1,987                                                        | 1,981                                           | 0,0097                                        | 0,25                                                      |
| 9         | 1,96                                                         | 1,955                                           | 0,00765                                       | 0,222                                                     |

Сравнительный анализ параметров табл. 1 и табл. 2. показывает, что двухполупериодная коммутация имеет преимущество перед однополупериодной, включая коэффициент использования меди обмотки якоря.

**Соединение фаз в кольцо.** Принципиальная схема этого варианта представлена на рис. 6.

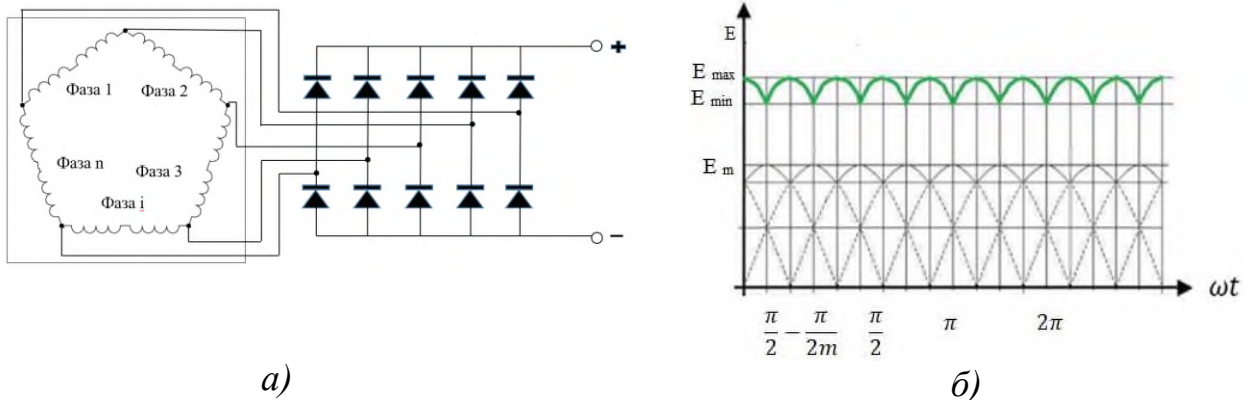


Рисунок 6 – m-фазный генератор и двухполупериодная выпрямления: а) принципиальная схема; б) график выпрямленного напряжения

Фундаментальный алгоритм функционирования двухполупериодной схемы остается неизменным и в данной конфигурации. Состояние проводимости по-прежнему ограничивается парой вентилей, коммутирующих фазы с наибольшей разностью потенциалов (наивысшим положительным и наиболее низким отрицательным значениями ЭДС). Поведение кривой выпрямленного напряжения в данном случае идентична осциллограмме, характерной для схемы «звезда» (рис. 8). Однако, несмотря на визуальное сходство формы сигнала, его энергетические показатели претерпевают изменения

Поскольку по всем фазам будет протекать ток, так как они будут находиться либо в одной, либо в другой параллельной ветви, то коэффициент использования меди якоря можно принять  $K_{\text{исп\_якоря}} = 1$ .

Таблица 3 – Показатели двухполупериодного выпрямителя для различного количества фаз, соединенных в кольцо

| Число фаз | Среднеквадратичное выпрямленное напряжение $E_{срkv}$ | Среднее выпрямленное напряжение $E_{ср}$ | Пульсации выпрямленного напряжения $\Delta E$ | Коэффициент использования обмотки $K_{исп\_якоря}$ |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 3         | 0,955                                                 | 0,933                                    | 0,072                                         | 1,0                                                |
| 4         | 1,378                                                 | 1,36                                     | 0,04                                          | 1,0                                                |
| 5         | 1,592                                                 | 1,578                                    | 0,025                                         | 1,0                                                |
| 6         | 1,977                                                 | 1,966                                    | 0,017                                         | 1,0                                                |
| 7         | 2,228                                                 | 2,219                                    | 0,013                                         | 1,0                                                |
| 8         | 2,596                                                 | 2,588                                    | 0,0097                                        | 1,0                                                |
| 9         | 2,865                                                 | 2,721                                    | 0,00765                                       | 1,0                                                |

Сопоставление расчетных данных, систематизированных в табл. 2 и 3, позволяет выявить нелинейную зависимость эффективности преобразования от числа фаз генерирующей системы. В диапазоне малой фазности конфигурация «звезда» демонстрирует более высокие показатели выпрямленной ЭДС по сравнению с кольцевым соединением. Точкой инверсии данных характеристик является шестифазная система ( $m=6$ ), где обе топологии демонстрируют идентичные параметры выходного напряжения.

### Анализ работы многофазного генератора на полную мостовую схему выпрямления

Принципиальная схема этого варианта представлена на рис. 7.

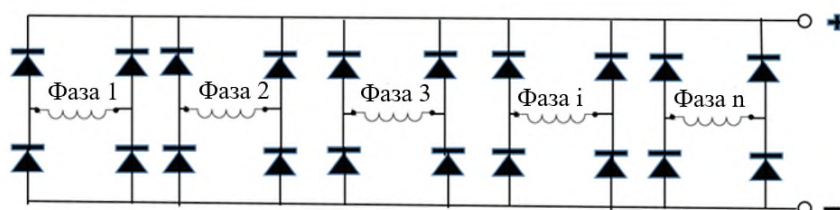


Рисунок 7 – Принципиальная схема многофазного генератора с полной мостовой схемой выпрямления при параллельном соединении мостов

Механизм функционирования системы в режиме холостого хода характеризуется выраженной селективностью: диоды моста, находящегося под воздействием наибольшей мгновенной ЭДС, запирают вентили остальных мостовых групп, потенциалы которых на данном временном интервале ниже. Таким образом, в отсутствие нагрузки генерирование выходного напряжения обеспечивается исключительно одним мостом, обладающим наивысшим энергетическим потенциалом в текущем такте.

Графическая интерпретация зависимости выходного напряжения для данного критического случая приведена на рис. 10. Данный подход позволяет определить минимально гарантированный уровень энергетических показателей установки при неблагоприятных условиях коммутации.

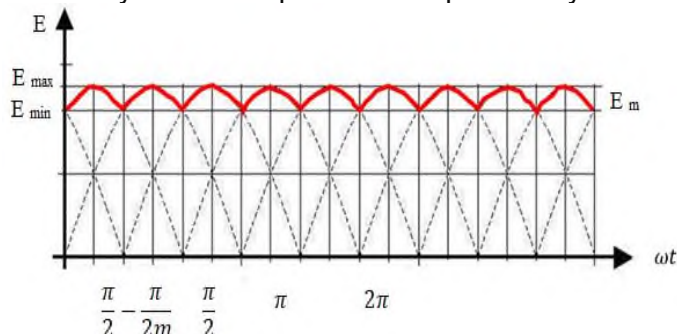


Рисунок 8 – Зависимость выпрямленного напряжения для многофазного генератора с полной мостовой схемой выпрямления при параллельном соединении мостов

Для удобства сравнительного анализа сведем параметры двухполупериодного многофазного выпрямления при соединении фаз в звезду в табл. 4.

Таблица 4 – Показатели полного мостового выпрямителя для различного количества фаз при параллельном соединении мостов.

| Число фаз | Среднеквадратичное выпрямленное напряжение $E_{срkv}$ | Среднее выпрямленное напряжение $E_{ср}$ | Пульсации выпрямленного напряжения $\Delta E$ | Коэффициент использования обмотки $K_{исп\_якоря}$ |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 3         | 0,955                                                 | 0,933                                    | 0,072                                         | 0,333                                              |
| 4         | 0,974                                                 | 0,962                                    | 0,04                                          | 0,25                                               |
| 5         | 0,984                                                 | 0,976                                    | 0,025                                         | 0,2                                                |
| 6         | 0,989                                                 | 0,983                                    | 0,017                                         | 0,167                                              |
| 7         | 0,992                                                 | 0,987                                    | 0,013                                         | 0,143                                              |
| 8         | 0,994                                                 | 0,99                                     | 0,0097                                        | 0,125                                              |
| 9         | 0,995                                                 | 0,992                                    | 0,00765                                       | 0,111                                              |

Из таблицы видно, что данная схема имеет хорошие показатели по пульсациям, но небольшое значение выпрямленного напряжения - низкий коэффициент использования обмотки якоря.

### Последовательное соединение мостов

Принципиальная схема этого подсоединения фаз к выпрямителю представлена на рис. 9, а), ее зависимость выпрямленного напряжения – рис. 9, б).

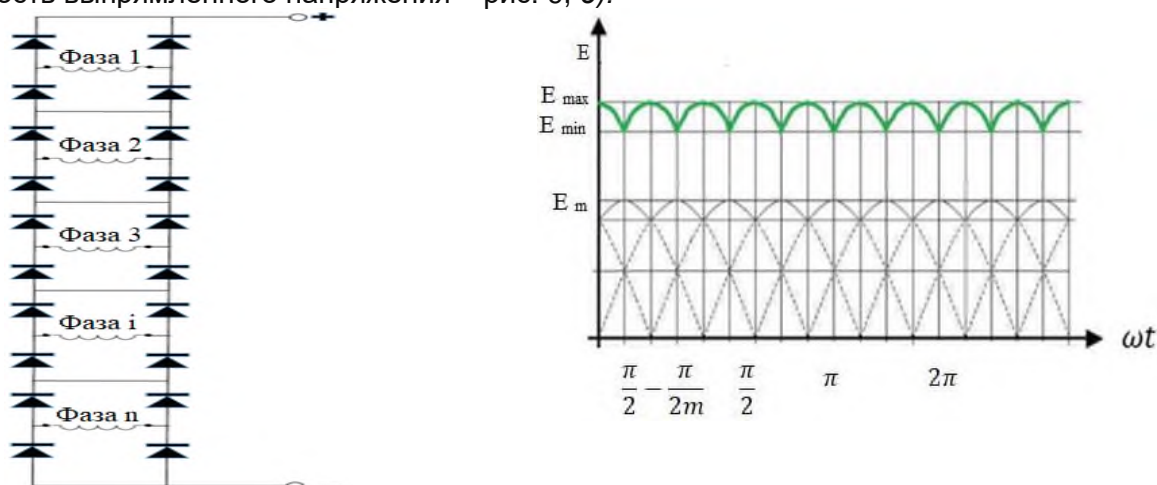


Рисунок 11 – Многофазный генератор с полной мостовой схемой: а) принципиальная схема выпрямления; б) зависимость выпрямленного напряжения

Рассматриваем полученные параметры при исследованиях многофазного генератора с мостовой схемой в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели полного мостового выпрямителя для различного количества фаз при последовательном соединении мостов.

| Число фаз | Среднеквадратичное выпрямленное напряжение $E_{срkv}$ | Среднее выпрямленное напряжение $E_{ср}$ | Пульсации выпрямленного напряжения $\Delta E$ | Коэффициент использования обмотки $K_{исп\_якоря}$ |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 3         | 1,91                                                  | 1,886                                    | 0,072                                         | 1,0                                                |
| 4         | 1,949                                                 | 1,924                                    | 0,04                                          | 1,0                                                |
| 5         | 2,748                                                 | 2,724                                    | 0,025                                         | 1,0                                                |
| 6         | 3,954                                                 | 3,932                                    | 0,017                                         | 1,0                                                |
| 7         | 4,454                                                 | 4,435                                    | 0,013                                         | 1,0                                                |
| 8         | 4,747                                                 | 7,782                                    | 0,0097                                        | 1,0                                                |
| 9         | 5,73                                                  | 5,71                                     | 0,00765                                       | 1,0                                                |

Из табл. 5 видно, что этот выпрямитель имеет наибольшую среднюю ЭДС, низкий уровень пульсаций и хороший коэффициент использования якорной обмотки.

### Сравнительный анализ схем выпрямления

В ходе выполненного исследования были определены фундаментальные электроэнергетические характеристики системы «многофазный генератор — преобразователь». Расчетный базис включил в себя определение действующих (среднеквадратичных) и средних значений напряжения, а также амплитудно-частотных показателей пульсаций для широкого спектра схемотехнических решений: от классических однополупериодных схем до мостовых двухполупериодных выпрямитель.

Детальный анализ эксплуатационных параметров выявляет ряд системных ограничений, присущих схемам с однополупериодным преобразованием. Фундаментальным недостатком данной конфигурации является крайне низкая эффективность использования активных материалов статора. Это обусловлено дискретным характером коммутации: в любой произвольный момент времени токовую нагрузку несет лишь одна фазная обмотка [11-12].

Переход от однополупериодных схем к двухполупериодным (мостовым) характеризуется качественным скачком энергетических показателей преобразовательного узла. Физическая природа данного улучшения кроется в увеличении плотности распределения нагрузки: в каждый дискретный момент времени в процессе энергообмена участвует большее число фазных обмоток.

Качественные показатели напряжения (пульсации) в двухполупериодном режиме значительно выше, чем в однополупериодном, причем для топологий «звезда» и «кольцо» коэффициенты пульсаций идентичны. Ключевым сдерживающим фактором внедрения мостовых схем является усложнение аппаратной части: количество силовых полупроводниковых приборов (диодов) возрастает ровно в 2 раза.

Представленные в работе расчетные данные, систематизированные по типам выпрямительных схем и числу фаз, могут служить надежным инструментарием в инженерной практике при проектировании и оптимизации систем малой гидроэнергетики. Однако для обеспечения валидности сравнительного анализа необходимо строгое соблюдение критериев подобия. Стоит признать, что достижение абсолютной идентичности объектов исследования является актуальной задачей [12].

### Выводы

Проведенное исследование комплексных систем «многофазный генератор -выпрямитель» позволило сформулировать следующие ключевые выводы:

1. Выявлено, что схемы с однополупериодным выпрямлением значительно уступают двухполупериодным и мостовым аналогам по всем базовым критериям: уровням действующего и среднего напряжений, а также коэффициенту пульсаций. Данный вариант характеризуется низкой энергетической плотностью и не рекомендуется для использования в современных генерирующих установках.

2. В рамках анализа двухполупериодного выпрямления выявлено, что наиболее рациональной топологией является соединение фазных обмоток в кольцо (многоугольник). Данная конфигурация обеспечивает прирост выходных энергетических показателей при сохранении идентичного со схемой «звезда» уровня пульсаций, что делает её оптимальным решением по критерию «эффективность — сложность».

3. Перспективность последовательных полномостовых схем: максимальные значения среднего и среднеквадратичного напряжений при минимальном уровне высокочастотных пульсаций достигаются при последовательном соединении мостовых групп.

*Рецензент: Абдуллозода Р.П. — к.т.н., доцент кафедры «Релейная защита и автоматизация энергетических систем» ПЭИУ имени академика М.С. Осими*

### Литература

1. Davlatov, A.M. Development of reliability model for a multiphase synchronous generator with an uncontrolled rectifier / A.M. Davlatov, N. Kh. Odinaev, A.Z. Rakhmatulloev // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies. – 2024. – No. 4(68). – P. 63-71. – EDN HMJYRA.

2. Сравнительная оценка схем соединения обмоток синхронных генераторов в составе источников постоянного тока / С. Г. Воронин, Н. В. Клиначев, А.М. Давлатов, Д. В. Пауков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 110-118. – DOI 10.14529/power200311. – EDN XYIDHD.

3. Воронин, С.Г. Автоматизированная мини-ГЭС как основа системы электроснабжения горных районов Таджикистана / С.Г. Воронин, А.М. Давлатов, О.О. Султонов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 100–107. DOI: 10.14529/power190311
4. Efficiency of power supply systems in remote and mountainous areas of the Republic of Tajikistan / D. Yu. Gulov, Kh. D. Boboev, A. M. Davlatov [et al.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – No. 1(61). – P. 34-41. – EDN ANOJWA.
5. Давлатов, А. М. Оптимизация режимов работы электротехнического комплекса мини-ГЭС на базе многофазного вентильного генератора: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Давлатов Азамджон Махмадиевич, 2022. – 169 с. – EDN XWLGHX.
6. Voronin, S. Comparative evaluation of connection schemes of synchronous generator windings as part of Dc sources / S. Voronin, A. Davlatov, B. Kosimov // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, Sochi, 18–22 мая 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9112072. – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112072. – EDN PZKKUV.
7. Воронин, С. Г. Мостовой инвертор как преобразователь напряжения для автономных трёхфазных сетей малой мощности / С. Г. Воронин, О. О. Султонов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 11. – С. 408-416. – EDN ADPWGI.
8. Анализ эффективности мини-ГЭС систем электроснабжения горных районов Республики Таджикистан / А. М. Давлатов, Х. Д. Бобоев, Д. Ю. Гулов, Р. Т. Абдуллозода // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 120-126. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-12-120-127. – EDN MAGEIN.
9. Бут, Д.А. Бесконтактные электрические машины: учеб. пособие для электромех. и электроэнерг. спец. вузов / Д.А. Бут. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 416 с.
10. Research of field magnetic motive force of non-salient pole synchronous generator with field windings inter-turn short circuit / Hou, J., Li, H., Li, J., Hu, J. // Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering - 2010. 30(SUPPL.), P. 220-225.
11. Development of a data glove with reducing sensors based on magnetic induction / Fahn, C.-S., Sun, H. // IEEE Transactions on Industrial Electronics -2005-no 52(2), P. 585-594.
12. Comparison of two types of dual layer generator in field assisted mode utilizing 3D-FEM and experimental verification / Afjei, E., Torkaman, H. // Progress In Electromagnetics Research – 2010. - no 23, P. 293-309.

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

| TJ                                                                                        | RU                               | EN                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| Давлатов Азамжон Махмадиевич                                                              | Давлатов Азамджон Махмадиевич    | Davlatov Azamjon Mahmadievich                |
| н.и.т.                                                                                    | к.т.н.                           | Ph.D.                                        |
| Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон                                                         | Институт энергетикаи Тоҷикистона | Institute of Power Engineering of Tajikistan |
| E-mail: <a href="mailto:davlatov_azam@bk.ru">davlatov_azam@bk.ru</a>                      |                                  |                                              |
| <a href="https://orcid.org/0009-0008-5095-6939">https://orcid.org/0009-0008-5095-6939</a> |                                  |                                              |

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

УДК: 691.75

DOI: 10.65599/ENG6057

## ТАДҚИҚИ САҲТӢ ВА МУСТАҲКАМИИ ХӢЛАИ $Zn_{0.5}Al$ , КИ БО СКАНДИЙ, ИТТРИЙ ВА ЭРБИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

<sup>1</sup>У.Р. Ҷобиров, <sup>2</sup>И.Н. Ганиев, <sup>3</sup>З.Р. Обидов

<sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни

<sup>2</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  ва хӯлаҳои гуногунтаркиби  $Zn_{0.5}Al-Sc(Y, Er)$  дар алоҳидагӣ бо компонентҳои чавҳаронии хӯла – скандий, иттрий ва эрбий таҳқиқ карда шудааст. Афзоиш ва камшавии саҳтӣ дар ҳамаи хӯлаҳои гуногунтаркиби чавҳаронидашуда мушоҳида гардида, тағйирёбии он дар муқоиса бо саҳтии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  мусбӣ ва самаранок аниқ карда шудааст. Рафтори компонентҳои металли хӯла муайян мекунад, ки таъсири скандий ва иттрий ба баландбардории саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи аввалия нисбат ба таъсири эрбий ба ин ҳосиятҳои хӯла бештар аст. Иловаҳои бештарини (0.5 ва 1.0%) ин компонентҳои чавҳаронии хӯла нисбат ба иловаҳои камтарини онҳо (0.01÷0.1%) андаке пастшавии саҳтӣ ва мустаҳкамиро нишон додаанд, ки дар маҷмӯъ киматҳои амалӣ таҷрибавӣ аниқкардашудаи ин бузургӣҳо дар муқоиса бо нишондоди кимати онҳо барои хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  хеле назаррас аст.

**Калидвожаҳо:** хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , чавҳаронӣ, скандий, иттрий, эрбий, таҳқиқи саҳтӣ, методи Бринелл, муайянкунии мустаҳкамӣ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЁРДОСТИ И ПРОЧНОСТИ СПЛАВА $Zn_{0.5}Al$ , ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ

У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов

Исследованы твёрдость и прочность сплава  $Zn_{0.5}Al$  и разностовных сплавов  $Zn_{0.5}Al-Sc(Y, Er)$  в отдельности с легирующими компонентами сплава – скандий, иттрий и эрбий. Во всех легированных разностовных сплавах наблюдалось рост и понижение твёрдости, причем её изменение было положительно и эффективно установлено по сравнению с твёрдостью сплава  $Zn_{0.5}Al$ . Поведение металлических компонентов сплава определяет, что влияние скандия и иттрия на повышение твёрдости и прочности основного сплава больше, чем влияние эрбия на эти свойства сплава. Наибольшие добавки (0.5 и 1.0%) этих легирующих компонентов показали незначительное снижение твёрдости и прочности по сравнению с наименьшими добавками (0.01÷0.1%), что по совокупности экспериментально установленные значения этих величин значительно выше, чем их значения для сплава  $Zn_{0.5}Al$ .

**Ключевые слова:** сплав  $Zn_{0.5}Al$ , легирование, скандий, иттрий, эрбий, исследование твёрдости, метод Бринелля, определение прочности.

## RESEARCH OF HARDNESS AND STRENGTH OF $Zn_{0.5}Al$ ALLOY, DOPED WITH SCANDIUM, YTTRIUM AND ERBIUM

U.R. Jobirov, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov

The hardness and strength of  $Zn_{0.5}Al$  alloy and  $Zn_{0.5}Al-Sc(Y, Er)$  alloys with different compositions were studied separately, using the alloying components scandium, yttrium, and erbium. All alloys with different compositions exhibited increases and decreases in hardness, with the change being positively and effectively determined compared to the hardness of  $Zn_{0.5}Al$  alloy. The behavior of the metallic components of the alloy determines that the influence of scandium and yttrium on increasing the hardness and strength of the base alloy is greater than the influence of erbium on these properties of the alloy. The largest additions (0.5 and 1.0%) of these alloying components showed a slight decrease in hardness and strength compared to the smallest additions (0.01÷0.1%), which means that, taken together, the experimentally established values of these quantities are significantly higher than their values for the  $Zn_{0.5}Al$  alloy.

**Keywords:**  $Zn_{0.5}Al$  alloy, doping, scandium, yttrium, erbium, hardness research, Brinell method, strength determination.

### Муқаддима

Дар айни замон маълумоти таҷрибавӣ оид ба сохтори металлӣ ва ҳосиятҳои хӯлаҳои гуногуншакл чамъоварӣ шуда, қонуниятҳои барои амалия муҳимми таъсири таркиби химиявӣ ва сохтор ба ҳосиятҳои гуногуни хӯлаҳои металлӣ, инчунин қонуниятҳои тағйирёбии сохтор ва ҳосиятҳои хӯлаҳои бисёркомпонента ҳангоми таъсири ҳароратӣ ва механикӣ аниқ карда шудааст [1-4]. Ба мисоли хӯлаҳои металлӣ, ки дар амалияи рӯйпушҳои муҳофизатии пӯлоди карбондор истифода мешаванд, хӯлаҳои руҳ, алюминий ва руҳ-алюминий навъҳои гуногун тааллуқдоранд [5-13].

Соҳаҳои гуногуни техникаи муосир нисбат ба бозътимодии маснуот, пайгириона ва ба сифати хӯлаҳои металлӣ, аз ҷумла ба чунин хосиятҳои онҳо, ҳамчун сахтӣ ва мустаҳкамӣ талаботҳои мушаххасро тақозо менамоянд. Яке аз муҳимтарин вазифаҳои истеҳсолоти технологӣ, ки аз ҳалли муваффақонаи он то андозае пешрафти минбаъдаи техникаи муосир вобаста аст, ин беҳбудкунии сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои металлӣ мебошад. Бояд қайд кард, ки захираҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои металлӣ то имрӯз ҳанӯз дар дараҷаи хеле кам истифода мешаванд. Мафҳуми ба истилоҳ «назариявӣ»-и сахтӣ ё мустаҳкамӣ, ки барои хӯлаҳои металлӣ дорои панҷараи идеалии кристаллӣ буда ҳисоб карда шудаанд, дар онҳо ҳамаи атомҳо ҳамзамон таъсири сарбориҳои татбиқшударо қабул мекунанд, аз сахтӣ ё мустаҳкамии воқеии «амалӣ» чандин маротиба зиёдтар мебошанд. Пайдо шудани номукамалӣ ё нопуррагиҳо (ҷойгир ва бечошавиҳо, ҷойҳои холӣ ва ғайра) дар панҷараи кристаллӣ боиси якбора коҳишёбии бузургиҳои сахтӣ ё мустаҳкамии назариявӣ мегарданд. Афзоиши сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои металлӣ аз зиёдшавии миқдори номукамалӣ ё нопуррагиҳо дар панҷараи кристаллии онҳо вобаста аст [2, 3].

Таҳқиқи сахтӣ ин дастрастарин ва паҳншудатарин методи санҷишҳои механикии хӯлаҳои металлӣ буда, ҳам барои мақсадҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ва ҳам ҳамчун воситаи назорат дар бисёр соҳаҳои саноат истифода мешавад. Эҳтимол, ягон методи дигари санҷишҳои механикӣ ба мисли ин метод дар амалияи корхонавӣ то ин дараҷа васеъ истифода нашудааст. Ин бо соддагӣ ва босуръат гузаронидани таҳқиқот шарҳ дода мешавад, ки имконият медиҳад барои баъзе намудҳои маснуот аз хӯлаҳои металлӣ назорати садфоиза амалӣ карда шавад; дар фарқият аз бисёр таҳқиқоти дигар, таҳқиқи сахтӣ ин методи вайроннашавандаи санҷишҳои механикӣ мебошад. Дар бисёр ҳолатҳо маълумот оид ба хусусиятҳои механикии хӯлаҳои металлӣ умуман бо ягон методи дигар ғайримкон аст, ба истиснои методи ченкунии сахтӣ, ки онро метавон бо ёрии дастгоҳи сайёр амалӣ намуд. Дар корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ мавқеи будани ин метод имкони баҳодиҳии хосиятҳои қабатҳои тунуки сатҳӣ ё чузъҳои алоҳидаи сохториро таъмин менамояд. Дар мутобиқат бо ингуна вазифаҳо низ методи ченкунии сахтӣ ивазнашаванда аст [1-4].

Методҳои муайянкунии хосиятҳои механикӣ (ки шумораи онҳо тақрибан 80-то маълум аст) тайёркуни ва санҷидани намунаҳоро аз хӯлаи металлӣ пешбинӣ намуда, бо пурра ё қисман вайроншавии намунаи таҳқиқшаванда алоқаманд аст. Гуногуншаклии усулҳои таҳқиқи сахтӣ яке аз сабабҳои мавҷуд набудани таърифи ягонаи ҳуди мафҳуми «сахтӣ» мебошад. Дар ҳақиқат, вобаста аз хусусияти сарборӣ ҳангоми таҳқиқи сахтӣ, хӯлаи металлӣ метавонад танҳо бо шаклгирии чандирӣ, ё қайшӣ-ёзандагӣ, ё шаклгирии чандирӣ-ёзандагӣ ва вайроншавиро таҷриба намояд. Дар ҳар як ҳолат ҳангоми таҳқиқи сахтӣ хосиятҳои гуногуни хӯлаҳои металлӣ зоҳир мегарданд. Ягона хусусият, ки методҳои гуногуни ченкунии сахтиро муттаҳид мекунад, ин хусусияти васлии татбиқи сарборӣ мебошад, ки ба маънои физикии сахтӣ мувофиқат мекунад [14-17].

### Мавод ва усули таҳқиқот

Таҳқиқоти бузургиҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои гуногунтаркиб дар ҳолати бо таъсири физикавӣ ва механикӣ вайроншавии онҳо, инчунин дар интиҳобкунии маводди конструксионӣ, азнавкоркардкунии равандҳои технологӣ ва муайянкунии навъҳои гуногуни онҳо бевосита нақши муҳим мебозад. Аз ин сабаб, ба тавсифи таъсири элементҳои таркибӣ ба сохтор, сахтӣ муваффақонаи хӯлаҳо ва муайянкунии қонуниятҳои тағйирёбии ин бузургиҳои механикии асосӣ дар хӯлаҳои гуногунтаркиб аҳамияти махсус дода мешавад. Ин имконият медиҳад, ки хусусиятҳои сохтори хӯлаҳои анодӣ ва конструксионӣ, ки мустақиман ба мустаҳкамии он таъсир мерасонанд, таҷрибавӣ аниқ карда шаванд.

Ҳангоми таҳқиқи сахтӣ ба намунаи хӯлаи металлӣ зери таъсири сарбории муайяншуда бо лавозимоти сахти пӯлодӣ фишор дода шуда, қимати сахтӣ аз рӯи андозаи изи намудоршуда муайян карда мешавад. Ҳамин тавр, таҳқиқи тағйирёбии қиматҳои сахтии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  ва хӯлаҳои дар алоҳидагӣ бо 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 ва 1% ҷавҳаронидашудаи скандий, иттрий ва эрбий бо андозаҳои  $10 \times 16$  мм дар дастгоҳи сахтисанҷи ТШ-2 анҷом дода шуд [16-18]. Таҳқиқи сахтӣ бо методи Бринелл мутобиқ ба ГОСТ 9012–59 ҳангоми фишордиҳии намунаҳои гуногуни хӯлаҳо бо лавозимоти курашакли сахти пӯлодӣ андозаи диаметраш 10 мм ( $D$ ) зери таъсири қувваи сарбориаш баробар ба 250 кг ( $P$ ) амалӣ карда шуда, пас аз гирифтани сарбории вазнӣ, диаметри ( $d$ ) изи дар намунаҳои

гуногуни хӯлаҳо намудоршуда санчида шуд. Қиматҳои сахтӣ барои ҳар як намунаҳои хӯла бо методи Бринелл ( $HB$ , кгс/мм<sup>2</sup> ё МПа) мутобиқи ин муодила ҳисоб карда шуд:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

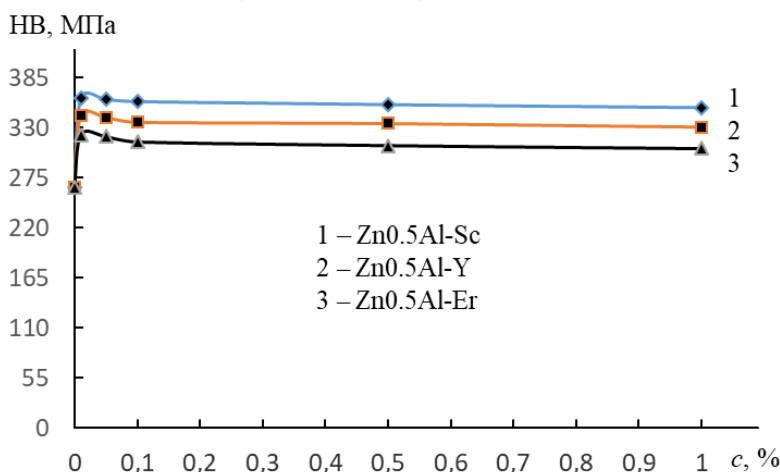
Бо дарназардошти он, ки вобастагии миқдори байни тағйирёбии хусусиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ мавҷуд аст, бо истифодабарӣ аз вобастагиҳои эмпирикӣ ва қиматҳои амалан таҷрибавӣ аниққардашудаи сахтӣ хусусияти тағйирёбии мустаҳкамии хӯлаҳои мазкури таҳқиқшавада бо ин муодила ҳисоб карда шуд:

$$\sigma = kHB.$$

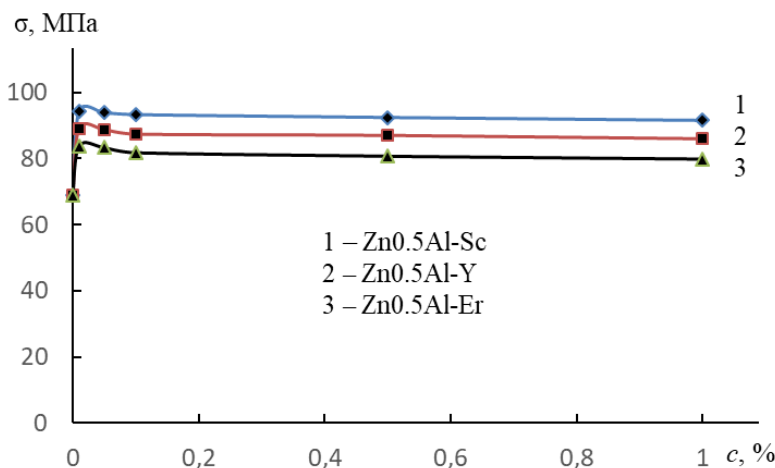
дар ин ҷо  $HB$  – сахтӣ аз рӯи Бринелл;  $k$  – зариф, ки аз таркиб ва сохтори хӯла вобаста аст.

### Натиҷаҳои таҳқиқот ва муҳокима

Аз натиҷаҳои таҳқиқи сахтии хӯлаҳои  $Zn_{0.5}Al$  ва  $Zn_{0.5}Al-Sc(Y, Er)$  бармеояд, ки ҳангоми ҷавҳаронии хӯлаи аввалия бо миқдорҳои гуногуни  $Sc$ ,  $Y$  ва  $Er$  тобоварии сахтии хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда ба самти зиёдшавии он мутобиқат мекунад. Афзоиш ва камшавии сахтӣ дар ҳамаи хӯлаҳои гуногунтаркиби ҷавҳаронидашуда дида мешавад, ки тағйирёбии он дар муқоиса бо сахтии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  мусбӣ асоснок карда мешавад. Инчунин таъсири самараноки миқдорҳои камтарини (то 0.1%-и вазн)  $Sc$ ,  $Y$  ва  $Er$  ба бештар баландбардории сахтии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  мушоҳида мегардад. Хусусияти мусбӣ тағйирёбии мустаҳкамии хӯлаҳо низ ҳангоми муқоисакунӣ бартариии он сараввал дар хӯлаҳои скандийдошта нисбат ба хӯлаҳои иттрийдошта ва баъдан дар хӯлаҳои эрбийдошта инъикос меёбад, ки дар ниҳоят баландшавии мустаҳкамии хӯлаи аввалияро ифода мекунад (расмҳои 1, 2).



Расми 1 – Сахтии ( $HB$ , МПа) хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки скандий, иттрий ва эрбий ( $c$ ,%) дорад



Расми 2 – Мустаҳкамии ( $\sigma$ , МПа) хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки скандий, иттрий ва эрбий ( $c$ ,%) дорад

Тағйирёбии қиматҳои амалан таҷрибавии бузургиҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои Zn0.5Al ва Zn0.5Al-Sc(Y, Er) тибқи натиҷагирӣ аз 265.02 ва 68.90 МПа то 363.03 ва 94.39 МПа барои хӯлаҳои Zn0.5Al-Sc, то 343.00 ва 89.18 МПа барои хӯлаҳои Zn0.5Al-Y, то 322.58 ва 83.87 МПа барои хӯлаҳои Zn0.5Al-Er, мутаносибан мушоҳида карда мешавад. Баландшавии сахтӣ ва мустаҳкамӣ аз компонентҳои таркибӣ ва концентратсияҳои онҳо дар хӯлаҳои дучанда ва сечанда вобаста аст. Дар ҳамагуна ҳолатҳои гуногунтаркибии хӯлаҳо, баландшавии сахтӣ ва мустаҳкамӣ аниқ карда шудааст, ки афзоиши қиматҳои ин бузургиҳо ба хӯлаҳои бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашудаи Zn0.5Al тааллуқ доранд. Ҳамчун компонентҳои чавҳаронии хӯла, таъсири скандий ва иттрий ба баландбардории сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи аввалия нисбат ба таъсири эрбий ба ин хосиятҳои хӯла бештар аст. Иловаҳои бештарини (0.5 ва 1.0%) ин компонентҳои чавҳаронии хӯла нисбат ба иловаҳои камтарини онҳо (0.01÷0.1%) андаке пастшавии сахтӣ ва мустаҳкамӣ нишон медиҳанд, ки дар умум қиматҳои амалан таҷрибавӣ аниққардашудаи ин бузургиҳо нисбат ба нишондоди қимати онҳо барои хӯлаи Zn0.5Al хеле назаррас аст (ҷадвал).

Ҷадвал – Тағйирёбии бузургиҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои Zn0.5Al ва Zn0.5Al-Sc(Y, Er)

| Таркиби хӯлаҳо, %-и вазнӣ | Сахтӣ НВ, МПа | Мустаҳкамӣ, МПа |
|---------------------------|---------------|-----------------|
| Zn0.5Al(1)                | 265.02        | 68.90           |
| (1)+0.01Sc                | 363.03        | 94.39           |
| (1)+0.05Sc                | 361.08        | 93.88           |
| (1)+0.1Sc                 | 358.87        | 93.31           |
| (1)+0.5Sc                 | 355.53        | 92.44           |
| (1)+1.0Sc                 | 352.11        | 91.55           |
| (1)+0.01Y                 | 343.00        | 89.18           |
| (1)+0.05Y                 | 341.44        | 88.77           |
| (1)+0.1Y                  | 336.17        | 87.40           |
| (1)+0.5Y                  | 334.62        | 87.00           |
| (1)+1.0Y                  | 330.77        | 86.00           |
| (1)+0.01Er                | 322.58        | 83.87           |
| (1)+0.05Er                | 320.33        | 83.28           |
| (1)+0.1Er                 | 314.51        | 81.77           |
| (1)+0.5Er                 | 310.45        | 80.72           |
| (1)+1.0Er                 | 307.12        | 79.85           |

## Хулоса

Хӯлаҳое, ки бо компоненти сеюм, яъне скандий, иттрий ва эрбий дар алоҳидагӣ бо миқдорҳои гуногун (аз 0.01 то 1.0%) чавҳаронида шудааст, нисбат ба хӯлаи Zn0.5Al сахтӣ ва мустаҳкамӣ баландтар доранд, ки ин ба аҳамияти чавҳаронӣ ва ташаккули сохтори мустаҳкамӣ хӯлаҳо вобаста аст. Байни сахтӣ ва мустаҳкамӣ чунин қонуниятҳои тағйирёбии вобастагии онҳо мушоҳида карда шудааст: афзоиши сахтӣ ба баландбардории мустаҳкамии хӯлаҳо оварда мерасонад. Қонуниятҳои тағйирёбии вобастагии ин бузургиҳои механикӣ бо пайдоиши фазаҳои мустаҳкамкунанда дар хӯлаҳо, ки ҳаракати номукамалӣ ё нопуррагиҳо дар панҷараи кристаллӣ маҳдуд мекунанд, шарҳ дода мешавад.

Ҳамин тавр, баландшавии сахтӣ бевосита ба афзоиши мустаҳкамии хӯлаҳои таҳқиқшуда ва қобилияти он барои тобоварӣ ба сарбориҳои вазнӣ ва механикӣ мусоидат мекунанд. Хусусиятҳои мустаҳкамии ин хӯлаҳо барои истифодабарӣ дар шароити шиддатҳои миёна кофӣ буда, тобоварии шакли маснуотро ҳангоми истифодабарӣ таъмин менамоянд. Дар маҷмӯъ, хӯлаҳои Zn0.5Al-Sc, Zn0.5Al-Y ва Zn0.5Al-Er сахтӣ ва мустаҳкамӣ хеле бештарро доранд, ки истифодаи самараноки онҳоро, ҳамчун рӯйпушҳои муҳофизатӣ, дар маснуоти пӯлодӣ, конструксионӣ ва ба фарсудадашавӣ тобовар имконпазир мегардонад.

*Муқаррир: Алиҳонова С.Ҷ. – н.и.ҳ., дотсенти Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон.*

## Адабиёт

1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение /Ю.М. Лахтин.– М.: Машиностроение, 1993. – 448 с.
2. Кнорозов, Б.В. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьякова и др. – М.: Металлургия, 1987. – 800 с.
3. Бернштейн, М.Л. Механические свойства металлов / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский. – М.: Металлургия, 1979. – 496 с.
4. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин, В.С. Гаврилкж, В.С. Соколов и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 638 с.

5. Кечин, В.А. Цинковые сплавы / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. – М.: Металлургия, 1986. – 247 с.
6. Обидов, З.Р. Физикохимия цинк-алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Душанбе: Андалеб-Р, 2015. – 334 с.
7. Obidov, Z.R. High temperature and electrochemical corrosion of Zn0.5Al alloy doped with calcium in various media / Obidov Z.R., Amini R., Nazarov O.N., Dzhayloev Ja.Kh., Ganiev I.N., Usmanov R. // ChemChemTech. – 2020. – V. 63. – №. 11. – P. 29-36.
8. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных барием / З.Р. Обидов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2015. – № 31 (57). – С. 51-54.
9. Олимов, Н.С. Окисление сплавов системы Al-Ge в жидком состоянии / Н.С. Олимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, М.Ч. Ширинов // Расплавы. – 2015. - № 4. – С. 19-26.
10. Ҳамроқул, Ф. Таъсири неодим ба кинетикаи оксидшавии ҳулаи Zn0.5Al / Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Баҳши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. ДТТ. – 2025. – № 3 (71). – С. 54-58.
11. Обидов, З.Р. Анодные защитные цинк-алюминиевые покрытия с элементами II группы / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Изд. дом: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2012. – 288 с.
12. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплава Al+2.18% Fe, легированного таллием / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85. – № 11. – С. 1781-1784.
13. Ганиев, И.Н. Влияние галлия на потенциал коррозии цинка, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Г.М. Атоев, Р.Д. Исмонов, П.Н. Абдухоликова, М.А. Умаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. - №2(70). – С. 79-83.
14. Григорович, В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1976. – 230 с.
15. Фирузи, Ҳ. Тадқиқи ҳосиятҳои механикӣ ҳулаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда / Ҳ. Фирузи, И. Н. Ганиев, З. Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Баҳши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2025. – No. 3(71). – P. 59-63. – EDN XHGMKW.
16. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
17. Марковец, М.П. Определение механических свойств металлов по твердости / М.П. Марковец. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
18. Гудков, А.А. Методы измерения твердости металлов и сплавов / А.А. Гудков, Ю.И. Славский. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.

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

| TJ                                                                                                                                                              | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Чобиров Умед Рустамович<br>докторанти PhD                                                                                                                       | Джобиров Умед Рустамович<br>PhD докторант                                                                         | Jobirov Umed Rustamovich<br>PhD doctoral student                                                                                     |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни                                                                                                  | Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни                                               | Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni                                                                        |
| E-mail: <a href="mailto:firuzih@mail.ru">firuzih@mail.ru</a>                                                                                                    |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |
| TJ                                                                                                                                                              | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
| Ганиев Изатулло Наврузович<br>Академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор                                                     | Ганиев Изатулло Наврузович<br>Академик Национальной академии наук Таджикистана, доктор химических наук, профессор | Ganiev Izatullo Navruzovich<br>Academician 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 имени академика М.С. Осими                                                     | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi                                                                        |
| E-mail: <a href="mailto:ganiev48@mail.ru">ganiev48@mail.ru</a>                                                                                                  |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |
| TJ                                                                                                                                                              | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
| Обидов Зиёдулло Раҳматович<br>Доктори илмҳои химия, профессор                                                                                                   | Обидов Зиёдулло Раҳматович<br>Доктор химических наук, профессор                                                   | Obidov Ziyodullo Rahmatovich<br>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: <a href="mailto:obidovzr@gmail.com">obidovzr@gmail.com</a><br><a href="https://orcid.org/0000-0001-9289-8265">https://orcid.org/0000-0001-9289-8265</a> |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |

## МИКРОСОХТОР ВА ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКИИ БАББИТИ ҚАЛЪАҒИ Б83 БО ИНДИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

**И.Н. Ганиев, Х.Д. Музафаров, Р.Д. Исмонов, Х.М. Хожаназаров, М.А. Умаров**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар ин мақола натиҷаҳои омӯзиши микросохтор ва хосиятҳои механикии баббити қалъағи Б83, ки бо индий чавҳаронида шудааст, пешниҳод мегарданд. Ҳамчунин мавҷудияти зарраҳои фазаҳои интерметаллии ҳангоми кристаллизатсияи ҳӯла ба вучудомада мушоҳида карда шудааст. Миқдор ва андозаи зарраҳои фазаҳои дуум ба хосиятҳои механикии ҳӯлаи ибтидоӣ таъсири назаррас мерасонанд. Баланд бардоштани минбаъдаи консентратсияи унсури чавҳаронӣ ба майдашавии сохтор оварда, онро яхела ва майдадонона мегардонад. Бо истифода аз усулҳои стандартии ченкунии сахтӣ (усули Бринелл) муайян карда шудааст, ки барпои зиёд кардани сахтӣ ва мустаҳкамии баббити қалъағи Б83 бо иловаи индий то 1,0 %-и массавӣ муайян карда шуд, ки ворид намудани индий ба тақсимои фазаҳои интерметаллӣ, инчунин ба хусусиятҳои мустаҳкамӣ ва пластикии баббит қалъағи Б83 таъсир мерасонад. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳангоми таҳия ва тақмили маводҳои қоҳишдиҳандаи соиш барои милдонҳои лағжанда истифода шаванд.

*Калидвожаҳо:* баббити қалъағи Б83, индий, микросохтор, хосиятҳои механикӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ.

## МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЛОВЯННОГО БАББИТА Б83, ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЕМ

**И.Н. Ганиев, Х.Д. Музафаров, Р.Д. Исмонов, Х.М. Ходжаназаров, М.А. Умаров**

В данной статье представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств оловянного баббита Б83, легированного индием. Также установлено наличие частиц интерметаллических фаз, образующихся в процессе кристаллизации сплава. Количество и размеры частиц второй фазы оказывают существенное влияние на механические свойства исходного сплава. Дальнейшее увеличение концентрации легирующего элемента приводит к измельчению структуры, делая её более однородной и мелкозернистой. С использованием стандартных методов измерения твёрдости (метод Бринелля) установлено, что повышение твёрдости и прочности оловянного баббита Б83 достигается при добавлении индия до 1,0 мас. %. Показано, что введение индия влияет на распределение интерметаллических фаз, а также на прочностные и пластические характеристики оловянного баббита Б83. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и совершенствовании антифрикционных материалов для подшипников скольжения.

*Ключевые слова:* оловянные баббит Б83, индий, микроструктура, механические свойства, твердость, прочность.

## MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF TIN BABBITTE B83 ALLOYED WITH INDIUM

**I.N. Ganiev, Kh.D. Muzafarov, R.D. Ismonov, Kh.M. Khojanazarov, M.A. Umarov**

This article presents the results of a study of the microstructure and mechanical properties of indium-alloyed tin babbitt B83. The presence of intermetallic phase particles formed during alloy crystallization was also established. The amount and size of the second-phase particles have a significant impact on the mechanical properties of the original alloy. A further increase in the alloying element concentration leads to a refinement of the structure, making it more uniform and fine-grained. Using standard hardness testing methods (the Brinell method), it was established that an increase in the hardness and strength of tin babbitt B83 is achieved with the addition of up to 1.0 wt.% indium. It is shown that the introduction of indium affects the distribution of intermetallic phases, as well as the strength and plastic properties of tin babbitt B83. The results obtained can be used in the development and improvement of antifricition materials for plain bearings.

*Keywords:* tin babbitt B83, indium, microstructure, mechanical properties, hardness, strength.

### Муқаддима

Баббитҳо ҳӯлаҳои махсус мебошанд, ки асосан аз қалъағи, сурб ва як қатор металлҳои дигар иборатанд. Ин гуна ҳӯлаҳо хосиятҳои баланди антифриксионӣ дошта, бо коэффитсиенти пасти соиш тавсиф меёбанд. Баббитҳои қалъағи ҳангоми истифода ҳамчун маводи милдонӣ дорои хосиятҳои нодир мебошанд: онҳо пластикӣ буда, ҳамзамон ба зангзанӣ устуворанд. Ин мавод ҳангоми кор бо маводи дигар, аз чумла пӯлод, бардошти сарбориҳои калонро дошта, қобилияти хуби коркардашавӣ нишон медиҳад.

Баббитҳо қалъағи ва сурбӣ (Б88, Б83, Б83С, Б16, БН, БС6 — барои баббитҳои қалъағи ва сурбӣ; БКА, БК2, БК2Ш — барои баббитҳои беқалъағи) бо ҳарфи «Б» ва як ё ду рақам ишора карда мешаванд, ки миқдори миёнаи қалъағиро бо фоиз нишон медиҳанд. Ҳарфҳои Н, К, С, Т мутаносибан мавҷудияти никел, калсий, сурб ва теллурро нишон медиҳанд. Баббитҳо дар истеҳсоли мошинҳо ва

дастгоҳҳои саноатии калон васеъ истифода мешаванд, ки дар онҳо бозьтимодӣ ва дарозумрии милдонҳо аҳамияти ҳалкунанда доранд [1].

Соҳаи асосии истифодаи баббитҳо мошинсозӣ буда, онҳо барои тайёр кардани милдонҳои муҳаррикҳо, турбинаҳо, компрессорҳо ва дигар механизмҳои гардишкунанда истифода мешаванд. Хосиятҳои онҳо имкон медиҳанд соиш ва фарсудашавӣ кам карда шуда, муҳлати хизматрасонии таҷҳизот зиёд ва хароҷоти он кам гардад.

Илова бар ин, баббитҳо дар киштисозӣ, энергетика ва нақлиёт истифода мешаванд. Дар киштисозӣ онҳо дар милдонҳои муҳаррикҳои киштӣ ва меҳварҳо ба кор бурда шуда, кори бозьтимодно дар шароити намнокӣ ва муҳити зангананда таъмин мекунанд. Дар энергетика баббитҳо дар турбинаҳо ва генераторҳо истифода мешаванд, ки дар онҳо қобилияти баланди борбардорӣ ва устуворӣ ба гармшавӣ муҳим аст. Дар нақлиёт бошад, онҳо дар милдонҳои роҳи оҳан ва автомобилӣ истифода шуда, ҳамвории ҳаракат ва дарозумрии чузъҳоро таъмин менамоянд.

Истеҳсоли баббит мутобиқи ГОСТ 1320-74 аз сурб, қалъагӣ, сурма ва арсен — металлҳои дорои ҳарорати пасти гудозиш анҷом дода мешавад. Бо сабаби фарқияти дараҷаи нармӣ, хӯлаи дорои хосиятҳои махсус ҳосил мегардад, ки имкон медиҳад соиш коҳиш ёфта, устувории фарсудашавӣ ва дарозумрӣ таъмин карда шавад. Ҳарорати миёнаи рехтагарӣ тақрибан 450°C буда, ҳарорати оғози гудозиш 240°C-ро ташкил медиҳад.

Раванди асосии истеҳсоли баббити Б83 аз гармкунии тигел, боркунии металлҳо, гудозиш ва омехтакунии онҳо иборат аст. Пас аз таҳшиншавӣ омехта бори дигар омехта шуда, то ҳарорати 500°C расонида мешавад ва баъдан ба қолабҳо ё бевосита ба милдонҳо рехта мешавад.

Баббити Б83 одатан барои рехтани милдонҳои мошинҳои иқтисодӣ баланд истифода мешавад, ки дар онҳо арзиши баланди часпакӣ ва коэффитсиенти пасти соиш талаб карда мешавад. Чунин милдонҳо имкон медиҳанд суръати муҳитии то 50 м/с, ҳарорати оптималии корӣ 75°C ва коэффитсиенти соиш бо молидан байни баббит ва пӯлод то 0,005 таъмин гардад, ки ин ба милдон имкон медиҳад сарбории зиёда аз 100 кг/см<sup>2</sup>-ро таҳаммул намояд. Милдонҳои аз Б83 тайёршуда дар турбинаҳои буғӣ, турбокомпрессорҳо, дизелҳо, муҳаррикҳои барқӣ ва дигар соҳаҳои мошинсозӣ васеъ истифода мешаванд [2].

Баббит барои рӯйпӯш намудани вкладишҳои милдонҳо бо мақсади кам кардани соиш ва зиёд намудани муҳлати хизмати механизмҳо истифода мешавад. Раванди пӯшонидани қабати баббитӣ омодасозии сатҳ, гармкунӣ то ҳарорати муайян ва рехтани баббити гудохташударо дар бар мегирад. Ин усул якпорчагии рӯйпӯш, часпиши бозьтимод ва беҳтар шудани хусусиятҳои кории милдонҳоро таъмин менамояд.

Хосиятҳои механикии мавод на танҳо аз хусусиятҳои атомҳо ва унсурҳои сохтори калонтар, балки аз тарзи ҷойгиршавии онҳо дар фаза вобастаанд. Ба ибораи дигар, дар ташаккули хосиятҳои мавод на танҳо таркиби химиявӣ, балки сохтор нақши муҳим мебозад. Аз ин рӯ, таҳқиқоти сохторӣ дар сатҳҳои гуногун дар маводшиносӣ аҳамияти махсус доранд. Бо дарназардошти истифодаи васеи баббитҳои қалъагӣ дар соҳаҳои гуногуни саноат, корҳои тадқиқотӣ ҷиҳати беҳтар намудани хосиятҳои механикӣ ва талаботи истифодабарии онҳо пайваста анҷом дода мешавад қалъагӣ Б83 бо индӣ дар адабиёт мавҷуд нест. Чунин маълумот захираи адабиёти маълумотино гани гардониди, ҳангоми интиҳоби мавод барои конструкияҳои аз баббит сохташаванда аҳамияти калон дорад.

Ҳадафи кори мазкур омӯзиши хосиятҳои механикии баббити қалъагӣ Б83 бо таъсири иловаҳои индӣ ба микросохтор мебошад.

### **Мавод ва усулҳои тадқиқот**

Баббити қалъагӣ Б83 бо индӣ дар ҳарорати 450...500°C дар печи лаборатории навъи СШОЛ бо роҳи гудозиши қалъагӣ тамғаи ОВЧ-000 (99,999 %) (ГОСТ 860-75), мис маркаи М0 (99,93 %) (ГОСТ 859-2014), сурмаи металлӣ тамғаи Су00 (99,9 %) (ГОСТ 1089-82) ва индӣ тамғаи Ин-0 (99,9 % In) (ГОСТ 10297-97) ҳосил карда шуд. Миқдори индӣ аз 0,05 то 1,0 %-и массавӣ дар баббити ибтидоӣ ҳосил карда шуд. Таркиби хӯлаҳо тавассути вазнкунии шихта ва намунаҳои ҳосилшуда назорат карда мешуд. Дар ҳолати фарқ кардани масса зиёда аз 3 %, синтези хӯла тақроран анҷом дода мешуд.

Яке аз воситаҳои асосии таҳқиқ омӯзиши микросохтори хӯлаҳо мебошад, зеро таъсири коркарди деформатсионӣ ва ҳароратӣ он имкон медиҳад ба хосиятҳои маҳсулоти тайёр, инчунин

сабабҳои нуқсонҳо муайян карда шаванд. Таҳқиқоти микросохтори баббити Б83 бо индӣ дар микроскопи навъи БИОМЕД-1 иҷро карда шуд.

Усули тадқиқи микроскопии ҳулаҳо ва металлҳо, ё кӯтоҳ микроанализ, бо ёрии микроскоп дар омӯзиши сохтор (структура)-и онҳо дар намунаҳои махсус омодашуда, ки микрошлиф ном доранд, ифода меёбад.

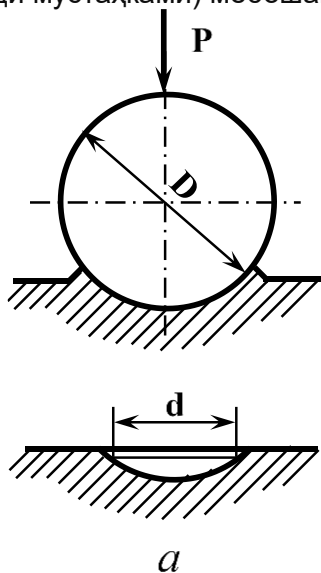
Барои омодаسازی микрошлиф одатан аз омӯзиши микроструктура ва бурида гирифтани намуна аз қитъаи муайяни объекти таҳқиқшаванда оғоз меёбад. Тадқиқоти гузаронидашавандаи ин қитъа вобаста ба ҳадаф интихоб карда мешавад (масалан, наздик ба ҷои шикаст ё тарқиш дар маснуот).

Барои тайёр намудани микрошлифҳо намунаҳои дорои қитъаи чоркунҷа ё цилиндрӣ мувофиқ мебошанд, ки паҳлуи чоркунҷашон ё диаметрашон аз 10 то 20 мм ва баландияшон аз 10 то 30 мм интихоб карда шуда. Намунаҳо то пурра нест шудани хатҳои харошидашуда дар коғази суфтакунӣ сайқал дода мешавад, бо гузариши тадриҷӣ аз коғази абразивӣ дорои андозаи донаи абразивӣ 150–50 мкм ба коғази абразивии микронӣ (20–5 мкм).

Ҳангоми тоза карда намуна аз як коғази абразивӣ ба коғази дигар, ки донааш майдатар аст, зарур аст, ки самти суфтакунӣ ба  $90^\circ$  иваз карда шавад. Дастгоҳҳои махсус барои анҷом додани суфтакунии намунаҳо мебошад, ки дар онҳо коғази суфтакунӣ ба лентаҳои даврзананда ё дискҳои маҳкам карда шудааст. Анҷом додани тадқиқотҳо мувофиқи методикаҳои, ки дар корҳои [11, 12] тавсиф шудаанд, .

Намунаҳои цилиндрӣ бо дарозии 5–10 мм ва диаметри 10–16 мм барои омӯзиши микросохтор رهتا шуданд. Пас аз суфтакунии намунаҳо дар маҳлули 20-фоизаи кислотаи нитратӣ дар давоми 10–20 сония безаргардонида шуданд.

Усули ченкунии сахтии ҳулаҳо. Сахтӣ тибқи усули Бринелл (ГОСТ 9012–59) бо роҳи фишурдани сақои пӯлодии дорои диаметри муайян  $D$  (2,5; 5; 10 мм) ба намунаи озмоишшаванда таҳти таъсири сарбории муайян  $F$  дар муддати вақти муайян чен карда мешавад (расми 1а). Афзалиятҳои ин усул соддагӣ, дақиқии кофӣ, талаботи нисбатан кам ба тозагии сатҳи намуна дар муқоиса бо дигар усулҳо, инчунин мавҷуд будани робитаи устувори байни қимати сахтӣ  $HВ$  ва бузургии  $\sigma_b$  (ҳадди мустаҳкамӣ) мебошанд.



Расми 1 – Нақшаи озмоиши сахтӣ тибқи усули Бринелл (ГОСТ 9012–59) (а) ва дастгоҳи ченкунии сахтӣ MODEL HBRV-187.5D (б)

Шумораи сахтӣ тибқи Бринелл, ки бо ишораи  $HВ$  ишора карда мешавад ( $H$  — ҳарфи аввали калимаи Hardness — сахтӣ;  $B$  — ҳарфи аввали номи усули муайянкунии сахтӣ Brinell), нисбати қувваи сарборӣ  $F$  ба масоҳати сатҳи изи сферии ба вучудомада  $S$ -ро ифода мекунад ва бо воҳидҳои  $kg/mm^2$  ё  $MPa$  чен карда шуда, тибқи формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$HB = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Сахтӣ, ки тавассути диаметри сақо  $D$  ва диаметри изи ҳосилшуда  $d$  ифода мегардад, бо формулаи зерин тавсиф карда мешавад:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (2)$$

Сахтии хӯлаҳо тибқи усули Бринелл мувофиқи методикаи стандартии дар корҳои [13–15] овардашуда бо истифода аз дастгоҳи MODEL HBRV-187.5D (расми 16) чен карда шуд. Андозаҳои намунаҳо озмоиши бо ғафсии 10 мм ва диаметри 16 мм пешниҳод гардиданд. Тадқиқот бо диаметри сақо  $D = 10$  мм ва сарбории  $P = 250$  кг гузаронида шуд. Озмоиш бо ғафсии зиёда аз 6 мм ва диаметри 16 мм дар намунаҳои хӯла татбиқ гардид.

### Натиҷаҳои таҷрибавӣ ва муҳокимаи онҳо

Объекти тадқиқот баббита рехтагии саноатии қалъагӣ бо таркиби зерин мебошад (% массавӣ): Sb – 6 ва Cu – 11; боқимонда Sn. Барои омӯзиши микросохтор ва хосияти механикии баббита қалъагӣ Б83 як қатор хӯлаҳо бо миқдори аз 0,05 то 1,0 %-и массавӣ индий ба ҳосил карда шуданд.

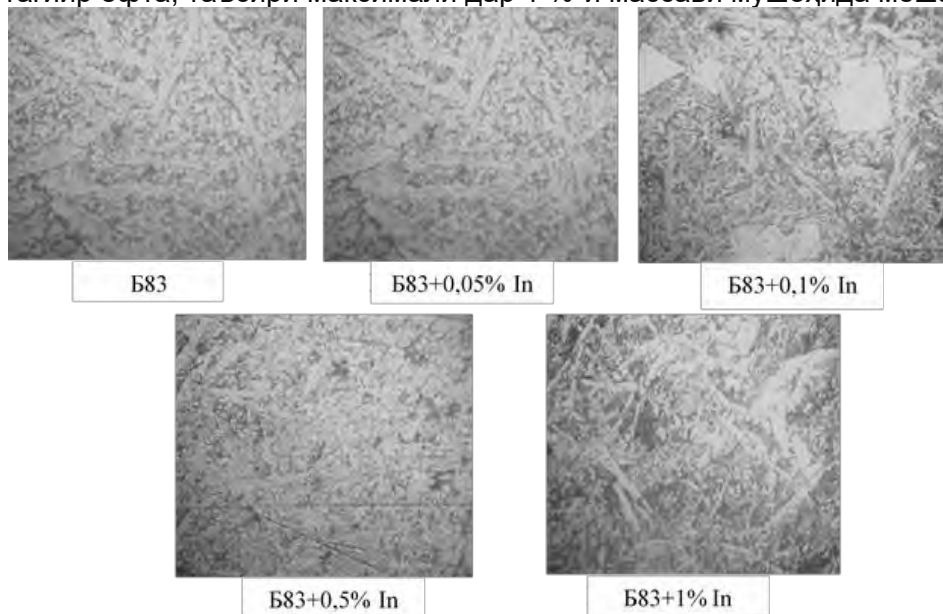
Иловаҳои индий ба майдашавии ҷузъҳои сохтори баббит мусоидат менамоянд. Микросохтори баббита қалъагӣ системаи композитсиониро ташкил медиҳад, ки аз матритсаи нарми металлӣ ва дохилшавиҳои сахти интерметаллии дисперсӣ иборат аст. Матритсаи қалъагӣ пластикӣ буда, қобилияти хуби коркардашавӣ ва гузаронандагии гармиро таъмин мекунад. Дар дохили он фазаҳои эвтектикӣ ва интерметаллидҳои сурма ва мис тақсим шудаанд.

Ҳангоми кристаллизатсия аввал интерметаллидҳои ҳарорати баланд ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  ва  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) бо морфологияи сӯзаншакл ба вучуд меоянд, ки нақши унсурҳои мустаҳкамкунанда доранд. Дар марҳилаҳои баъдӣ матритсаи қалъагӣ ва омехтаи эвтектикии Sn + SnSb ташаккул меёбад.

Хосиятҳои механикии баббит бевосита ба микросохтор вобастаанд. Матритсаи нарм қобилияти деформатсияи пластикӣ ва худмолишдиҳиро таъмин менамояд, дар ҳоле ки дохилшавиҳои сахт устувории фарсудашавӣ ва борбардориро зиёд мекунад.

Муайян карда шуд, ки иловаҳои индий то 1,0 %-и массавӣ ҳамчун модификатор сохторро хеле майда карда, онро якхела ва майдадонона мегардонанд. Самараноктарин таъсир ба микросохтор ба иловаи 1 %-и массавии индий рост меояд.

Ченкунии сахтӣ нишон дод, ки бо тағйирёбии микросохтор қиматҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ низ тағйир меёбанд. Аз рӯи натиҷаҳои ҳисобӣ, сахтӣ ва мустаҳкамии баббита Б83 бо зиёд шудани миқдори индий тағйир ёфта, таъсири максимали дар 1 %-и массавӣ мушоҳида мешавад (расми 2).



Расми 2 – Микросохторҳо ( $\times 500$ )-и баббита қалъагӣ Б83, ки бо индий ҷавҳаронида шудааст

Яке аз намудҳои васеъ паҳншудаи санҷишҳои механикии металлҳо ченкунии сахтӣ мебошад. Азбаски аксари муайян кардани хосиятҳои хӯлаҳо ва металлҳо бо сохтори онҳо мешаванд, ҳулосаҳои пешакӣ аз рӯи қимати сахтӣ метавон дар бораи дигар хосиятҳои механикии металл (ё хӯла)

баровард. Муайян кардани ченкунии сахтӣ имкон медиҳад, ки дар натиҷаи намудҳои гуногуни коркарди ҳароратии ҳулаҳо, дар чузъҳо бо тағйирёбии сохтор дар буриши чузъ алоқаманданд, сатҳҳои мустақамшуда мавҷуданд ё не.

Барои ҳисоб намудани ҳадди мустақамии маводи таҳқиқшаванда зарур аст формулаи ҳисобиро интихоб намуда, қимати коэффисиенти  $k$ -ро барои тамғаи мавод муайян кард ва бо ҷойгузин намудани қимати сахтӣ  $HB$  ба формулаи ҳисоб анҷом дод. Вобастагии тақрибии байни ҳадди мустақамии металл ва сахтӣ тибқи усули Бринелл бо муодилаи зерин ифода карда мешавад:

$$\sigma_s = k \cdot HB, \text{ МПа.} \quad (3)$$

Барои ҳулаҳои қалъагӣ қимати коэффисиенти  $k$  ба 0,13 баробар аст. Арзиши ҳадди мустақамӣ  $\sigma_s$  бо дарназардошти ин қимат барои ҳулаҳо аз нав ҳисоб карда шуд. Дар ҷадвал натиҷаҳои ҳисобҳо оварда шудаанд. Чунонки аз ҷадвал бармеояд, ҳангоми илова намудани индӣ то 1,0 %-и массавӣ сахтӣ ва мустақамии баббита ибтидоӣ коҳиш меёбанд. Дар байни концентратсияҳои омӯхташуда, таъсири аз ҳама зиёд ба ҳосиятҳо ба иловаи 1 %-и массавии индӣ рост меояд.

Ҷадвал – Таъсири индӣ ба сахтӣ ва мустақамии ҳисобии баббита оловянии Б83

| Миқдори индӣ дар баббит, % массавӣ | Сахтӣ $HB$ , кгк/мм <sup>2</sup> | Сахтӣ, МПа | Мустақамии ҳисобӣ, МПа |
|------------------------------------|----------------------------------|------------|------------------------|
| 0,0                                | 28,51                            | 279,58     | 36,34                  |
| 0,05                               | 27,65                            | 270,97     | 35,22                  |
| 0,1                                | 26,32                            | 257,93     | 33,53                  |
| 0,5                                | 25,45                            | 249,41     | 32,42                  |
| 1,0                                | 24,56                            | 240,68     | 31,28                  |

## Хулоса

Аз натиҷаҳо маълум шуд, ки таҳлилҳои микросохторӣ, имконият медиҳанд дохилшавии ғашӣҳо, таъсири деформатсия, андоза ва самти дончаҳо, инчунин навъ ва ҷойгиршавии фазаи дуюм мушоҳида карда шаванд. Тадқиқоти муфассали микросохтори ҳулаҳо дар ҳолати рехташуда, гомогенизатсияшуда ва термкоркардашуда имкон медиҳанд таъсири пурраи таркиби фазаӣ дар ҳолати сахт ба даст оварда шавад. Микросохтори баббита қалъагӣ Б83 маҳлули сахтӣ қалъагӣ бо дохилшавиҳои эвтектикӣ мебошад, ки миқдор ва андозаи онҳо аз таркиби унсури ҷавҳаронӣ дар ҳула вобаста аст. Ҳулаҳо бо иловаҳои нисбатан ками индӣ бо сохтори нисбатан калондона тавсиф мешаванд. Баланд бардоштани минбаъдаи миқдори унсури модификатор микросохтори баббита қалъагӣ Б83-ро майда намуда, онро якхела ва майдадона мегардонад.

Ченкунии сахтии металл яке аз муҳимтарин тадқиқотҳо ба шумор меравад, зеро он имкон медиҳад қобилияти мавод ба муқовимат ба қувваҳои деформатсионӣ арзёбӣ карда шавад. Аз хусусиятҳои сахтӣ мустақиман нишондиҳандаҳои асосии сифат, мустақамӣ, муҳлати зиёд истифодашаванда ва хусусиятҳои гуногуни истифодаи мавод дар шароити кор вобаста мебошанд. Дар ин кор таъсири иловаҳои индӣ ба сахтӣ ва мустақамии баббита қалъагӣ Б83 таҳқиқ карда шуд. Нишон дода шудааст, ки бо зиёд шудани концентратсияи унсури ҷавҳаркунанда қиматҳои сахтӣ ва мустақамии баббита қалъагӣ Б83 тағйир меёбанд. Бо усули металлография исбот гардид, ки иловаҳои индӣ то 1,0 %-и массавӣ чузъҳои сохтории баббита ибтидоӣ Б83-ро ба таври назаррас майда мекунанд.

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

## Адабиётҳо

1. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. / Учебное пособие. Часть 1. Материаловедение, Архангельск:
2. Северный (Арктический) Федеральный университет, 2015. – 327 с.
3. Лужникова Л.П. Материалы в машиностроении, Т. 1., Цветные металлы и сплавы, - М.: 1967. - 287 с.
4. Семенов, А.П. Антифрикционные материалы: опыт применения и перспективы / Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 12. С. 2136.
5. Королев А.А. Фазовые равновесия для Pb-Sb-Sn сплава при вакуумной дистилляции / Королев А.А., Краюхин С.А., Мальцев Г.И. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2018. № 1 (57). С. 128-140.
6. Rezaei B. Effects of casting temperature of Pb-Sb-Sn grid alloy on the polarization potential of oxygen evolution of lead acid batteries // Russian Journal of Electrochemistry. 2006. Vol. 42. № 4. pp. 350-354.
7. Ali E.A., Majeed Hameed M., Gumaan M.S., Alameri A., Alsowidy Sh.M.A.M., Al Naggar N.Q., Shalaby R.M. Effects of sb and/or Sn concentrations on the sbSn formation in a ternary melt-spun Pb-Sb-Sn alloy // Results in Materials. 2022. Vol. 16. pp. 100307.

8. ГОСТ 1320-74. Баббиты оловянные и свинцовые. / Технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001г.
9. Бешевли О.Б. Дуюн Т.А. Особенности теплового состояния баббитов при механической обработке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2 (85). С.75-81.
10. Мальцев М.В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1984-280с.
11. Исмонов Р. Д. Микроструктура алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с галлием и фазовый состав продуктов их окислений // Химия. Экология. Урбанистика. – 2024. – Т. 4. – С. 61-64.
12. Исмонов Р. Д. Микроструктура алюминиевого сплава AlBe1 с таллием и фазовый состав продуктов их окислений // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 3(63). – С. 73-75.
13. Ганиев И. Н., Хочаназаров Х. М., Саидов Ш. Х., Амонова А. В. Таъсири индий ба микроструктураи баббити сурбӣ б(PbSb15Sn10) // Илм-асоси рушди инноватсионӣ : Маводҳои конференсияи X байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи, Душанбе, 17–18 апрели 2025 года. – Душанбе: Донишгоҳи техникии тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, 2025. – С. 80-83.
14. Ганиев И.Н., Абуали Э., Валиев С.З., Хочаназаров Х.М., Сафаров Б.С. Таъсири иловаи калий ба хосиятҳои механикии ва микроструктураи ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминий // Маҷаллаи назариявӣ ва илмию истеҳсоли “Кишоварз”. 2024. №4 (105). С.85-89.
15. Ганиев И.Н., Элмурод А., Хочаназаров Х.М., Сафаров Б.С. Микроструктура ва хосиятҳои механикии ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминий бо литийи чавхаронидашуда // Вестник Дангаринского государственного университета. – 2024. №3(29). С.114-125.
16. Влияние добавок лития, натрия и калия на микроструктуру и механические свойства свинцового баббита б(PbSb15Sn10) / И. Н. Ганиев, Х. М. Ходжаназаров, Р. Д. Исмонов, У. Н. Файзуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 3(67). – С. 31-36. – EDN JXXXIY.

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

| 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: <a href="mailto:ganiev48@mail.ru">ganiev48@mail.ru</a>                             |                                                  |                                                                                                       |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-2791-6508">https://orcid.org/0000-0002-2791-6508</a>  |                                                  |                                                                                                       |
| TJ                                                                                         | RU                                               | EN                                                                                                    |
| Музафаров Хусрав Давляталиевич                                                             | Музафаров Хусрав Давляталиевич                   | Muzafarov Khusrav Davlyatalievich                                                                     |
| Унвонҷӯ                                                                                    | Соискатель                                       | Applicant                                                                                             |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ                                                            | ТТУ имени академика М.С. Осими                   | TTU named after academician M.S. Osimi                                                                |
| E-mail: <a href="mailto:Khusrav_8787@mail.ru">Khusrav_8787@mail.ru</a>                     |                                                  |                                                                                                       |
| TJ                                                                                         | RU                                               | EN                                                                                                    |
| Хочаназаров Хайрулло Маҳмудхонович                                                         | Ходжаназаров Хайрулло Маҳмудхонович              | Khojanazarov Khayrullo Mahmudkhonovich                                                                |
| н.и.т., и.в. дотсент                                                                       | к.т.н., и.о. доцента                             | Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor                                           |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ                                                            | ТТУ имени академика М.С. Осими                   | TTU named after academician M.S. Osimi                                                                |
| E-mail: <a href="mailto:khayrullo.khodzhanazarov@bk.ru">khayrullo.khodzhanazarov@bk.ru</a> |                                                  |                                                                                                       |
| 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: <a href="mailto:ird-78@mail.ru">ird-78@mail.ru</a>                                 |                                                  |                                                                                                       |
| TJ                                                                                         | RU                                               | EN                                                                                                    |
| Умаров Мирали Ашуралиевич                                                                  | Умаров Мирали Ашуралиевич                        | Umarov Mirali Ashuralievich                                                                           |
| н.и.т., дотсент                                                                            | к.т.н., доцент                                   | Ph.D., associate professor                                                                            |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ                                                            | ТТУ имени академика М.С. Осими                   | TTU named after academician M.S. Osimi                                                                |
| E-mail: <a href="mailto:miraliumarovg@mail.com">miraliumarovg@mail.com</a>                 |                                                  |                                                                                                       |

## ТАЪСИРИ ЭРБИЙ БА ХУСУСИЯТИ АНОДИИ ХҶЛАИ $Zn_{0.5}Al$ , ДАР МУҲИТИ КОРРОЗИОНИИ $HCl$

<sup>1</sup>У.Р. Ҷобиров, <sup>2</sup>И.Н. Ганиев, <sup>3</sup>З.Р. Обидов

<sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни

<sup>2</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳқиқоти рафтори анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки бо эрбий ҷавҳаронидашуда, бахшида шудааст. Ба сифати муҳити коррозиони таҳқиқот муҳити кислотагӣ ( $HCl$ ) интихоб карда шудааст. Бо иловакунии эрбий ( $0.01 \div 1.0\%$ ) ба хӯлаи аввалия намунаҳои гуногунтаркиби хӯла ҳосил карда шудааст. Таҳқиқоти рафтори анодии ин хӯлаҳо бо усули потенциостатикӣ анҷом дода шудааст. Бо афзоиши консентратсияи  $HCl$  ( $0.001 \div 0.1N$ ) дар муҳити кислотагӣ суръати коррозиони хӯлаҳо афзоиш меёбад. Ҳангоми ҷавҳарони хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо эрбий хосиятҳои зиддикоррозиони он тағйир меёбад. Иловаҳои эрбий ( $0.01 \div 0.1\%$ ) суръати коррозиони хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ -ро 2-3 маротиба кам мекунад.

**Калидвожаҳо:** хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , эрбий, усули потенциостатикӣ, муҳити кислотагӣ, потенциалҳои коррозия, суръати коррозия, рафтори анодӣ.

## ВЛИЯНИЕ ЭРБИЯ НА АНОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВА $Zn_{0.5}Al$ , В КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЕ $HCl$

У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов

Статья посвящена исследованию анодного поведения сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного эрбием. В качестве коррозионной среды для исследования была выбрана кислая среда ( $HCl$ ). Путем добавления эрбия ( $0.01 \div 1.0\%$ ) к исходному сплаву были получены образцы сплава различного состава. Исследование анодного поведения этих сплавов проводилось потенциостатическим методом. С увеличением концентрации  $HCl$  ( $0.001 \div 0.1N$ ) в кислой среде скорость коррозии сплавов увеличивается. При легировании сплава  $Zn_{0.5}Al$  эрбием изменяются его антикоррозионные свойства. Добавки эрбия ( $0.01 \div 0.1\%$ ) снижают скорость коррозии сплава  $Zn_{0.5}Al$  в 2–3 раза.

**Ключевые слова:** сплав  $Zn_{0.5}Al$ , эрбий, потенциостатический метод, кислая среда, потенциалы коррозии, скорость коррозии, анодное поведение.

## EFFECT OF ERBIUM ON ANODIC CHARACTERISTICS OF $Zn_{0.5}Al$ ALLOY IN CORROSIVE $HCl$ ENVIRONMENT

U.R. Jobirov, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov

The article is devoted to the study of the anodic behavior of the  $Zn_{0.5}Al$  alloy doped with erbium. An acidic medium ( $HCl$ ) was chosen as the corrosion medium for the study. By adding erbium ( $0.01 \div 1.0\%$ ) to the initial alloy, alloy samples of different compositions were obtained. The anodic behavior of these alloys was studied using the potentiostatic method. With increasing  $HCl$  concentration ( $0.001 \div 0.1N$ ) in an acidic environment, the corrosion rate of the alloys increases. When alloying the  $Zn_{0.5}Al$  alloy with erbium, its anticorrosive properties change. Erbium additives ( $0.01 \div 0.1\%$ ) reduce the corrosion rate of the  $Zn_{0.5}Al$  alloy by 2–3 times.

**Keywords:**  $Zn_{0.5}Al$  alloy, erbium, potentiostatic method, acidic environment, corrosion potentials, corrosion rate, anodic behavior.

### Муқаддима

Яке аз якчанд вазифаҳои калидие, ки аз қарори истеҳсолот бармеояд, бештар ба усулҳои самараноки истифодабарии масолеҳи ҳосилмешуда аз пӯлодҳои карбондор нигаронида шудааст, ки ин асоснок ба тариқи максималӣ кутоҳкунии талафоти масолеҳ аз вайроншавӣ дар натиҷаи таъсири коррозия мебошад. Ҳангоми мунтазам истифодабарии маснуоти гуногуни пӯлодии карбондор дар соҳаи мошинсозӣ муҳофизати мустаҳками зиддикоррозиони тақозо менамояд. Сатҳи рушди мошинсозӣ дар мақсад ҳосилнокии меҳнат, сифати маҳсулоти соҳаҳои гуногуни саноатӣ ва суръати рушди пешрафти техникаро муайян менамояд [1-6].

Металлургияи сиёҳ, ки пӯлод ва ҷўянро истеҳсол менамояд, то имрӯз ҳамчун заминаи асосии масолеҳи мошинсозӣ хизмат мерасонад. Ин масолеҳҳо бисёр сифатҳои мусбӣ хуб доранд ва дар навбати аввал мустаҳкамии баланди конструксионии ҷузъҳои мошин ва маснуотро таъмин менамоянд. Вале ин масолеҳҳои маъмулӣ норасоҳои зеринро мисли зичии калон ва камустувории коррозиони доранд. Талафоти истеҳсоли солони маснуот аз пӯлод ва ҷўян аз таъсири коррозия 20%-ро ташкил медиҳад. Аз рӯи маълумоти таҳқиқотҳои илмӣ, пас аз гузашти 20-40 сол ҳама мамлакатҳои тараққиёфта ба истифодабарии ҳаҷмноки хӯлаҳои металли таъиноти махсус мегузаранд [7-12].

Ҳамин тавр, дар илми коррозия, фаҳмиши умумӣ оид ба ҳолати пассивнокӣ яке аз ҷойҳои марказиро ишғол мекунад, зеро нақши муҳими ин ҳолат дар амалияи истеҳсоли аҳамиятнок мебошад. Аксарияти кулли масолеҳи конструксионӣ, хусусан пӯлоди карбондор, дар муҳитҳои барангезандаи коррозиони гуногун аз сабаби қобилияти ба ҳолати пассивнокӣ гузаштан, тобоварии қаноатбахши коррозионӣ нишон медиҳанд. Аз ин рӯ, кӯшиш барои дарк кардани хусусияти ин ҳолат, механизм ва истифодаи мақсадноки он дар амалияи муҳандисӣ, тавачҷуҳи доимии муҳаққиқонро ба омӯзиши ҳолати пассивнокӣ ҷалб менамояд. Зеро амалан муайянкунии сабабҳои талафоти коррозионӣ имкон медиҳад, ки усули муҳофизати маснуоти аз пӯлоди карбондор ва хӯлаҳои металли сохташуда дуруст интихоб карда шавад.

### Маводҳо ва усули таҳқиқот

Пеш аз ҳосилкунии хӯлаҳои секомпонента мувофиқи мақсад аст, ки лигатураҳои дукомпонентии таркиби муайян бо дарназардошти ҳарорати гудозиш, тақсимшавии якҷоя ва гудохташавии байникомпонентӣ пешакӣ муайян карда шуда, лигатураҳои дукомпонентии таркиби муносиб ё муайяншуда ҳосил карда шаванд. Барои ин, бояд фоизи компонентҳои таркиби лигатураҳои хӯлаҳоро аз рӯи диаграммаи ҳолати онҳо [13] интихоб намуд. Дар натиҷа, мумкин аст лигатураҳои ду ё секомпонентии эвтектикӣ бо ҳарорати паст ҳосил шаванд. Намунаи хӯлаҳо ҳамчун объекти таҳқиқ дар кӯраи коншакл (СШОЛ) бо истифодаи метали руҳ (ТХ), алюминий (А7) ва лигатураи он, ки 10% эрбий дорад, зеро қабати флюс бо таркиби муайяни  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ва  $\text{ZnCl}_2$  (0.1÷0.2%) дар ҳудуди ҳарорати 700÷850°C ҳосил карда шуданд. Лигатураҳои Al-Er қаблан дар кӯраи намуди СНВЭ-1.3.1/16ИЗ омода карда шуданд. Ҳамин тавр, методикаи таҳқиқот ба таври муфассал дар қорҳои [14-16] баён шудааст.

Таҳқиқоти потенциодинамики рафтори анодии хӯлаҳои  $\text{Zn}_0.5\text{Al-Er}$  бо истифода аз дастгоҳи потенциостат гузаронида шуд. Суръати тобиши потенциали электродӣ ҳангоми поляризацияи потенциодинамикӣ 2мВ/сонияро ташкил дод. Таҳқиқотҳо дар муҳити кислотагӣ бо қиматҳои гуногуни консентратсияи (0.001н., 0.01н., 0.1н.) электролити қавии HCl анҷом дода шуданд. Барои ченкунии фарқи потенциалҳои электродии намунаҳои хӯла аз электродҳои муқоисавӣ (хлориднуқрагӣ) ва ёрирасон (платинавӣ) истифода бурда шуд. Қисмҳои канории намунаҳои хӯла бо лакҳои ба коррозия устувор мунзавӣ карда шуд.

### Натиҷаҳои таҳқиқот ва муҳокима

Натиҷаҳои таҳқиқоти раванди коррозияи озод, бе истифода аз ҷараёни электрикӣ дар занҷири ячейкаи электролитӣ, барои намунаҳои хӯлаи  $\text{Zn}_0.5\text{Al}$ , ки бо эрбий ҷавҳаронидашуда, мушоҳида карда шуд. Бо гузашти вақти таҷрибагузаронӣ тағйироти мусбии потенциали коррозияи озоди хӯла мушоҳида мешавад. Қимати  $E_{к.о.}$  хӯлаи  $\text{Zn}_0.5\text{Al}$ , ки бо эрбий ҷавҳаронидашуда, бо зиёд шудани мавҷудияти ионҳои хлорид дар электролити қавӣ ба самти қиматҳои манфӣ ҷойиваз мешавад. Муайян карда шуд, ки дар натиҷаи нигоҳдории намунаҳои хӯла дар муҳитҳои фаъол-барангезандаи коррозионӣ ва ҷавҳаронии хӯла бо миқдорҳои гуногуни эрбий, ин потенциал ба самти қиматҳои мусбӣ ҳаракат мекунад. Доимияти потенциалҳои муайяншуда, ки бо тағйирёбии раванди коррозионӣ шарҳ дода мешавад, дар давоми 30–60 дақиқа таҳқиқ карда шудааст, ки доимияти қиматҳои  $E_{к.о.}$  дар муҳитҳои кислотагӣ аз 35 дақиқа оғоз мешавад (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1 – Қиматҳои  $E_{к.о.}$  барои хӯлаҳои  $\text{Zn}_0.5\text{Al-Er}$  дар муҳитҳои HCl

| Вақти таҷриба,<br>дақиқа | Иловаҳои эрбий дар хӯла, %-и вазн |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | -                                 | 0.01  | 0.05  | 0.1   | 0.5   | 1.0   |
|                          | муҳит, 0.001н.                    |       |       |       |       |       |
| 1/3                      | 1.066                             | 0.987 | 0.995 | 1.008 | 1.026 | 1.056 |
| 2/3                      | 1.064                             | 0.986 | 0.993 | 1.008 | 1.025 | 1.056 |
| 1                        | 1.065                             | 0.985 | 0.993 | 1.007 | 1.025 | 1.055 |
| 5                        | 1.049                             | 0.973 | 0.981 | 0.999 | 1.011 | 1.042 |
| 15                       | 1.046                             | 0.963 | 0.974 | 0.983 | 1.004 | 1.031 |
| 35                       | 1.045                             | 0.950 | 0.960 | 0.975 | 0.995 | 1.020 |
| 50                       | 1.045                             | 0.950 | 0.960 | 0.975 | 0.995 | 1.020 |
| 60                       | 1.045                             | 0.950 | 0.960 | 0.975 | 0.995 | 1.020 |

| муҳит, 0.01н. |       |       |       |       |       |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1/3           | 1.123 | 1.042 | 1.056 | 1.074 | 1.094 | 1.104 |
| 2/3           | 1.122 | 1.041 | 1.055 | 1.073 | 1.094 | 1.102 |
| 1             | 1.117 | 1.040 | 1.055 | 1.071 | 1.092 | 1.102 |
| 5             | 1.115 | 1.032 | 1.043 | 1.061 | 1.083 | 1.098 |
| 15            | 1.111 | 1.024 | 1.033 | 1.056 | 1.074 | 1.090 |
| 35            | 1.110 | 1.015 | 1.025 | 1.040 | 1.060 | 1.085 |
| 50            | 1.110 | 1.015 | 1.025 | 1.040 | 1.060 | 1.085 |
| 60            | 1.110 | 1.015 | 1.025 | 1.040 | 1.060 | 1.085 |
| муҳит, 0.1н.  |       |       |       |       |       |       |
| 1/3           | 1.211 | 1.115 | 1.133 | 1.158 | 1.176 | 1.190 |
| 2/3           | 1.210 | 1.115 | 1.132 | 1.158 | 1.174 | 1.190 |
| 1             | 1.209 | 1.114 | 1.130 | 1.156 | 1.174 | 1.189 |
| 5             | 1.201 | 1.103 | 1.122 | 1.143 | 1.163 | 1.180 |
| 15            | 1.191 | 1.097 | 1.114 | 1.135 | 1.155 | 1.174 |
| 35            | 1.190 | 1.090 | 1.105 | 1.120 | 1.140 | 1.165 |
| 50            | 1.190 | 1.090 | 1.105 | 1.120 | 1.140 | 1.165 |
| 60            | 1.190 | 1.090 | 1.105 | 1.120 | 1.140 | 1.165 |

Ҳангоми поляризацияи потенциодинамикӣ қачхатҳои анодӣ сабт карда шуданд. Аз ин қачхатҳо хусусиятҳои анодии ҳулаҳо муайян карда шуданд. Раванди ҳалшавии анодӣ барои ҳар як ҳулаи бо эрбий чавҳаронидашуда дар муҳити коррозиони HCl нишон дода шудааст. Майлдиҳии мусбии потенциалҳои коррозионӣ барои ҳар як ҳулаи бо эрбий чавҳаронидашуда дар қачхатҳои анодӣ инъикос гардидааст. Иловакунии эрбий ба ҳулаи Zn0.5Al бо концентратсияҳои гуногун боиси тағйирдиҳии потенциалҳои  $E_{к.}$ ,  $E_{п.х.}$ ,  $E_{рп.}$  ба самти мусбии қиматҳо мегардад. Тағйирёбии потенциалҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ ба баландшавии устувории анодии ҳулаҳо таъсири мусбат мерасонад. Таъсири назарраси эрбий (зиёда аз 0.5%) дар ҳолати афзоиши миқдори он дар ҳула мушоҳида мешавад. Иловаҳои 0.5 ва 1.0% эрбий ба ҳулаи Zn0.5Al боис мегардад, ки қиматҳои потенциалҳои коррозиониро манфатар нишон диҳанд, вале дар ин маврид ҳам қиматҳои манфӣ танҳо ба ҳулаи Zn0.5Al рост меояд. Ин ҳолати ноустувории анодӣ ё майлқунии ин потенциалҳо ба самти қиматҳои манфӣ дар маҳлули 0.1н. HCl бештар назаррас аст. Раванди коррозиони бухронӣ зимни ҳалшавии анодии ҳулаи 1.0% эрбийдошта махсус инъикос меёбад, ки ин раванд бо қиматҳои манфии потенциалҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ ҳангоми поляризациякунӣ аниқгардида шарҳ дода мешавад. Қиматҳои мусбии потенциалҳои коррозионӣ танҳо ба ҳулаҳои бо эрбий чавҳаронидашуда ба қайд гирифта шудааст, ки суръати коррозияи ҳулаҳо 2-3 маротиба кам мешавад (ҷадвали 2).

Ҷадвали 2 – Қимати бузургҳои раванди коррозионӣ барои ҳулаҳои бо эрбий чавҳаронидашудаи Zn0.5Al, дар муҳитҳои фаёол-барангезандаи HCl

| Бузургҳои раванди коррозионӣ     | иловаҳои $E_{г}$ дар ҳула, %-и вазн |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | -                                   | 0.01  | 0.05  | 0.1   | 0.5   | 1.0   |
|                                  | муҳит, 0.001н.                      |       |       |       |       |       |
| $-E_{к.о.}, В$                   | 1.045                               | 0.950 | 0.960 | 0.975 | 0.995 | 1.020 |
| $-E_{к.}, В$                     | 1.051                               | 0.956 | 0.966 | 0.981 | 1.001 | 1.026 |
| $-E_{п.х.}, В$                   | 0.912                               | 0.861 | 0.870 | 0.890 | 0.897 | 0.910 |
| $-E_{рп.}, В$                    | 0.921                               | 0.867 | 0.878 | 0.895 | 0.908 | 0.917 |
| $i_{к.} \cdot 10^2, А/м^2$       | 0.136                               | 0.109 | 0.114 | 0.118 | 0.123 | 0.125 |
| $K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$ | 1.65                                | 1.33  | 1.39  | 1.44  | 1.50  | 1.52  |
| муҳит, 0.01н.                    |                                     |       |       |       |       |       |
| $-E_{к.о.}, В$                   | 1.110                               | 1.015 | 1.025 | 1.040 | 1.060 | 1.085 |
| $-E_{к.}, В$                     | 1.118                               | 1.023 | 1.033 | 1.048 | 1.068 | 1.093 |
| $-E_{п.х.}, В$                   | 0.980                               | 0.900 | 0.915 | 0.940 | 0.957 | 0.970 |
| $-E_{рп.}, В$                    | 0.995                               | 0.907 | 0.928 | 0.955 | 0.968 | 0.987 |
| $i_{к.} \cdot 10^2, А/м^2$       | 0.154                               | 0.126 | 0.130 | 0.133 | 0.142 | 0.143 |
| $K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$ | 1.87                                | 1.54  | 1.58  | 1.62  | 1.73  | 1.74  |
| муҳит, 0.1н.                     |                                     |       |       |       |       |       |
| $-E_{к.о.}, В$                   | 1.190                               | 1.090 | 1.105 | 1.120 | 1.140 | 1.165 |
| $-E_{к.}, В$                     | 1.195                               | 1.100 | 1.110 | 1.125 | 1.145 | 1.170 |

Анҷоми ҷадвали 1

|                                         |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $-E_{\text{тх.}}$ , В                   | 1.030 | 0.970 | 0.975 | 0.983 | 1.000 | 1.020 |
| $-E_{\text{рп.}}$ , В                   | 1.036 | 0.977 | 0.988 | 0.991 | 1.011 | 1.028 |
| $i_k \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>     | 0.178 | 0.148 | 0.150 | 0.153 | 0.166 | 0.169 |
| $K \cdot 10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·соат | 2.17  | 1.80  | 1.83  | 1.86  | 2.02  | 2.06  |

## Хулоса

Потенциалҳои коррозионӣ ва нишондиҳандаи устуворӣ нисбат ба питтингҳосилшавӣ барои ҳулаҳои таҳқиқшуда имкон медиҳанд, ки дараҷаи устувории анодии зиддикоррозионии онҳо ба таври возеҳ арзёбӣ карда шавад. Иловаҳои ҷавҳаронии эрбий суръати коррозияи ҳулаи Zn0.5Al-ро то андозае коҳиш медиҳанд. Хусусан ҳулаҳои бо эрбий камҷавҳаронидашуда нисбат ба ҳулаҳои бо эрбий зиёдҷавҳаронидашуда дар муҳитҳои коррозионии HCl устувории анодиро бештар нишон медиҳанд. Суръатҳои минималии коррозия дар муҳити кислотагӣ ба ҳулаҳои 0.01÷0.1% эрбийдошта мувофиқат мекунад. Бо афзоиши миқдори эрбий дар ҳулаи Zn0.5Al, хусусиятҳои анодӣ то андозае ба самти қиматҳои манфӣ ҷойиваз мешаванд. Ҳулаҳои 0.5 ва 1.0% эрбийдошта ҳамчун ҳулаҳои анодӣ тавсия намешаванд.

*Муқаррир: Самихзода Ш.Ф. – д.и.т., профессор, мудири кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*

## Адабиёт

1. Чумак, Н.Г. Материалы и технология машиностроения / Н.Г. Чумак. – М.: Машиностроение, 1979. – 158 с.
2. Бернштейн, М.Л. Металловедение и термическая обработка стали / М.Л. Бернштейн, А.Г. Рахштадта. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Obidov, Z.R. High temperature and electrochemical corrosion of Zn0.5Al alloy doped with calcium in various media / Obidov Z.R., Amini R., Nazarov O.N., Dzhayloev Ja.Kh., Ganiev I.N., Usmanov R. // ChemChemTech. – 2020. – V. 63. – №. 11. – P. 29-36.
4. Виткин, А.И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали / А.И. Виткин, И.И. Тейндл. – М.: Металлургия, 1971. – 494 с.
5. Олимов, Н.С. Окисление сплавов системы Al-Ge в жидком состоянии / Н.С. Олимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, М.Ч. Ширинов // Расплавы. – 2015. - № 4. – С. 19-26.
6. Ҷамрокул, Ф. Таҳқиқи хосиятҳои механикии ҳулаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда / Ф. Ҷамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. ДТТ. – 2025. – № 3 (71). – С. 59-63.
7. Кечин, В.А. Цинковые сплавы / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. – М.: Металлургия, 1986. – 247 с.
8. Пономарева, А.А. Современное состояние промышленности по обработке цинка за рубежом / А.А. Пономарева, Б.И. Пучков. – М.: Цветметинформация, 1977. – 51 с.
9. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn5Al, Zn55Al, легированных стронцием / З.Р. Обидов // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 3. – С. 305-308.
10. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных барием / З.Р. Обидов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2015. – № 31 (57). – С. 51-54.
11. Фирузи, Ҳ. Таъсири неодим ба кинетикаи оксидшавии ҳулаи Zn0.5Al / Ҳ. Фирузи, И. Н. Ганиев, З. Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Бахши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2025. – No. 3(71). – P. 54-58. – EDN LNDQJK.
12. Ганиев, И.Н. Влияние галлия на потенциал коррозии цинка, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Г.М. Атоев, Р.Д. Исмонов, П.Н. Абдухоликова, М.А. Умаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. - №2(70). – С. 79-83.
13. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1979. - 604 с.
14. Обидов, З.Р. Анодные защитные цинк-алюминиевые покрытия с элементами II группы / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Изд. дом: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2012. – 288 с.

15. Ганиев, И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах / И.Н. Ганиев, Т.М. Умарова, З.Р. Обидов. – Изд. дом: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 208 с.

16. Обидов, З.Р. Анодное поведение сплавов Zn5Al, Zn55Al, легированных кальцием, в растворах NaCl / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, Д.Н. Алиев, Н.И. Ганиева // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – № 6. – С. 962-965.

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

| TJ                                                                                                         | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цобиров Умед Рустамович<br>докторанти PhD                                                                  | Джобиров Умед Рустамович<br>PhD докторант                                                                         | Jobirov Umed Rustamovich<br>PhD doctoral student                                                                                     |
| Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни                                             | Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни                                               | Tajik State Pedagogical University named after Sadriddin Ayni                                                                        |
| E-mail: <a href="mailto:firuzih@mail.ru">firuzih@mail.ru</a>                                               |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |
| TJ                                                                                                         | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
| Ганиев Изатулло Наврузович<br>Академики Академии миллии илмҳои Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор | Ганиев Изатулло Наврузович<br>Академик Национальной академии наук Таджикистана, доктор химических наук, профессор | Ganiev Izatullo Navruzovich<br>Academician 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 имени академика М.С. Осими                                                     | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi                                                                        |
| E-mail: <a href="mailto:ganiev48@mail.ru">ganiev48@mail.ru</a>                                             |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |
| TJ                                                                                                         | RU                                                                                                                | EN                                                                                                                                   |
| Обидов Зиёдулло Раҳматович<br>Доктори илмҳои химия, профессор                                              | Обидов Зиёдулло Раҳматович<br>Доктор химических наук, профессор                                                   | Obidov Ziyodullo Rahmatovich<br>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: <a href="mailto:obidovzr@gmail.com">obidovzr@gmail.com</a>                                         |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |
| <a href="https://orcid.org/0000-0001-9289-8265">https://orcid.org/0000-0001-9289-8265</a>                  |                                                                                                                   |                                                                                                                                      |

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛИКВИДУСА И СБОРКА 3D МОДЕЛИ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ Ge-Ag-Tl

<sup>1</sup>Т.Д. Джураев, <sup>1</sup>Р.А. Нимонов, <sup>2</sup>А.Э. Зеленая, <sup>2</sup>В.И. Луцык, <sup>2</sup>М.Д. Парфенова

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

<sup>2</sup>Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии

В работе для определения координат тройных эвтектик был применен метод компьютерного моделирования построением пространственной трехмерной модели Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl, представленной в 3D модели реальной системы в соответствии с основными принципами геометрической термодинамики (правилами фаз и соприкасающихся пространств состояний).

**Ключевые слова:** серебро, германий, таллий, визуализация, ликвидус, солидус, эвтектическая точка, модель трехкомпонентной диаграммы состояния, компьютерное моделирование.

## ОМУЗИШИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛИИ САТҲИ ЛИКВИДУС ВА СОХТАНИ МОДЕЛИ 3D-и ДИАГРАММАИ ФАЗАВИИ СЕЧАНДАИ Ge-Ag-Tl

Т.Д. Джураев, Р.А. Нимонов, В.И. Лутсик, А.Э. Зеленая, М.Д. Парфенова

Барои муайян намудани координатаҳои эвтектикаи сечанда, усули моделиронии компютерӣ барои сохтани фазои модели сечандаи Т-х-у диаграммаи системаи сечандаи Ge-Ag-Tl, ки дар модели 3D-и системаи реалӣ мувофиқи принципҳои асосии термодинамикаи геометрӣ (қоидаҳои фазаҳо ва фазоҳои ҳолати ҳамхӯд) оварда шудаанд.

**Калидвожаҳо:** нуқра, германий, таллий, намоиши визуалӣ, ликвидус, солидус, нуқтаи эвтектикӣ, модели диаграммаи ҳолати сечанда, моделиронии компютерӣ.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE LIQUIDUS SURFACE AND ASSEMBLY OF A 3D MODEL OF THE PHASE DIAGRAM OF THE Ge-Ag-Tl SYSTEM

T.D. Juraev, R.A. Nimonov, V.I. Lutsyk, A.E. Zelenaya, M.D. Parfenova

To determine the coordinates of ternary eutectics, a computer modeling method was used to construct a spatial three-dimensional model of the T-x-y diagram of the ternary Ge-Ag-Tl system, presented in a 3D model of the real system in accordance with the basic principles of geometric thermodynamics (phase rules and contact state spaces).

**Keywords:** silver, germanium, thallium, visualization, liquidus, solidus, eutectic point, three-component state diagram model, computer modeling.

### Введение

Благодаря высокой тепло- и электропроводности серебро и сплавы на его основе широко применяются при изготовлении электрических и электронных контактов. Кроме того, серебро, являясь благородным металлом, применяется при изготовлении ювелирных изделий. Известно, что добавка малого количества германия в сплав серебра замедляет скорость реакции серебра с халькогенами, тем самым ослабляет эффект потускнения в ювелирных изделиях [1].

Для создания новых легкоплавких составов сплавов-припоев, которые могут быть использованы для пайки элементов ювелирных изделий на основе серебра с германием, используется дополнительное легирование. Таким легирующим компонентом в данном случае является таллий, который образует как с серебром, так и с германием диаграммы состояния с эвтектическими невариантными превращениями.

Анализ справочной литературы [2] по двойным диаграммам состояния систем Ag-Ge, Ag-Tl и Ge-Tl показал, что таковые построены: в системе Ag-Ge эвтектическое равновесие наблюдается при температуре 651°C и содержании 75.5% (ат.) Ag; в системе Ag-Tl – при 291°C и 97.4% (ат.) Tl; а в системе Ge-Tl эвтектическая точка почти вырождена и смещена к температуре плавления Tl, её координаты образования соответствуют 304°C и концентрации 0.04% (ат.) Ge. Эти сведения способствуют научной разработке и практическому получению более сложных легкоплавких трехкомпонентных сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, вытекающие в процесс изучения взаимодействия компонентов и его графическое изображение в виде построения поверхности ликвидуса указанной системы. Целью данной работы явилось построение Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl для визуализации и уточнения протекающих в ней физико-химических процессов.

### Материалы и методы исследования

Для построения поверхности ликвидуса системы Ag-Ge-Tl применен метод планирования эксперимента в многокомпонентных системах [3, 4]. Метод использует симплекс-решетчатое

планирование с описанием изучаемого свойства в виде полиномов Шеффе. Алгоритмом служила приводимая модель 4-ой степени для тройной системы [3]. В качестве функции отклика ( $Y_i$ ) были выбраны температуры плавления компонентов и сплавов, определяемые из литературных данных [2]. Код и номер компонента обозначены как  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$  – значения температур плавления компонентов;  $Y_{12}$ ,  $Y_{13}$ ,  $Y_{23}$ ,  $Y_{1112}$ ,  $Y_{1222}$ ,  $Y_{1113}$ ,  $Y_{1333}$ ,  $Y_{2223}$  и  $Y_{2333}$  – значения температур плавления двойных сплавов;  $Y_{1123}$ ,  $Y_{1223}$  и  $Y_{1233}$  – экспериментально определяемые значения температур плавления тройных сплавов. Все перечисленные обозначения являются общими для плана четвертого порядка (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица планирования и результаты эксперимента системы Ag-Ge-Tl

| №/№<br>п/п | Код<br>сплава | Состав сплавов                     |       |       |                                 |     |     | Температура<br>ликвидуса, °С |
|------------|---------------|------------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-----|-----|------------------------------|
|            |               | в кодовом масштабе, доли<br>единиц |       |       | в натуральном<br>выражении ат.% |     |     |                              |
|            |               | $x_1$                              | $x_2$ | $x_3$ | Ag                              | Ge  | Tl  |                              |
| 1.         | $y_1$         | 1.0                                | 0.0   | 0.0   | 100                             | 0   | 0   | 961                          |
| 2.         | $y_2$         | 0.0                                | 1.0   | 0.0   | 0                               | 100 | 0   | 938                          |
| 3.         | $y_3$         | 0.0                                | 0.0   | 1.0   | 0                               | 0   | 100 | 304                          |
| 4.         | $y_{12}$      | 0.5                                | 0.5   | 0.0   | 50                              | 50  | 0   | 792                          |
| 5.         | $y_{13}$      | 0.5                                | 0.0   | 0.5   | 50                              | 0   | 50  | 680                          |
| 6.         | $y_{23}$      | 0.0                                | 0.5   | 0.5   | 0                               | 50  | 50  | 810                          |
| 7.         | $y_{1112}$    | 0.75                               | 0.25  | 0.00  | 75                              | 25  | 0   | 655                          |
| 8.         | $y_{1222}$    | 0.25                               | 0.75  | 0.00  | 25                              | 75  | 0   | 867                          |
| 9.         | $y_{1113}$    | 0.75                               | 0.00  | 0.25  | 75                              | 0   | 25  | 775                          |
| 10.        | $y_{1333}$    | 0.25                               | 0.00  | 0.75  | 25                              | 0   | 75  | 495                          |
| 11.        | $y_{2223}$    | 0.00                               | 0.75  | 0.25  | 0                               | 75  | 25  | 840                          |
| 12.        | $y_{2333}$    | 0.00                               | 0.25  | 0.75  | 0                               | 25  | 75  | 760                          |
| 13.        | $y_{1123}$    | 0.50                               | 0.25  | 0.25  | 50                              | 25  | 25  | 775                          |
| 14.        | $y_{1223}$    | 0.25                               | 0.50  | 0.25  | 25                              | 50  | 25  | 760                          |
| 15.        | $y_{1233}$    | 0.25                               | 0.25  | 0.50  | 25                              | 25  | 50  | 720                          |

Сплавы для исследования весом до 100 грамм готовили в индукционной печи РЭЛТЕК с использованием графито-шамотного тигля. Шихтовыми материалами служили: серебро чистотой 99.99 (ГОСТ 28058-2015), германий марки 99.99 (ГОСТ 16153-80), талий марки Тл00 чистотой 99.99 (ГОСТ 18337-95). Температура контролировалась хромель алюмелевой термопарой. Для предотвращения окисления расплав покрывался порошком из графитного боя. Химический состав полученных сплавов контролировался на рентгеновском флуоресцентном микроспектрометре «Спектромидекс» производства Германии, а также взвешиванием до и после сплавления с точностью  $0.1 \cdot 10^{-6}$ . Температуру плавления каждого сплава определяли на двух параллельных образцах и брали среднеарифметическое значение при охлаждении.

## Результаты

Данные для расчета Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl приведены на рисунке 1 и в таблице 1, по которым получено следующее уравнение для построения поверхности ликвидуса:

$$y = 961x_1 + 938x_2 + 304x_3 - 630x_1x_2 + 190x_1x_3 + 756x_2x_3 - 1192x_1x_2(x_1 - x_2) - 258.667x_1x_3(x_1 - x_3) - 1264x_2x_3(x_2 - x_3) - 1501.33x_1x_2(x_1 - x_2)^2 - 706.667x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 733.33x_2x_3(x_2 - x_3)^2 + 7264x_1x_2x_3^2 - 6104x_1x_2x_3^2 - 2749.33x_1x_2x_3^2, \quad (1)$$

где  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  – содержание в сплавах Ag, Ge и Tl в атомных долях.

Полученное уравнение регрессии (1) позволяет не только предсказывать температуру начала кристаллизации сплавов данной системы без дополнительных экспериментов, но и определять области, линии и точки фазовых равновесий.

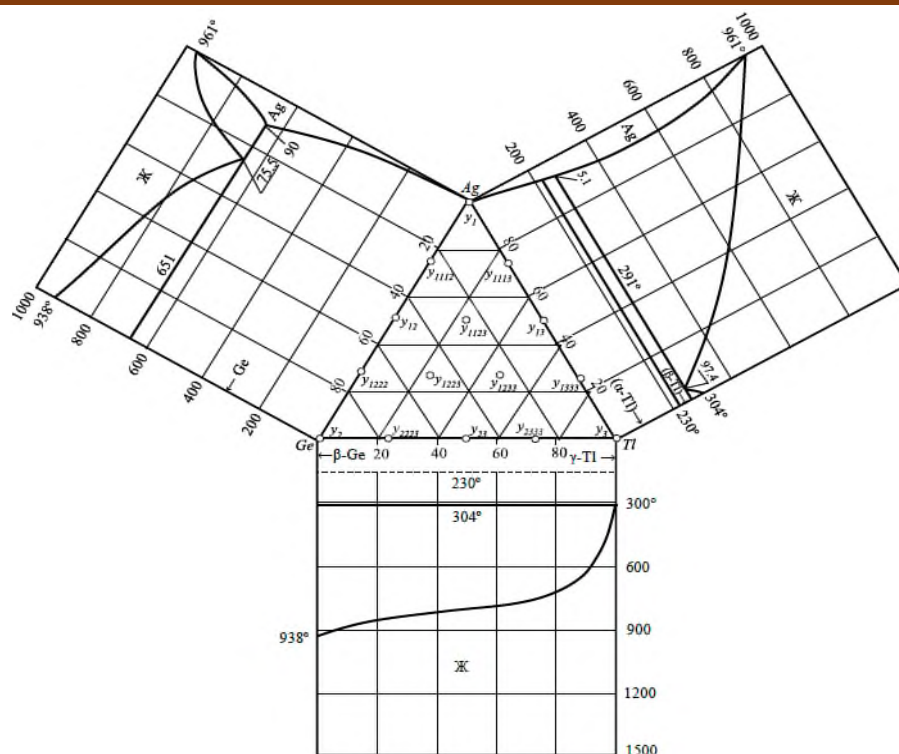


Рисунок 1 – Развёртка тройной системы Ag-Ge-Tl

Модель разрабатывалась для низкотемпературной части фазовой диаграммы: при её построении учитывалось образование одной низкотемпературной полиморфной модификации таллия, равной 230°C. Исходя из строения двойных диаграмм состояния систем Ag-Ge, Ag-Tl и Ge-Tl на линиях ликвидуса и солидуса при температурах 651 °C, 291 °C и 304 °C, соответственно (рис.1) образуются точки минимума, которые способствуют образованию тройной эвтектической точки.

На основе данных о строении бинарных систем (рис.1) и поверхностей ликвидуса (рис. 2) при помощи программы «Конструктор фазовых диаграмм» (разработка СКМ ИФМ СО РАН) [5-8] была построена T-x-y диаграмма тройной системы Ge-Ag-Tl (A-B-C) (рис. 3-7) с учетом одной низкотемпературной полиморфной модификации таллия С1.

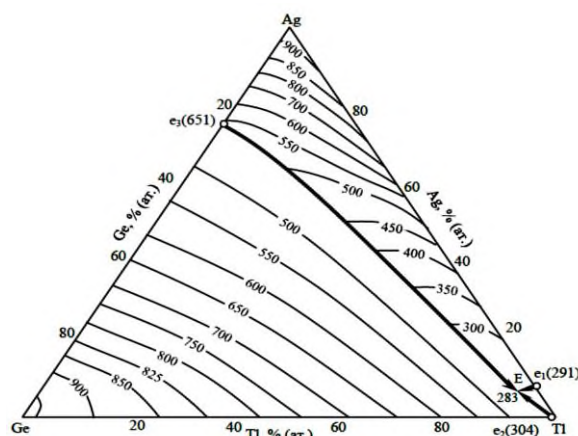


Рисунок 2 – Проекция поверхности ликвидуса тройной системы Ag-Ge-Tl

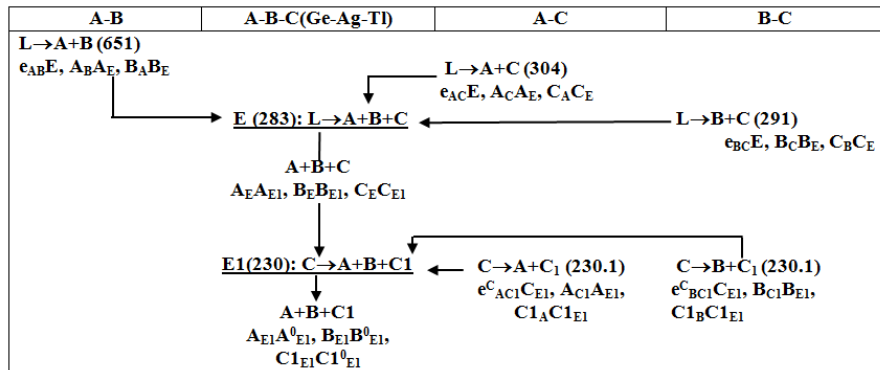


Рисунок 3 – Схема фазовых состояний (модернизированная схема фазовых реакций) с двумя эвтектоидными превращениями в системе Ge-Ag-Tl

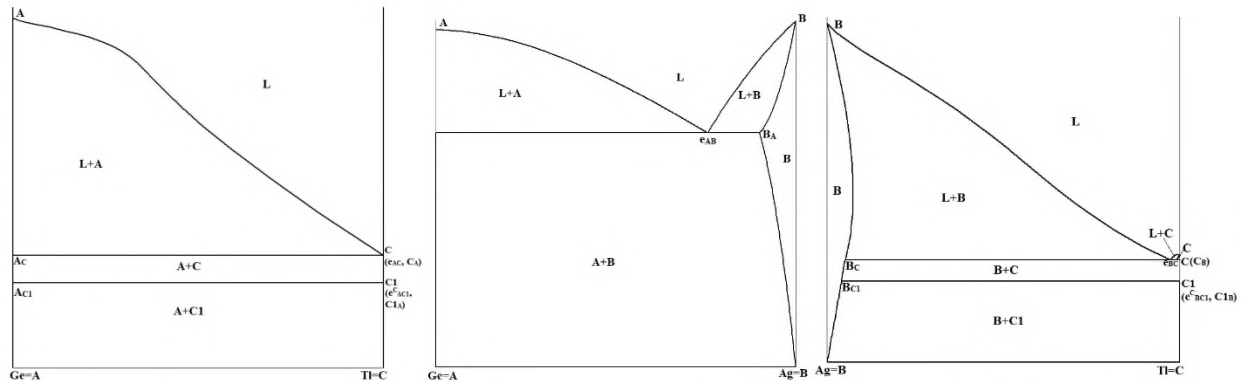


Рисунок 4 – Бинарные ограничения T-x-у диаграммы Ge-Ag-Tl (A-B-C)

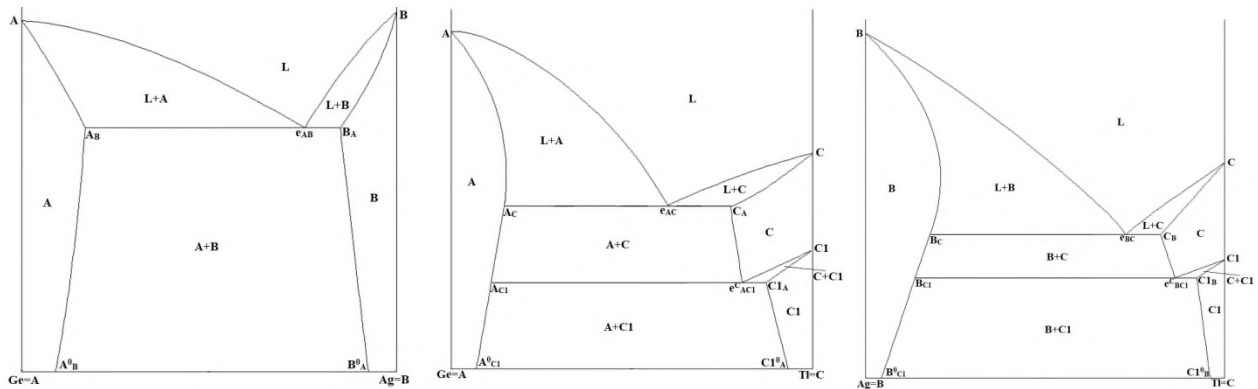


Рисунок 5 – Бинарные прототипы T-x-у диаграммы Ge-Ag-Tl (A-B-C)

### Обсуждение

Можно видеть (рис. 3-5), что аллотропия таллия проявляется в виде двух эвтектоидных реакций  $C \rightarrow A+C1$  в системе с Ge и реакции  $C \rightarrow B+C1$  в системе с Ag. Фазовые области, связанные с полиморфизмом, значительно усложняют строение фазовой диаграммы (рис. 4), а использование прототипа (рис. 5) дает возможность отобразить их более наглядно.

Из-за вырожденности линий солидуса и сольвуса не только компонента C (Tl), на 3D модели реальной системы в точке C также находятся точки  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $e_{AC}$ ,  $e_{AC1}^C$ . В точке C1 -  $C1_A$ ,  $C_{E1}$ ,  $e_{BC1}^C$ ,  $C1_B$ ,  $C1_{E1}$ . На x-y проекции диаграммы в точке C -  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $e_{AC}$ ,  $e_{AC1}^C$ , C1,  $C1_A$ ,  $C_{E1}$ ,  $e_{BC1}^C$ ,  $C1_B$ ,  $C1_{E1}$ ,  $C1_A^0$ ,  $C1_{E1}^0$ .

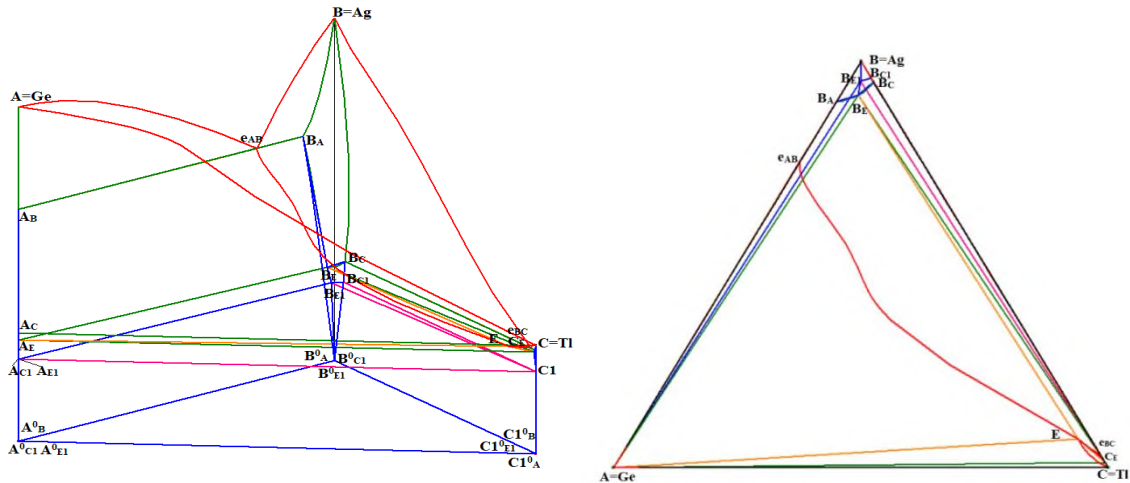


Рисунок 6 – 3D модель  $T$ - $x$ - $y$  диаграммы Ge-Ag-Tl (слева) -  $C$  ( $C_A, C_B, e_{AC}, e_{AC1}^C$ ),  $C1$  ( $C1_A, C_{E1}, e_{BC1}^C, C1_B, C1_{E1}$ ). Ее  $x$ - $y$  проекция (справа) –  $C$  ( $C_A, C_B, e_{AC}, e_{AC1}^C$ ,  $C1, C1_A, C_{E1}, e_{BC1}^C, C1_B, C1_{E1}, C1_A^0, C1_{E1}^0, C1_B^0$ )

Диаграмма строится по 36 базовым точкам (табл. 2), состоит из 47 поверхностей (табл. 3) [3 ликвидуса, 3 солидуса, 2 трансуса, 21 линейчатая поверхность, 8 горизонтальных симплексов] и 21 фазовой области (4 однофазные области, 3 двухфазные области с расплавом, 6 двухфазных областей без расплава, 3 трехфазные области с расплавом, 4 трехфазные области без расплава).

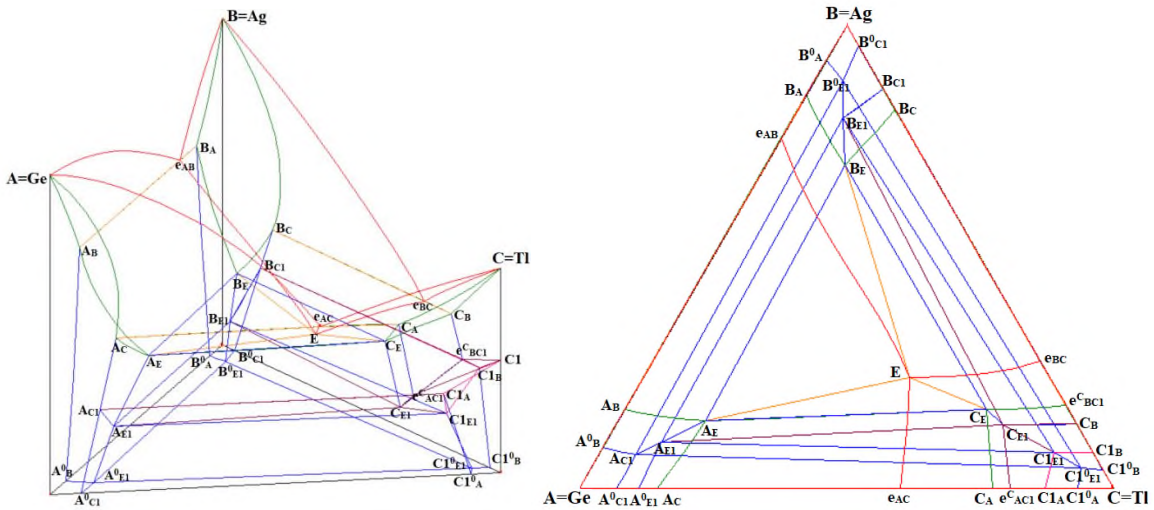


Рисунок 7 – 3D модель прототипа  $T$ - $x$ - $y$  диаграммы Ge-Ag-Tl (слева) и ее  $x$ - $y$  проекция (справа)

Таблица 2 – Координаты базовых точек диаграммы Ge-Ag-Tl

| № | Точка                 | $z_1$ | $z_2$ | $z_3$ | $T$ | №  | Точка                 | $z_1$ | $z_2$ | $z_3$ | $T$ |
|---|-----------------------|-------|-------|-------|-----|----|-----------------------|-------|-------|-------|-----|
| 1 | <b>A</b>              | 1     | 0     | 0     | 938 | 19 | <b>C<sub>E1</sub></b> | 0     | 0     | 1     | 230 |
| 2 | <b>B</b>              | 0     | 1     | 0     | 961 | 20 | <b>C1</b>             | 0     | 0     | 1     | 230 |
| 3 | <b>C</b>              | 0     | 0     | 1     | 304 | 21 | <b>A<sub>C1</sub></b> | 1     | 0     | 0     | 230 |
| 4 | <b>e<sub>AC</sub></b> | 0     | 0     | 1     | 304 | 22 | <b>C1<sub>A</sub></b> | 0     | 0     | 1     | 230 |
| 5 | <b>e<sub>BC</sub></b> | 0     | 0.025 | 0.975 | 291 | 23 | <b>B<sub>C1</sub></b> | 0     | 0.959 | 0.041 | 230 |
| 6 | <b>e<sub>AB</sub></b> | 0.245 | 0.755 | 0     | 651 | 24 | <b>C1<sub>B</sub></b> | 0     | 0     | 1     | 230 |
| 7 | <b>E</b>              | 0.025 | 0.075 | 0.9   | 283 | 25 | <b>B<sub>E1</sub></b> | 0.025 | 0.952 | 0.023 | 230 |
| 8 | <b>A<sub>B</sub></b>  | 1     | 0     | 0     | 651 | 26 | <b>A<sub>E1</sub></b> | 1     | 0     | 0     | 230 |

|    |             |       |       |       |     |    |             |   |   |   |     |
|----|-------------|-------|-------|-------|-----|----|-------------|---|---|---|-----|
| 9  | $V_A$       | 0.1   | 0.9   | 0     | 651 | 27 | $C1_{E1}$   | 0 | 0 | 1 | 230 |
| 10 | $A_C$       | 1     | 0     | 0     | 304 | 28 | $A^0_{E1}$  | 1 | 0 | 0 | 0   |
| 11 | $C_A$       | 0     | 0     | 1     | 304 | 29 | $B^0_{E1}$  | 0 | 1 | 0 | 0   |
| 12 | $V_C$       | 0     | 0.95  | 0.05  | 291 | 30 | $C1^0_{E1}$ | 0 | 0 | 1 | 0   |
| 13 | $C_B$       | 0     | 0     | 1     | 291 | 31 | $C1^0_A$    | 0 | 0 | 1 | 0   |
| 14 | $A_E$       | 1     | 0     | 0     | 283 | 32 | $C1^0_B$    | 0 | 0 | 1 | 0   |
| 15 | $V_E$       | 0.048 | 0.916 | 0.036 | 283 | 33 | $B^0_A$     | 0 | 1 | 0 | 0   |
| 16 | $C_E$       | 0     | 0.013 | 0.987 | 283 | 34 | $B^0_{C1}$  | 0 | 1 | 0 | 0   |
| 17 | $e^C_{AC1}$ | 0     | 0     | 1     | 230 | 35 | $A^0_B$     | 1 | 0 | 0 | 0   |
| 18 | $e^C_{BC1}$ | 0     | 0     | 1     | 230 | 36 | $A^0_{C1}$  | 1 | 0 | 0 | 0   |

Для геометрического представления полученной поверхности ликвидуса строили изотермы ликвидуса через каждые 50°C (две линии ликвидуса через 25°C, см. рис. 2). Результаты дифференциально-термического анализа (рис. 8) показали, что кривые охлаждения тройного сплава с образованием двойной и тройной эвтектик, состоящих из числа компонентов системы Ag-Ge-Tl, указывают на проявление двух термических эффектов: выделение первичных кристаллов и тройной эвтектики. Можно видеть (табл. 3), что тройная эвтектика образуется во всех тройных сплавах, кристаллизующихся при температуре 283°C. Природа первичных кристаллов и двойной эвтектики зависит от того, в какой области диаграммы будет находиться концентрационная точка сплава. Сплавы, отвечающие точкам E,  $V_E$  и  $V_{E1}$  состоят из тройных эвтектик. В этой системе это самые легкоплавкие сплавы. Процесс кристаллизации в них начнется при температурах 230 и 283°C с одновременным выделением кристаллов всех трех компонентов.

**Заключение**

Практическое применение результатов моделирования свойств тройной системы Ge-Ag-Tl состоит в экономии средств на проведение реальных экспериментов, а также в более качественной визуализации проводимых опытов.

Таким образом, полученные базовые точки сплавов системы Ag-Ge-Tl, среди которых можно видеть координаты легкоплавких сплавов (табл. 2 и 3), необходимы для разработки составов припоев, используемых для пайки серебросодержащих изделий в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 3 – Поверхности геометрических линий в системе Ge-Ag-Tl

| №                      | Обозначение поверхности | Контур Поверхности                | №  | Обозначение поверхности | Контур Поверхности                |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----|-------------------------|-----------------------------------|
| Ликвидус-Солидус       |                         |                                   |    |                         |                                   |
| 1                      | $q_A$                   | $Ae_{AB}Ee_{AC}$                  | 4  | $s_A$                   | $AA_BA_EA_C$                      |
| 2                      | $q_B$                   | $Be_{AB}Ee_{BC}$                  | 5  | $s_B$                   | $BB_A B_E B_C$                    |
| 3                      | $q_C$                   | $Ce_{AC}Ee_{BC}$                  | 6  | $s_C$                   | $CC_A C_E C_B$                    |
| Трансус                |                         |                                   |    |                         |                                   |
| 7                      | $t^a_{C1}$              | $C1e^C_{CB1}C_{E1}e^C_{AC1}$      | 8  | $t^s_{C1}$              | $C1C1_B C1_{E1}C1_A$              |
| Сольвус                |                         |                                   |    |                         |                                   |
| 9                      | $v_{AB}$                | $A_B A_E A_{E1} A^0_{E1} A^0_B$   | 14 | $v_{BC1}$               | $B_{C1} B_{E1} B^0_{E1} B^0_{C1}$ |
| 10                     | $v_{AC}$                | $A_C A_{C1} A_{E1} A_E$           | 15 | $v_{CA}$                | $C_A C_E C_{E1} e^C_{AC1}$        |
| 11                     | $v_{AC1}$               | $A_{C1} A_{E1} A^0_{E1} A^0_{C1}$ | 16 | $v_{CB}$                | $C_B C_E C_{E1} e^C_{BC1}$        |
| 12                     | $v_{BA}$                | $B_A B_E B_{E1} B^0_{E1} B^0_A$   | 17 | $v_{C1A}$               | $C1_A C1_{E1} C1^0_{E1} C1^0_A$   |
| 13                     | $v_{BC}$                | $B_C B_E B_{E1} B_{C1}$           | 18 | $v_{C1B}$               | $C1_B C1_{E1} C1^0_{E1} C1^0_B$   |
| Линейчатые поверхности |                         |                                   |    |                         |                                   |
| 19                     | $q^r_{AB}$              | $A_B A_E Ee_{AB}$                 | 30 | $s^r_{AC1}$             | $A_{C1} A_{E1} C1_{E1} C1_A$      |
| 20                     | $q^r_{BA}$              | $B_A B_E Ee_{AB}$                 | 31 | $q^r_{BC1}$             | $B_{C1} B_{E1} C_{E1} e^C_{BC1}$  |
| 21                     | $s^r_{AB}$              | $B_A B_E A_E A_B$                 | 32 | $q^r_{C1B}$             | $C1_B C1_{E1} C_{E1} e^C_{BC1}$   |

Окончание таблицы 3

|                          |             |                                    |    |                     |                                   |
|--------------------------|-------------|------------------------------------|----|---------------------|-----------------------------------|
| 22                       | $q_{AC}^r$  | $A_C A_E E_e A_C$                  | 33 | $s_{BC1}^r$         | $B_{C1} B_{E1} C_{1E1} C_{1B}$    |
| 23                       | $q_{CA}^r$  | $C_A C_E E_e A_C$                  | 34 | $v_{AB}^r (E E_1)$  | $A_E B_E B_{E1} A_{E1}$           |
| 24                       | $s_{AC}^r$  | $A_C A_E C_E C_A$                  | 35 | $v_{AC}^r (E E_1)$  | $A_E C_E C_{E1} A_{E1}$           |
| 25                       | $q_{BC}^r$  | $B_C B_E E_e B_C$                  | 36 | $v_{BC}^r (E E_1)$  | $B_E C_E C_{E1} B_{E1}$           |
| 26                       | $q_{CB}^r$  | $C_B C_E E_e B_C$                  | 37 | $v_{AB}^r (E_1^0)$  | $A_{E1} B_{E1} B_{E1}^0 A_{E1}^0$ |
| 27                       | $s_{BC}^r$  | $C_B C_E B_E B_C$                  | 38 | $v_{AC1}^r (E_1^0)$ | $A_{E1} C_{E1} C_{E1}^0 A_{E1}^0$ |
| 28                       | $q_{AC1}^r$ | $A_{C1} A_{E1} C_{E1} e^C A_{C1}$  | 39 | $v_{BC1}^r (E_1^0)$ | $B_{E1} C_{E1} C_{E1}^0 B_{E1}^0$ |
| 29                       | $q_{C1A}^r$ | $C_{1A} C_{1E1} C_{E1} e^C A_{C1}$ |    |                     |                                   |
| Горизонтальные симплексы |             |                                    |    |                     |                                   |
| 40                       | $h_{ABC}^E$ | $A_E B_E C_E$                      | 44 | $h_{ABC1}^{E1}$     | $A_{E1} B_{E1} C_{E1}$            |
| 41                       | $h_{ABE}$   | $A_E B_E E$                        | 45 | $h_{ABE1}$          | $A_{E1} B_{E1} E_1$               |
| 42                       | $h_{ACE}$   | $A_E C_E E$                        | 46 | $h_{ACE1}$          | $A_{E1} C_{E1} E_1$               |
| 43                       | $h_{BCE}$   | $B_E C_E E$                        | 47 | $h_{BCE1}$          | $B_{E1} C_{E1} E_1$               |

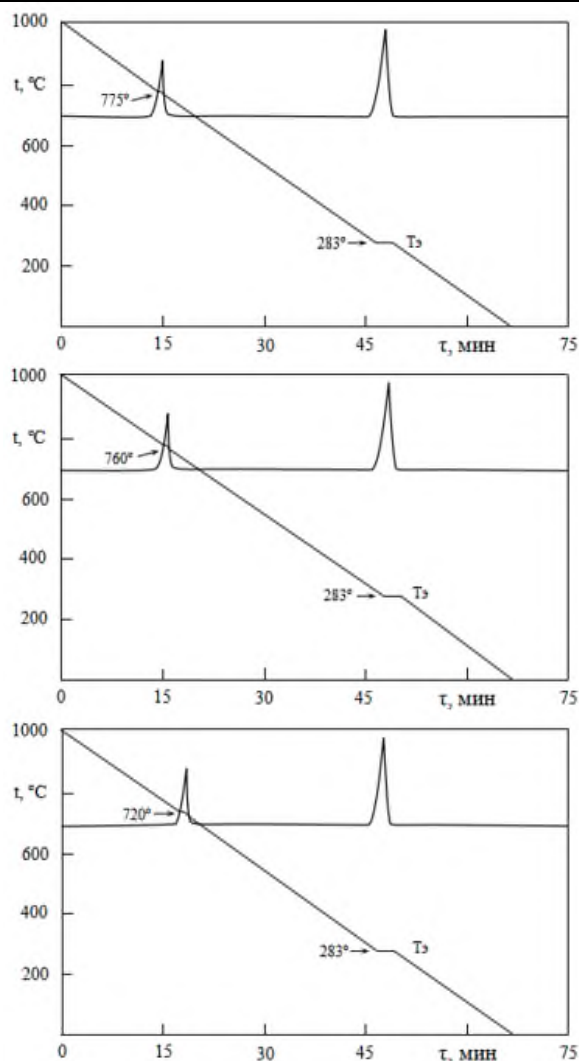


Рисунок 8 – Термограммы для сплавов системы Ag-Ge-Tl: а) с содержанием 50 % ат. Ag, 25 % ат. Ge, 25 % ат. Tl; б) с содержанием 25 % ат. Ag, 50 % ат. Ge, 25 % ат. Tl; в) с содержанием 25 % ат. Ag, 25 % ат. Ge, 50 % ат. Tl

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

### Литература

1. Тройной серебряный сплав [Электронный ресурс]. Портал Google patents – Информационная система базы поиска патентов. 2008. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/EA011015B1/ru>.

2. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – Т.1. – 992 с.
3. Новик, Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении / Ф.С. Новик. – Раздел IV. - М.: МИСиС, 1970. – 149 с.
4. Джураев, Т.Д. Построение поверхности ликвидуса Al-Sr-Nd методом симплексных решеток / Т.Д. Джураев, А.В. Вахобов, К.К. Эшонов // Заводская лаборатория, 1975. – Т.41. – №3. – С.335-337.
5. Луцык, В.И. / В.И. Луцык, В.П. Воробьева // Физическая химия, 2015. – Т. 89. – № 10. – С. 1511-1519.
6. Lutsyk, V.I. / V.I. Lutsyk, V.P. Vorob'eva // J. Therm. Anal. Calorim, 2010. – V. 101. – No 1. – P. 25-31.
7. Парфенова, М.Д. Проверка Т-х-у диаграммы Au-Bi-Sb, построенной по результатам термодинамических расчетов / М.Д. Парфенова, В.П. Воробьева, В.И. Луцык // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности», посвященной провозглашению четвертой общенациональной цели - индустриализации страны и 25-летию кафедры «Металлургия». Душанбе: ТТУ им.М.С. Осими, 2021. – С. 3.
8. Мирзоева, Б. М. Построение поверхности ликвидуса системы Au-Si-Sb методом симплексного планирования / Б. М. Мирзоева // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 1(61). – С. 94-98. – EDN DSABYV.

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

| TJ                                                                     | RU                                                                                   | EN                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Джураев Тухтасун Джураевич<br>доктори илмҳои химия, профессор          | Джураев Тухтасун Джураевич<br>доктор химических наук,<br>профессор                   | Juraev Tukhtasun Juraevich<br>doctor of chemical sciences,<br>professor                                 |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими                  | Tajik Technical University named<br>after academician<br>M.S. Osimi                                     |
| E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>               |                                                                                      |                                                                                                         |
| TJ                                                                     | RU                                                                                   | EN                                                                                                      |
| Нимонов Ривож Амирович<br>номзади илмҳои техникӣ                       | Нимонов Ривож Амирович<br>кандидат технических наук                                  | Nimonov Rivog Amirovich<br>candidate of technical sciences                                              |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими                  | Tajik Technical University named<br>after academician<br>M.S. Osimi                                     |
| E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>               |                                                                                      |                                                                                                         |
| TJ                                                                     | RU                                                                                   | EN                                                                                                      |
| Лутсык Василий Иванович<br>доктори илмҳои химия, профессор             | Луцык Василий Иванович<br>доктор химических наук,<br>профессор                       | Lutsyk Vasilii Ivanovich<br>doctor of chemical sciences,<br>professor                                   |
| Институти маводшиносии<br>физикавии Шуъбаи Сибири<br>Академияи Россия  | Институт физического<br>материаловедения Сибирского<br>отделения Российской академии | Institute of Physical Materials<br>Science of the Siberian Branch of the<br>Russian Academy of Sciences |
| E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a> |                                                                                      |                                                                                                         |
| TJ                                                                     | RU                                                                                   | EN                                                                                                      |
| Зеленая Анна Эдуардовна<br>номзади илмҳои физикаю<br>математика        | Зеленая Анна Эдуардовна<br>кандидат физико-математических<br>наук                    | Zelenaya Anna Eduardovna<br>candidate of physical and<br>mathematical sciences                          |
| Институти маводшиносии<br>физикавии Шуъбаи Сибири<br>Академияи Россия  | Институт физического<br>материаловедения Сибирского<br>отделения Российской академии | Institute of Physical Materials<br>Science of the Siberian Branch of the<br>Russian Academy of Sciences |
| E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a> |                                                                                      |                                                                                                         |
| TJ                                                                     | RU                                                                                   | EN                                                                                                      |
| Парфенова Мария Дмитриевна<br>аспирант                                 | Парфенова Мария Дмитриевна<br>аспирант                                               | Parfenova Maria Dmitrievna<br>graduate student                                                          |
| Институти маводшиносии<br>физикавии Шуъбаи Сибири<br>Академияи Россия  | Институт физического<br>материаловедения Сибирского<br>отделения Российской академии | Institute of Physical Materials<br>Science of the Siberian Branch of the<br>Russian Academy of Sciences |
| E-mail: <a href="mailto:vluts@pres.bscnet.ru">vluts@pres.bscnet.ru</a> |                                                                                      |                                                                                                         |

# ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК: 547

DOI: 10.65599/ENG5003

## ТАҶЛИЛИ МУҚОИСАВИИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ РАВҒАНҲОИ РАСТАНИИ МАҲАЛЛӢ

А.А. Амирализода, Р.Ҷ. Чурахонзода, Ф.Х. Назарзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола хусусиятҳои физикавӣ ва химиявии равғанҳо, аз ҷумла зичии воқеӣ, индекси шикаст (зариби рефраксия), зичии оптикӣ ва параметрҳои ҳароратии гузаришҳои фазавӣ (ҳарорати гудозиш ва сахтшавӣ), ҳамчун нишондиҳандаҳои интегралӣ барои тавсифи сохтори молекулавӣ ва ҳолати агрегатии система баррасӣ гардиданд. Муайянкунии маҷмӯи ин параметрҳо имконият дод, ки хусусиятҳои структурӣ-гурӯҳӣ, инчунин нишондиҳандаҳои сифатӣ ва технологӣ бо дараҷаи баланди эътимоднокӣ арзёбӣ карда шаванд.

**Калидвожаҳо:** равғани пахта, равғани загир, равғани мушхор, зичӣ, нишондиҳандаҳои физикавӣ ва химиявии, адади собуноқӣ, адади кислотагӣ, адади эфирӣ, кислотаҳои органикӣ, фенол.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

А.А. Амирализода, Р.Дж. Джурахонзода, Ф.Х. Назарзода

В данной статье представлены результаты исследования физико-химических показателей, таких как плотность, индекс преломления (коэффициент рефракции), оптическая плотность и температурные параметры фазовых переходов (температура плавления и затвердевания) рассматривались как интегральные показатели для характеристики молекулярной структуры и агрегатного состояния системы. Комплексное определение этих параметров позволило с высокой степенью достоверности оценить структурно-групповые характеристики, а также качественные и технологические показатели

**Ключевые слова:** хлопковое масло, льняное масло, масло лопуха, плотность, физико-химические показатели, число омыления, кислотное число, эфирное число, органические кислоты, фенол.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF LOCAL VEGETABLE OILS

А.А. Amiralizoda, R.J. Jurakhonzoda, F.Kh. Nazarzoda

This article presents the results of a study of physicochemical parameters such as density, refractive index (refractive index), optical density, and phase transition temperature parameters (melting and solidification temperatures). These parameters were considered as integral indicators for characterizing the molecular structure and state of aggregation of the system. A comprehensive determination of these parameters allowed for a highly reliable assessment of the structural and group characteristics, as well as the quality and technological indicators.

**Keywords:** cottonseed oil, linseed oil, burdock oil, density, physicochemical parameters, saponification number, acid number, ester number, organic acids, phenol.

## Сарсухан

Дар сарчашмаҳои адабиёти илмӣ қайд мегардад, ки нишондиҳандаҳои физикавӣ ва химиявии равғанҳои растани меъёри асосии баҳодиҳии сифат, арзиши ғизой ва дараҷаи устувории онҳо ҳангоми нигоҳдорӣ ба ҳисоб мераванд [3-5]. Таҷқиқотҳои муосир нишон медиҳанд, ки нишондиҳандаҳо чун адади кислотаӣ, пероксидӣ, йодӣ, зичӣ ва нишондиҳандаи шикаст (рефраксия) имкон медиҳанд таркиби кислотаҳои равғанӣ ва дараҷаи оксидшавии равған муайян карда шаванд [7, 8].

Дар як қатор корҳои илмӣ таъкид мешавад, ки равғанҳои растани аз ашёи хоми маҳаллӣ ҳосилшуда метавонанд аз ҷиҳати таркиб ва ҳосиятҳои антиоксидантӣ бартарӣ дошта бошанд, зеро онҳо камтар коркарди технологиро мегузаранд. Аз ин рӯ, таҳлили муқоисавии чунин равғанҳо барои муайян намудани сифати онҳо, интиҳоби самараноки истифодаи ғизой ва коркарди минбаъда аҳамияти муҳим дорад [1, 2, 4].

Таҳлили адабиёти соҳавӣ нишон медиҳад, ки дар аксари растаниҳо миқдори кислотаҳои озоди органикӣ одатан аз 2% зиёд намешавад, ки ба адади кислотагии тақрибан 10–12 мгКОН/г мутобиқат мекунад. Бо назардошти ин маълумот, қимати баланди адади кислотагии равғани тухми мушхор метавонад ба мавҷудияти миқдори назарраси пайвастагиҳои фенолӣ ва дигар моддаҳои фаъол дар баробари кислотаҳои равғанӣ ишора намояд, ки ин хусусияти хоси таркиби химиявии ин ашёи растаниро инъикос мекунад [9, 10].

Дар гурӯҳбандии технологи равғанҳо дар баробари нишондиҳандаҳои физикӣ нишондиҳандаҳои химиявӣ низ истифода мешаванд [5,10]. Ба онҳо адади кислотагӣ (мгКОН/г), адади собунонӣ (мгКОН/г), адади эфири (мгКОН/г), адади иодӣ ( $gI_2/100\text{ г}$ ) ва дигар параметрҳо дохил мешаванд.

Зичии воқеӣ ҳамчун параметри термодинамикии муҳим, ки ба таркиби кислотаҳои равғанӣ, дараҷаи бастабандии молекулавӣ ва ҳарорат вобастагии мустақим дорад, бо усули пикнометрии гравиметрӣ муайян карда шуд. Андозагирӣ дар ҳарорати изотермии  $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$  гузаронида шуд. Пеш аз ченкунӣ пикнометр бо намуна пур карда шуда, пас аз барқарор шудани тавозуни ҳароратӣ массаи он бо истифода аз тарозуи аналитикии дақиқияташ баланд муайян карда шуд. Ҳисобкунии зичӣ бо истифода аз вобастагии стандартии метрологӣ иҷро гардида, тақроршавандагии натиҷаҳо назорат карда шуд.

Индекси шикаст ( $nD_{20}$ ) ҳамчун нишондиҳандаи ҳассоси хусусиятҳои оптикӣ ва дараҷаи норасоии пайвастиҳои равғанӣ муайян карда шуд. Таҳлил бо усули рефрактометрии контактӣ бо истифода аз рефрактометри лаборатории IRF-456M анҷом дода шуд. Пеш аз ченкунӣ асбоб андозагирӣ карда шуда, андозагирӣ дар шароити ҳарорати стандартӣ гузаронида шуд. Арзишҳои бадастомада бо дарназардошти коэффитсиенти ҳароратӣ ба шароити стандартии  $20^\circ\text{C}$  редуксия карда шуданд, ки муқоисашавандагӣ ва дурустии натиҷаҳои таҷрибавиро таъмин менамояд.

Зичии оптикӣ (абсорбсияи спектралӣ) ҳамчун параметри спектроскопии ҳассос, ки дараҷаи шаффофият, мавҷудияти хромофорҳо, ифлосиҳои коллоидӣ ва маҳсулоти дуюмдараҷаи оксидшавии липидҳоро инъикос менамояд, муайян карда шуд. Андозагирӣ бо усули спектрофотометрияи абсорбсионӣ дар минтақаи ултрабунафш намоён дар дарозии мавҷи интиҳобшуда анҷом дода шуд.

Параметрҳои ҳарорати гузариши фазаӣ - ҳарорати обшавӣ ва ҳарорати сахтшавӣ (кристаллизатсия) - ҳамчун нишондиҳандаҳои термодинамикӣ ва структурӣ, ки ба таркиби фраксиявии триглицеридҳо, тақсими кислотаҳои равғанӣ ва дараҷаи тартибёбии фазавии матритсаи липидӣ вобастаанд, муайян карда шуданд. Муайянкунӣ бо усули термостатикӣ бо истифода аз гармкунии тадриҷӣ ва хунуккунии барномарезишудаи намунаҳо бо мониторинги пайвасти ҳарорат анҷом дода шуд, ки имкон медиҳад нуқтаҳои оғози ва анҷоми гузаришҳои фазаӣ бо дақиқияти баланд сабт карда шаванд.

Маълумоти таҷрибавӣ ҳосилшуда ба коркарди омории параметрӣ, таҳлили муқоисавӣ ва интерпретатсияи системаӣ дучор гардида, барои баланд бардоштани эътимоднокии натиҷаҳо меъёрҳои тақроршавандагӣ ва хатои таҷрибавӣ ба ҳисоб гирифта шуданд. Натиҷаҳо дар шакли ҷадвалҳо ва диаграммаҳои аналитикӣ пешниҳод карда шуданд, ки имкон медиҳанд вобастагии параметрҳои физикӣ аз хусусиятҳои таркибӣ ва сохтори равғанҳо ба таври возеҳ муайян карда шаванд.

Ҷадвали 1 - Нишондиҳандаҳои физикии равғанҳои таҳқиқшаванда

| Номгӯӣ равғанҳои таҳқиқшаванда            | Нишондиҳандаҳои физикӣ        |            |
|-------------------------------------------|-------------------------------|------------|
|                                           | $[\rho]^{20} (\text{г/см}^3)$ | $[n]^{20}$ |
| Равғани пахта (ГОСТ 1128-75)              | 0,9250                        | 1,4740     |
| Равғани зағир (ГОСТ 5791-81)              | 0,9130                        | 1,4750     |
| Равғани пахта (экстраксия гарм *)         | 0,8910                        | 1,4735     |
| Равғани зағир (экстраксия гарм *)         | 0,8815                        | 1,4245     |
| Равғани мушхор (экстраксия гарм *)        | 0,8500                        | 1,4747     |
| Равғани ангури хуҷрӯй (экстраксия гарм *) | 0,8890                        | 1,4443     |

Эзоҳ: - \* ба сифати экстрагент аз  $\text{CHCl}_3$  истифода карда шудааст.

Дар раванди тадқиқоти экстракционии таҷрибавӣ маҷмӯи ҳалкунандаҳои органикии дорои қутбияти фарқкунанда, аз ҷумла хлороформ, этилацетат, н-гексан, н-гептан, бензол, этанол ва диэтилэфир истифода гардиданд, ки имкон медиҳанд ҷузъҳои липидӣ вобаста ба параметрҳои термодинамикии ҳалшавандагӣ ва хусусиятҳои солватсионӣ селективона ҷудо карда шаванд.

Мувофиқи маълумоти адабиёт [5, 9, 10], хлороформ бо сабаби қобилияти баланди солватсионӣ ва қутбияти нисбатан мувофиқ, самаранокии баланди истихроҷи фраксияҳои липидиро аз матритсаи растанӣ таъмин менамояд. Бо дарназардошти ин хусусиятҳо, барои таҳқиқи таркиби химиявӣ ва муайян намудани спектри компоненти растаниҳои мавриди омӯзиш хлороформ ҳамчун экстрагенти асосӣ интиҳоб карда шуд.

Таҳлили нишондиҳандаҳои физикӣ ва химиявӣ равғанҳои ҳосилшуда нишон дод, ки намунаҳои бадастомада бо усули истихроҷи термикӣ нисбат ба равғанҳои ҳосилшуда дар шароити вакуумӣ зичии нисбатан пасттар доранд. Фарқияти мушоҳидашуда эҳтимолан ба тағйирёбии

тақсимоти молекулави триглицеридҳо, ҷараёнҳои оксидшавии термоиндуксионӣ, инчунин тағйирёбии дараҷаи бастабандии молекулавӣ ва зичшавии фазавии системаҳои липидӣ вобаста мебошад.

Тибқи қонуниятҳои назариявии классикӣ, байни зичии модда ( $\rho$ ) ва нишондиҳандаи шикаст ( $n$ ) бояд вобастагии коррелятсионии мустақим мушоҳида гардад, ки бо поляризатсияшавандагии муҳит ва зичии электронӣ муайян карда мешавад. Аммо натиҷаҳои таҷрибавии мазкур нишон доданд, ки барои равшанҳои таҳқиқшуда чунин вобастагӣ пурра амалӣ намегардад. Ин ҳолат эҳтимолан бо табиати полидисперсӣ, гуногунрангии таркиби кислотаҳои равшанӣ, мавҷудияти микрофраксияҳо ва таъсири мутақобилаи байниҷузъӣ дар муҳити бисёркомпонентӣ шарҳ дода мешавад.

Ҷадвали 2 - Зичии оптикӣ, нуқтаҳои якҷунӣ ва гудозиши равшанҳои таҳқиқшуда

| Номгӯии равшанҳои таҳлилшаванда           | t лахт. °C    | t гуд. °C     | D=260nm |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------|
| Равшани пахта (ГОСТ 1128-75)              | (+5) - (- 6)  | (+7) - (+8)   | 2,65    |
| Равшани зағир (ГОСТ 5791-81)              | (- 1) - (- 2) | (+1) - (+2)   | 2,40    |
| Равшани пахта (экстраксия гарм*)          | (+4) - (-3)   | (+5) - (+6)   | 2,80    |
| Равшани зағир (экстраксия гарм *)         | (+2) - (+1)   | (+5) - (+4)   | 2,45    |
| Равшани мушхор (экстраксия гарм *)        | (+8) - (+9)   | (+10) - (+11) | 2,75    |
| Равшани ангури хурдӯй (экстраксия гарм *) | (+5) - (+6)   | (+7) - (+8)   | 2,30    |

Эзоҳ: \* - ба ҳайси экстрагент аз хлороформ истифода карда шудааст.

Таҳлили маълумоти дар ҷадвали 2 пешниҳодшуда нишон медиҳад, ки равшани зағир дар байни ҳамаи намунаҳои омӯхташуда пасттарин нуқтаи рехтанро доро мебошад. Ин ба мавҷудияти миқдори зиёди кислотаҳои равшани беҳад дар таркиби он ишора мекунад, ки ба паст шудани ҳарорати гузариш ба ҳолати саҳт мусоидат менамоянд.

Бо мақсади ба даст овардани характеристикаи мукаммали физикию химиявии системаҳои липидӣ, арзиши рН-и намунаҳо бо истифода аз рН-метри милливольтметрӣ дар шароити андозагирии стандартӣ муайян карда шуд. Зичии оптикӣ (A260) дар дарозии мавҷи 260 нм бо усули спектрофотометрияи абсорбсионӣ бо истифода аз спектрофотометри SF-46 (LOMO) чен карда шуд, ки имкон медиҳад мавҷудияти пайвастиҳои хромофорӣ ва маҳсулоти эҳтимолии оксидшавии липидҳо арзёбӣ карда шавад.

Параметрҳои ҳарорати гузаришҳои фазавӣ - ҳарорати оғози гудозиш ва ҳарорати кристаллизатсия - бо усули термометрияи лабораторӣ дар шароити гармкунии тадриҷӣ ва хунуккунии назоратшаванда муайян карда шуданд, ки дақиқияти сабти нуқтаҳои гузариш ва такроршавандагии натиҷаҳои таҷрибавиро таъмин менамояд.

Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки байни нишондиҳандаи шикаст ва зичии равшанҳо вобастагии қонунманд мушоҳида намегардад. Ҳамзамон муайян гардид, ки нишондиҳандаи шикаст асосан ба миқдори пайвастиҳои органикии беҳад вобаста буда, бо хусусиятҳои сохтории молекулаҳои онҳо алоқаманд аст.

Барои тавсифи хосиятҳои оптикии равшанҳо нишондиҳандаи махсус - зичии оптикӣ - истифода шуд. Ченкуниҳо дар дарозии мавҷи 260 нм анҷом дода шуданд ва натиҷаҳо нишон доданд, ки маҳз дар ҳамин минтақаи спектр равшанҳои таҳқиқшаванда ба қимати максималии зичии оптикӣ мерасанд. Ин ҳолат бо ҳузури системаҳои хромофорӣ пайвастиҳои носер дар таркиби онҳо шарҳ дода мешавад.

Зичии оптикӣ ҳамчун нишондиҳандаи махсуси таҳқиқ бори аввал барои арзёбии равшанҳои мазкур истифода гардид. Маълумоти таҷрибавӣ тасдиқ намуд, ки дар дарозии мавҷи 260 нм ҳамаи намунаҳо қиматҳои максималии ҷаббиши нурро нишон медиҳанд.

Яке аз муҳимтарин нишондиҳандаҳои химиявии равшанҳо адади кислотагӣ буда, самти истифодаи саноатии онҳоро муайян мекунад. Ин нишондиҳанда миқдори кислотаҳои озодро ифода намуда, ҳамчун миқдори миллиграмм гидроксидаи калий, ки барои нейтрализатсияи онҳо дар 1 г намуна сарф мешавад, муайян карда мешавад. Одатан он бо усули титриметрӣ бо истифода аз маҳлулҳои спиртии КОН, NaOH ё алкоксидҳои металлҳои ишқорӣ муайян мегардад.

Ҳангоми титркунӣ нуқтаи эквивалентӣ аз рӯйи тағйирёбии ранги индикатори фенолфталеин муайян карда шуда, баъдан адади кислотагӣ аз рӯйи формулаи ҳисобӣ муайян карда мешавад. Аммо барои равшанҳои ранги тира, ки бо усули экстраксия гирифта шудаанд, истифодаи индикатор мушкил мегардад.

Бо ин сабаб адади кислотагӣ бо усули титркунӣ потенциометрӣ муайян карда шуд, ки дар он нуқтаи эквивалентӣ аз рӯйи ҷаҳиши потенциалӣ бо истифода аз рН-метр (милливольтметр)

муайян мегардад. Пас аз муайян кардани ҳаҷми титранти сарфшуда то нуқтаи эквивалентӣ, ҳисобҳо бо формулаи мувофиқ иҷро гардиданд [5].

Адади собуноқӣ бо истифода аз реаксияи гидролизи ишқорӣ муайян карда шуд. Реаксия дар муҳити спиртҳои метанол, этанол ва изопропанол гузаронида шуда, муайян гардид, ки дар муҳити изопропанол он самараноктар мегузарад. Ин ба набудани об дар таркиби спирт вобаста буда, ҳузури об метавонад ба баргаштани реаксия мусоидат намояд.

Дар асоси қиматҳои бадастомада адади эфирӣ ҳамчун фарқи байни адади собуноқӣ ва адади кислотагӣ ҳисоб карда шуд. Адади иодӣ бошад бо усули Ганус муайян гардид.

Дар асоси натиҷаҳои таҳлили нишондиҳандаҳои технологияи равшанҳои таҳқиқшуда муайян гардид, ки таркиби химиявии равшанҳои ҷудокардашуда ба таври назаррас аз технологияи коркард ва усули ҷудокунии онҳо вобаста мебошад. Маҷмӯи нишондиҳандаҳои муайяншуда ин вобастагиро пурра тасдиқ менамояд ва имконият медиҳад, ки хусусиятҳои технологӣ ва сифати равшанҳо ба таври муқоисавӣ арзёбӣ карда шаванд.

Ҷадвали 3 - Нишондиҳандаҳои технологияи равшанҳои таҳлилшаванда

| Намунаи равшан                    | АК<br>(мгКОН/г) | АС<br>(мгКОН/г) | АЭ<br>(мгКОН/г) | АИ<br>(мгКОН/г) |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Равшани пахта (ГОСТ 1128-75)      | 1,240           | 176,802         | 175,562         | 98,735          |
| Равшани зағир (ГОСТ 5791-81)      | 2,453           | 166,505         | 164,052         | 180,053         |
| Равшани пахта – экстраксия        | 2,950           | 180,353         | 177,403         | 100,050         |
| Равшани зағир – экстраксия        | 2,730           | 169,858         | 197,128         | 188,58          |
| Равшани тухми мушхор - экстраксия | 38,560          | 120,303         | 81,743          | 45,104          |
| Равшани ангури худрӯй –экстраксия | 3,179           | 156,750         | 153,571         | 86,306          |

Тибқи маълумоти дар ҷадвали 3 овардашуда, равшани пахтаи истеҳсоли саноатӣ нисбат ба равшани пахтаи бо усули экстраксия ҷудокардашуда адади кислотагӣ пасттар нишон медиҳад. Ин фарқият ба хусусиятҳои раванди технологӣ вобаста буда, дар истеҳсолоти саноатӣ пас аз ҷудокунии равшан марҳилаи безаргардонӣ бо истифода аз содаи каустикӣ гузаронида мешавад. Дар натиҷаи ин коркард кислотаҳои равшани озод ба воситаи реаксияи нейтрализатсия ба намакҳои собунмонанд табдил ёфта, аз система хориҷ мегарданд, ки ба паст шудани адади кислотагӣ оварда мерасонад.

Таҳқиқоти таҷрибавӣ инчунин нишон доданд, ки равшани зағир нисбат ба равшани пахта адади кислотагӣ баландтар дорад. Ин ҳолат бо он шарҳ дода мешавад, ки пас аз ҷудокунии равшани зағир марҳилаи ишқоркунии технологӣ одатан гузаронида намешавад ва дар натиҷа миқдори кислотаҳои озод дар таркиб ниғоҳ дошта мешавад. Тамоюли мазкур дар намунаҳои равшанҳои бо усули экстраксия ҳосилшуда низ мушоҳида гардид, ки бори дигар таъсири усули ҷудокуниро ба таркиби химиявӣ тасдиқ мекунад.

Тибқи маълумоти ҷадвали 3, равшани тухми мушхор, ки бо истифода аз хлороформ дар дастгоҳи Сокслет ҷудо карда шудааст, адади кислотагӣ 38,560 мгКОН/г нишон дод. Қимати мазкур нисбат ба нишондиҳандаҳои маҷмӯӣ хеле баланд буда, метавонад ба як қатор омилҳо, аз ҷумла мавҷудияти миқдори зиёди пайвастагиҳои реаксионӣ-фаъол ё ҷараёнҳои оксидшавӣ ҳангоми экстраксия вобаста бошад. Аз ин рӯ, барои тасдиқи табиати ин натиҷа ва муайян намудани сабабҳои эҳтимолӣ гузаронидани таҳқиқоти иловагӣ зарур мебошад.

### Хулоса

Таҳлили нишондиҳандаҳои технологияи равшанҳои таҳқиқшуда нишон медиҳад, ки усули ҷудокунии равшан ва марҳилаҳои минбаъдаи коркарди технологӣ ба таври муайянкунанда ба сатҳи кислотаҳои озод ва дар маҷмӯъ, ба хусусиятҳои химиявӣ технологӣ таъсир мерасонанд. Ин натиҷаҳо метавонанд барои мукамалгардонии равандҳои технологӣ ва интиҳоби самтҳои истифодаи амалӣ асоси илмӣ фароҳам оваранд.

*Муқарриз: Маҳмудзода Ш.М. – н.и.т., дотсенти кафедраи қорқарди энергиябарандаҳо ва хизматрасонии нафту гази ДДҶТ ба номи академик М.С. Осимӣ*

### Адабиёт

1. Бобокалонов, Д. М. Экологическое состояние растительности среднего течения реки Вахш / Д. М. Бобокалонов, Р. Б. Сагторов, С. Х. Давлатов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2022. – № 2-2(99). – С. 86-89.
2. Давлатзода, С. Х. Особенности и способы выращивания конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в условиях Бохтарской зоны / С. Х. Давлатзода // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение биологических наук. – 2023. – № 4(223). – С. 7-14.

3. Деревья и кустарники в озеленении города Бохтар (Таджикистан): оценка и рекомендации / С. Х. Давлатзода, А. Х. Ибрагимов, Д. М. Бобокалонов [и др.] // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 327-337.
4. Джурахонзода, Р. Д. Новые перспективы противогрибковой защиты плодов лимона при хранении с эфирными маслами методом *in vivo* / Р. Д. Джурахонзода, А. Ф. Салимзода // Peasant. – 2020. – № 2(87). – С. 43-47.
5. Маҳмудова, Т. М. Омӯзиши ҷанбаҳои физикию химиявии реаксияи ҳидролизи ишқории эфирҳои мураккаби таркиби равшанҳои эфири PELARGONIUM ROSEUM WILLD ва BUNIUM PERSICUM / Т. М. Маҳмудова // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2021. – No. 3(46). – P. 71-76.
6. Муродов, А. А. Усули муфиди муайян намудани адади кислотагӣ дар равшанҳо / А. А. Муродов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2022. – No. 2(49). – P. 59-64.
7. Омӯзиши таркиби химиявии липидҳои ядроӣ тухми навҳои маҳалии пахта бо усули хроматографияи газӣ / С. Г. Бандаев, Т. М. Маҳмудова, А. А. Муродов, Ф. Д. Иброгимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. – 2023. – No. 1. – P. 204-217.
8. Салимзода, А. Ф. Новые перспективы противогрибковой защиты плодов лимона при хранении с использованием эфирных масел методом *in vitro* / А. Ф. Салимзода, Р. Д. Джурахонзода // Peasant. – 2020. – № 2(87). – С. 4-7.
9. Технологии муфиди беҳгардонии сифати баъзе равшани растаниҳои ғизой / А. А. Муродов, Р. Ҷ. Чурахонзода, Ф. Х. Назаров, Т. М. Маҳмудзода // IIm va innovatsia. Баҳши илмҳои геологӣ ва техникӣ. – 2024. – No. 1. – P. 99-103.
10. Чурахонзода, Р. Ҷ. Таҳлили сифатӣ ва микдорӣ кислотаҳои таркиби намунаҳои таҳқиқшавандаи равшани зағир / Р. Ҷ. Чурахонзода, Ф. Х. Назаров, Т. М. Маҳмудзода // Паёми политехникӣ. Баҳши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2024. – No. 1(65). – P. 113-118.
11. Jurakhonzod R., Ahmadzoda B., Smuleac L., Davlatov M., 2023 - Innovative and digital approaches to development of the agro-industrial complex, Research Journal of Agricultural Science, 55(3)
12. Ecological and hydrochemical characteristics of groundwater / R. Jurakhonzoda, T. Majidzoda, D. Ibragimzade [et al.] // Research Journal of Agricultural Science. – 2025. – Vol. 57, No. 2. – P. 156-166. – DOI 10.59463/rjas.2025.2.19.

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

| TJ                                                                                                                                                                      | RU                                                                  | EN                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Амирализода Амиршоҳ Амиралӣ<br>PhD, муаллими калон                                                                                                                      | Амирализода Амиршоҳ Амиралӣ<br>PhD, старший преподаватель           | Amiralizoda Amirshoh Amirali<br>PhD, senior lecturer                                  |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                                                                                                            | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician<br>M.S. Osimi                   |
| E-mail: <a href="mailto:amirsho_3737@mail.ru">amirsho_3737@mail.ru</a>                                                                                                  |                                                                     |                                                                                       |
| TJ                                                                                                                                                                      | RU                                                                  | EN                                                                                    |
| Чурахонзода Рауф Чурахон<br>н.и.т., дотсент                                                                                                                             | Джурахонзода Рауф Джурахон<br>к.т.н., доцент                        | Jurakhonzoda Rauf Jurakhon<br>Candidate of Technical Sciences,<br>Associate Professor |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                                                                                                            | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician<br>M.S. Osimi                   |
| E-mail: <a href="mailto:raufjurakhon@gmail.com">raufjurakhon@gmail.com</a><br><a href="https://orcid.org/0009-0006-0340-3421">https://orcid.org/0009-0006-0340-3421</a> |                                                                     |                                                                                       |
| TJ                                                                                                                                                                      | RU                                                                  | EN                                                                                    |
| Назарзода Фирдавс Хоркаш<br>н.и.т., муаллими калон                                                                                                                      | Назарзода Фирдавс Хоркаш<br>к.т.н., старший преподаватель           | Nazarzoda Firdavs Khorkash<br>Candidate of Technical Sciences,<br>senior lecturer     |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                                                                                                            | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician<br>M.S. Osimi                   |
| E-mail: <a href="mailto:n.firdavs1987@gmail.com">n.firdavs1987@gmail.com</a>                                                                                            |                                                                     |                                                                                       |

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ MERCEDES-BENZ W211)

Р.А. Давлатшоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье разработана математическая модель температурного влияния на коэффициент трения тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz W211. Рассмотрены линейная и экспоненциальная зависимости коэффициента трения от температуры тормозного диска и введён температурный коэффициент фейдинга, характеризующий интенсивность его снижения при нагреве. Установлено, что при температуре порядка 400 °С коэффициент трения уменьшается приблизительно на 35 %, а различие между линейной и экспоненциальной моделями в рабочем диапазоне температур является незначительным. Показана применимость полученных зависимостей для инженерных расчётов тормозного пути и оценки тепловой устойчивости тормозных систем.

**Ключевые слова:** коэффициент трения, температурный фейдинг, тормозная система, Mercedes-Benz W211, линейная модель, экспоненциальная модель.

## МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИ ТАЪСИРИ ҲАРОРАТ БА КОЭФФИЦИЕНТИ СОИШИ СИСТЕМАҶОИ БОЗДОРИИ АВТОМОБИЛҶО (ДАР МИСОЛИ MERCEDES-BENZ W211)

Р.А. Давлатшоев

Дар мақола модели математикӣ оид ба таъсири ҳарорат ба коэффисиенти соиши системаи боздории автомобили Mercedes-Benz W211 таҳия шудааст. Вобастагиҳои ҳаттӣ ва экспоненсиалии коэффисиенти соиш аз ҳарорати диски боздорӣ баррасӣ гардида, коэффисиенти ҳароратии фейдинг ҷорӣ карда шудааст, ки шиддатнокии коҳишбӣи онро ҳангоми гармшавӣ тавсиф менамояд. Муайян карда шудааст, ки дар ҳарорати тақрибан 400 °С коэффисиенти соиш тақрибан 35 % коҳиш меёбад, ва фарқият байни моделҳои ҳаттӣ ва экспоненсиалӣ дар доираи ҳароратҳои қорӣ ночиз мебошад. Таъбиқи вобастагиҳои бадастомада барои ҳисобҳои муҳандисии роҳи боздорӣ ва арзёбии устувории ҳароратии системаҳои боздорӣ нишон дода шудааст.

**Калидвожаҳо:** коэффисиенти соиш, фейдинги ҳароратӣ, системаи боздорӣ, Mercedes-Benz W211, модели ҳаттӣ, модели экспоненсиалӣ.

## MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE EFFECT ON THE FRICTION COEFFICIENT OF AUTOMOTIVE BRAKING SYSTEMS (A CASE STUDY OF MERCEDES-BENZ W211)

R.A. Davlatshoev

The paper develops a mathematical model describing the effect of temperature on the friction coefficient of the braking system of a Mercedes-Benz W211 vehicle. Linear and exponential dependencies of the friction coefficient on the brake disc temperature are considered, and a temperature fading coefficient is introduced to characterize the intensity of its reduction during heating. It is established that at a temperature of about 400 °C the friction coefficient decreases by approximately 35%, while the difference between the linear and exponential models within the operating temperature range is insignificant. The applicability of the obtained relationships for engineering calculations of braking distance and for assessing the thermal stability of braking systems is demonstrated.

**Keywords:** friction coefficient, thermal fading, braking system, Mercedes-Benz W211, linear model, exponential model.

### Введение

Температурное воздействие на коэффициент трения тормозной системы является одним из ключевых факторов, определяющих надёжность [7] и безопасность движения автомобиля. При интенсивном торможении происходит нагрев тормозных дисков и колодок, что приводит к явлению температурного фейдинга— снижению коэффициента трения и ухудшению эффективности торможения [1, 5].

Особую опасность фейдинг представляет при эксплуатации автомобилей в горных условиях. Длительные спуски, повышенные динамические нагрузки и частые торможения вызывают значительный рост температуры тормозных дисков, что может привести к увеличению тормозного пути и снижению устойчивости управления [2, 5]. В таких условиях использование стандартных расчётных зависимостей без учёта температурного фактора может приводить к существенным погрешностям.

Для инженерного анализа необходима количественная зависимость коэффициента трения от температуры, позволяющая учитывать тепловые процессы в тормозной системе при расчётах тормозного пути и оценке её тепловой устойчивости [1, 4].

*Цель работы* — разработка математической модели температурного влияния на коэффициент трения тормозной системы с учётом условий эксплуатации в горной местности и её применение к автомобилю Mercedes-Benz W211.

*Научная новизна* работы заключается во введении температурного коэффициента фейдинга, позволяющего унифицировать линейные и экспоненциальные модели деградации коэффициента трения и определить границы их применимости для инженерных расчётов тормозных систем.

## Исследовательская часть

### Математическая модель температурного фейдинга

Для количественного описания влияния температуры на коэффициент трения используется нормированная зависимость, учитывающая снижение трения при нагреве тормозного диска [1, 5]:

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot \left(1 - k \frac{(T-T_0)}{(T_{кр}-T_0)}\right) \quad (1)$$

где:

- $\mu_0$  — коэффициент трения при начальной температуре  $T_0$ ,
- $T$  — текущая температура тормозного диска,
- $T_{кр}$  — критическая температура, при которой начинается интенсивный фейдинг,
- $k$  — безразмерный эмпирический коэффициент, характеризующий интенсивность деградации фрикционного материала и обусловленное ею снижение коэффициента трения при термонагруженном торможении.

Преобразуя выражение, получим линейную форму зависимости:

$$\mu(T) = \mu_0 - \frac{\mu_0 \cdot k}{(T_{кр}-T_0)}(T - T_0) \quad (2)$$

Введём температурный коэффициент фейдинга:

$$k' = \frac{\mu_0 \cdot k}{(T_{кр}-T_0)} \quad (3)$$

имеющий размерность  $1/^\circ\text{C}$  и характеризующий скорость снижения коэффициента трения при увеличении температуры тормозного диска.

Тогда зависимость принимает вид:

$$\mu(T) = \mu_0 - k' \cdot (T - T_0) \quad (4)$$

Данная формула удобна для инженерных расчётов тормозного пути и анализа теплового состояния тормозной системы.

### Определение параметров для Mercedes-Benz W211

Для практического применения модели рассмотрим тормозную систему автомобиля Mercedes-Benz W211.

### Обоснование исходных параметров

*Начальный коэффициент трения.* Значение коэффициента трения при начальной температуре  $T_0=20^\circ\text{C}$  принято на основе экспериментальных и справочных данных для дисковых тормозных механизмов легковых автомобилей среднего и бизнес-класса [1, 4]. Согласно данным производителей фрикционных накладок и результатам стендовых испытаний, характерный диапазон коэффициента трения составляет  $\mu=0,32\div 0,37$  [4].

В данной работе в качестве исходного значения коэффициента трения принято  $\mu_0=\mu(20^\circ\text{C})=0,35$ .

**Начальная температура.** Температура  $T_0=20$  °С принята как условно-начальное состояние тормозного механизма до начала интенсивного тепловыделения, что соответствует исходным условиям расчётных и экспериментальных исследований.

**Параметр интенсивности фейдинга.** В ряде источников приводятся значения параметра интенсивности фейдинга в диапазоне  $k=0,01\div 0,05$  [3, 6]. Однако указанные значения относятся к иным формам нормированных или эмпирических моделей, в которых параметр  $k$  характеризует температурную чувствительность коэффициента трения или используется в качестве поправочного коэффициента при аппроксимации экспериментальных данных. В связи с этим прямое сопоставление этих значений с параметром, используемым в настоящей работе, является некорректным. В данной работе параметр интенсивности фейдинга  $k$  трактуется как относительное снижение коэффициента трения при достижении критической температуры фейдинга  $T_{кр}$ . Коэффициент трения в критическом состоянии определяется соотношением:

$$\mu(T_{кр})=\mu_0 \cdot (1-k),$$

эквивалентно:

$$k = 1 - \frac{\mu(T_{кр})}{\mu_0} \quad (5)$$

При достижении критической температуры  $T_{кр}=400$ °С наблюдается снижение коэффициента трения до уровня [6]:

$$\mu(T_{кр})=0,65\mu_0, \quad (6)$$

После подстановки выражения (6) в формулу (5) получаем

$$k = 1 - \frac{0,65\mu_0}{\mu_0} = 0,35$$

Таким образом, значение  **$k=0,35$**  соответствует уменьшению номинального коэффициента трения на 35 % и согласуется с экспериментальными данными для тормозных фрикционных материалов, работающих в условиях интенсивных тепловых нагрузок, в частности при длительных горных спусках [2, 5].

### Расчёт температурного коэффициента фейдинга

Разность температур  $T_{кр}-T_0$  определяет температурный интервал, в пределах которого происходит деградация фрикционных свойств тормозной системы от номинального состояния до режима интенсивного фейдинга.

$$T_{кр}-T_0=400-20=380 \text{ °С}$$

Температурный коэффициент фейдинга:

$$k' = \frac{0,35 \cdot 0,35}{380^{\circ}\text{C}} = 3,42 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

Использование шкалы Кельвина или Цельсия не влияет на численное значение коэффициента фейдинга, так как расчёт ведётся по разности температур.

### Линейная и экспоненциальная модели

Для описания температурного фейдинга используются две модели:

1. Линейная модель (фейдинг первого порядка):

$$\mu(T) = \mu_0 - k' \cdot (T - T_0) \text{ при } T_0 \leq T \leq T_{кр} \quad (7)$$

2. Экспоненциальная модель (термодеградационная) [3]:

$$\mu(T) = \mu_0 \cdot e^{-k' \cdot (T - T_0)} \text{ при } T > T_{кр} \quad (8)$$

Экспоненциальная модель обеспечивает физически корректное асимптотическое поведение коэффициента трения при высоких температурах; при этом она не накладывается по значению на линейную модель в точке  $T=T_{кр}$ , поскольку используется как асимптотическая аппроксимация и не требует их строгого совпадения.

Для корректного сравнения в обеих моделях используется одинаковое значение коэффициента  $k' = 3,42 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$

**Результаты исследования****Расчёт коэффициента трения при различных температурах**

После определения параметров тормозной системы Mercedes-Benz W211 и выбора моделей температурного фейдинга (линейной и экспоненциальной) проведены расчёты коэффициента трения  $\mu(T)$  при различных температурах тормозного диска.

Результаты расчёта коэффициента трения при различных температурах приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1- Результаты расчёта коэффициента трения при различных температурах

| Температура, °C | Линейная модель | Экспоненциальная модель |
|-----------------|-----------------|-------------------------|
| 20              | 0,35            | 0,35                    |
| 100             | 0,322           | 0,341                   |
| 200             | 0,287           | 0,329                   |
| 300             | 0,252           | 0,318                   |
| 400             | 0,22            | 0,307                   |
| 500             | -*              | 0,297                   |

\*Примечание: линейная модель применима до  $T_{кр}=400$  °C.

Анализ результатов показывает, что при температуре порядка 400 °C коэффициент трения снижается примерно на 35% относительно номинального значения. В диапазоне температур до 300 °C расхождение между линейной и экспоненциальной моделями не превышает 6 %, что допускает использование линейной аппроксимации для инженерных расчётов.

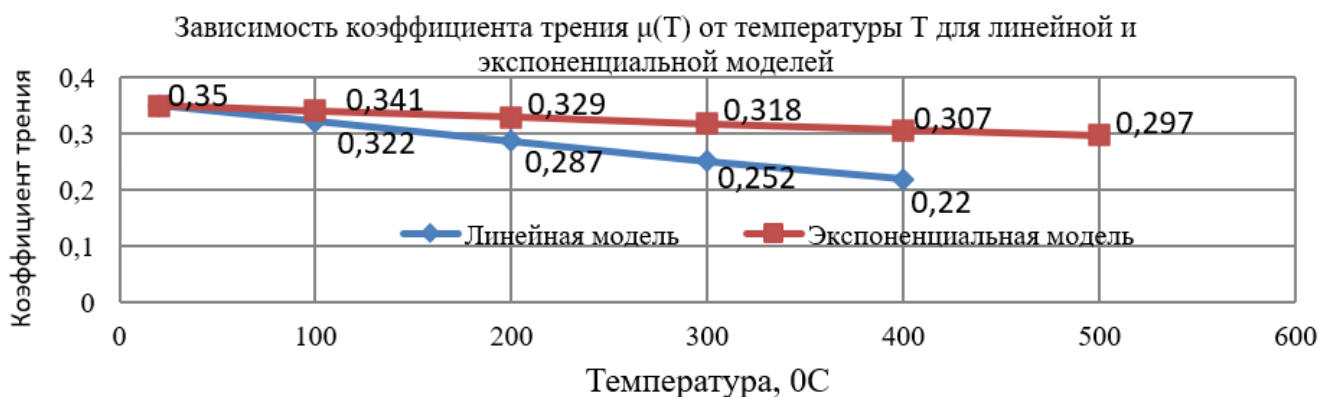


Рисунок 1 — Изменение коэффициента трения  $\mu$  в зависимости от температуры  $T$  при линейной и экспоненциальной аппроксимации

График показывает, что при умеренных температурах (до 200 °C) различия между моделями незначительны, однако при высоких температурах экспоненциальная модель обеспечивает физически корректное асимптотическое поведение коэффициента трения.

**Выводы**

1. Разработана математическая модель температурного влияния на коэффициент трения тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz W211, учитывающая процесс температурного фейдинга фрикционных материалов при нагреве тормозного диска.

2. Введён температурный коэффициент фейдинга  $k'$ , позволяющий количественно описывать скорость снижения коэффициента трения при увеличении температуры и унифицировать линейную и экспоненциальную модели деградации фрикционных свойств.

3. Установлено, что при достижении температуры тормозного диска порядка 400 °C коэффициент трения снижается приблизительно на 35 % по сравнению с номинальным значением, что соответствует экспериментальным данным для тормозных систем, работающих в условиях интенсивных тепловых нагрузок.

4. Показано, что в рабочем диапазоне температур тормозного диска расхождение между линейной и экспоненциальной моделями коэффициента трения является незначительным, что допускает использование линейной аппроксимации для инженерных расчётов тормозного пути.

5. Экспоненциальная модель обеспечивает более корректное описание поведения коэффициента трения при высоких температурах и может быть использована для анализа глубокого температурного фэйдинга и оценки тепловой устойчивости тормозных систем.

### Заключение

В работе разработана математическая модель температурного влияния на коэффициент трения тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz W211, позволяющая учитывать процесс температурного фэйдинга при инженерных расчётах. Введение температурного коэффициента фэйдинга дало возможность формализовать снижение фрикционных свойств тормозных механизмов при нагреве и обеспечить сопоставимость линейной и экспоненциальной аппроксимаций.

Показано, что линейная модель может быть эффективно использована для расчётов в диапазоне рабочих температур тормозного диска, характерных для большинства эксплуатационных режимов. Экспоненциальная модель, в свою очередь, обеспечивает более корректное описание поведения коэффициента трения при высоких температурах и может применяться для анализа глубокого температурного фэйдинга и оценки тепловой устойчивости тормозных систем.

Полученные зависимости могут быть использованы при расчёте тормозного пути, анализе эффективности торможения и разработке рекомендаций по эксплуатации автомобилей в условиях повышенных тепловых нагрузок, в том числе при движении в горной местности.

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

### Литература

1. Куликов В.А. Физика трения и износа. – М.: Машиностроение, 2018.
2. Иванов И.И. *Модель температурного влияния на коэффициент трения тормозных систем автомобилей* // Транспорт. – 2022. – № 3. – С. 45–53.
3. Давлатшоев, Р. А. Моделирование тормозных сил и тепловых процессов при движении автомобиля на уклоне / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 2(70). – С. 104-109. – EDN YESVJT.
4. Mercedes-Benz W211 Technical Manual. – 2006.
5. Мельников С.П. Надёжность и тепловая устойчивость автомобильных тормозных систем. – СПб.: Питер, 2019.
6. Давлатшоев, Р. А. Надёжность и работоспособность тормозной системы автомобиля при движении на уклонах / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 4(72). – С. 77-83. – DOI 10.65599/GCOK1719. – EDN DXGWFA.
7. Ременцов, А. Н. Анализ состояния аварийности на горных автомобильных дорогах Республики Таджикистан / А. Н. Ременцов, Р. А. Давлатшоев, Д. Ш. Тошев // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – № 2(30). – С. 54-57. – EDN UNRLXF.

### 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 ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент                                                                   | к.т.н, доцент                                                 | Candidate of Technical Sciences                       |
| E mail: <a href="mailto:d_rashid71@mail.ru">d_rashid71@mail.ru</a>               |                                                               |                                                       |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-7317-5245">ORCID Id 0000-0002-7317-5245</a> |                                                               |                                                       |

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

С.Б. Мирзозода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматривается подход к цифровому мониторингу состояния автомобильных дорог и транспортной доступности в горных регионах Таджикистана на основе современных геоинформационных технологий. В первой части обосновывается актуальность перехода от эпизодических полевых обследований к систематическому мониторингу с использованием спутниковых снимков, данных беспилотных летательных аппаратов и единого ГИС-портала дорожной сети. Описываются методика интеграции разнородных данных дистанционного зондирования и наземных измерений, а также процедуры их предварительной обработки, геопривязки и валидации. Особое внимание уделено разработке структуры единого ГИС-портала, обеспечивающего хранение, обновление и визуализацию информации о состоянии дорожного полотна и элементах дорожной инфраструктуры в горных условиях. Показаны возможности геоинформационного анализа для выявления зон ускоренной деградации покрытия, оценки влияния рельефа и климатических факторов, а также для расчёта показателей транспортной доступности населённых пунктов и социально значимых объектов. Предлагаемый подход позволяет поддерживать принятие решений по ремонту и содержанию дорог, повышать эффективность использования ограниченных финансовых ресурсов и формировать основу для внедрения системы управления дорожными активами в Республике Таджикистан.

**Ключевые слова:** геоинформационный мониторинг, спутниковые данные, ГИС-портал, деградация дорожного полотна, горные дороги, транспортная доступность, СУДА.

### МОНИТОРИНГИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ХОЛАТИ РОҲҶОИ АВТОМОБИЛГАРД

С.Б. Мирзозода

Дар ин мақола равиши мониторинги рақамии ҳолати роҳҳои автомобилгард ва дастрасии нақлиёт дар минтақаҳои кӯхистони Тоҷикистон дар асоси технологияҳои муосири геоинформатсионӣ баррасӣ мешавад. Дар баҳши аввал зарурати гузариш аз тадқиқоти саҳроии гоҳ-гоҳ ба мониторинги системавӣ бо истифода аз аксҳои моҳвораӣ, маълумоти дастгоҳҳои ҳавопаймоии бесарнишин ва портали ягонаи ГИС барои шабакаи роҳҳо асоснок карда мешавад. Дар он методологияи муттаҳид кардани маълумоти гуногуни зондунии дурдаст ва заминӣ, инчунин тартиби коркарди пешакӣ, геореференс ва тасдиқи онҳо тавсиф шудааст. Таваҷҷӯҳи махсус ба таҳияи сохтори ягонаи портали ГИС, ки имкон медиҳад маълумот дар бораи шароити сатҳи роҳ ва унсурҳои инфрасохтори роҳ дар минтақаҳои кӯхистон нигоҳдорӣ, навсозӣ ва визуализатсия карда шавад, равона карда шудааст. Имконияти таҳлили геоинформатсионӣ барои муайян кардани қитъаҳои харобшавии босуръати роҳ, арзёбии таъсири омилҳои релеф ва иқлимӣ ва ҳисоб кардани нишондиҳандаҳои дастрасии нақлиёт барои минтақаҳои аҳолинишин ва иншооти аҳамияти иҷтимоӣ нишон дода шудааст. Равиши пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки қабули қарорҳо дар бораи таъмир ва нигоҳдории роҳҳо дастгирӣ карда шавад, самаранокии захираҳои маҳдуди молиявӣ афзоиш ёбад ва замина барои татбиқи системаи идоракунии дороиҳои роҳ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон фароҳам оварда шавад.

**Калидвожаҳо:** мониторинги геоинформатсионӣ, маълумоти моҳвораӣ, портали ГИС, вайроншавии сатҳи роҳ, роҳҳои кӯҳӣ, дастрасии нақлиёт, СИДР.

### GEOS INFORMATION MONITORING OF ROAD CONDITIONS

S.B. Mirzozoda

This article examines an approach to digital monitoring of road conditions and transport accessibility in the mountainous regions of Tajikistan based on modern geoinformation technologies. The first section substantiates the need to transition from occasional field surveys to systematic monitoring using satellite imagery, unmanned aerial vehicle data, and a unified GIS portal for the road network. It describes a methodology for integrating disparate remote sensing and ground-based data, as well as procedures for their preprocessing, georeferencing, and validation. Particular attention is paid to the development of a unified GIS portal structure that enables the storage, updating, and visualization of information on road surface conditions and road infrastructure elements in mountainous areas. The potential of geoinformation analysis for identifying areas of accelerated road degradation, assessing the impact of terrain and climatic factors, and calculating transport accessibility indicators for populated areas and socially significant facilities is demonstrated. The proposed approach allows supporting decision-making on road repair and maintenance, increasing the efficiency of limited financial resources, and forming the basis for the implementation of a road asset management system in the Republic of Tajikistan.

**Keywords:** geoinformation monitoring, satellite data, GIS portal, roadway degradation, mountain roads, transport accessibility, RAMS.

### Введение

В горных и предгорных районах Республики Таджикистан дорожные покрытия деградируют быстрее из-за климатических и геологических факторов, сезонных воздействий и повышенной

нагрузки на отдельные участки сети. При этом классические обследования требуют значительных ресурсов и не всегда обеспечивают нужную частоту наблюдений. Геоинформационный мониторинг анализируется как практическая альтернатива и дополнение к полевым обследованиям: он объединяет дистанционные данные, наземные источники и аналитические процедуры в едином цифровом контуре управления [8, 10, 11, 16].

Цель работы - обосновать компактный технологический контур геоинформационного мониторинга состояния дорог, включающий сбор данных (спутник, БПЛА), предобработку, распознавание дефектов, прогноз и представление результатов в виде картографических слоёв и показателей для принятия решений [8, 10, 11, 16].

### Данные дистанционного зондирования: спутники и БПЛА

Спутниковые изображения обеспечивают регулярность и широкий охват. Современные системы позволяют получать снимки с разрешением от десятков метров до субметрового уровня (в зависимости от платформы). Типовые задачи включают обнаружение протяжённых дефектов, оценку изменений во времени, а также формирование индикаторов состояния для участков сети [2, 3].

БПЛА дополняют спутниковые данные детальностью и гибкостью: съёмка выполняется по требованию, в том числе на труднодоступных участках, с получением фотоматериалов высокой чёткости, видео и (при наличии) LiDAR-данных. В практических сценариях БПЛА применимы для подтверждения дефектов, контроля качества работ и уточнения геометрии повреждений [3, 4].

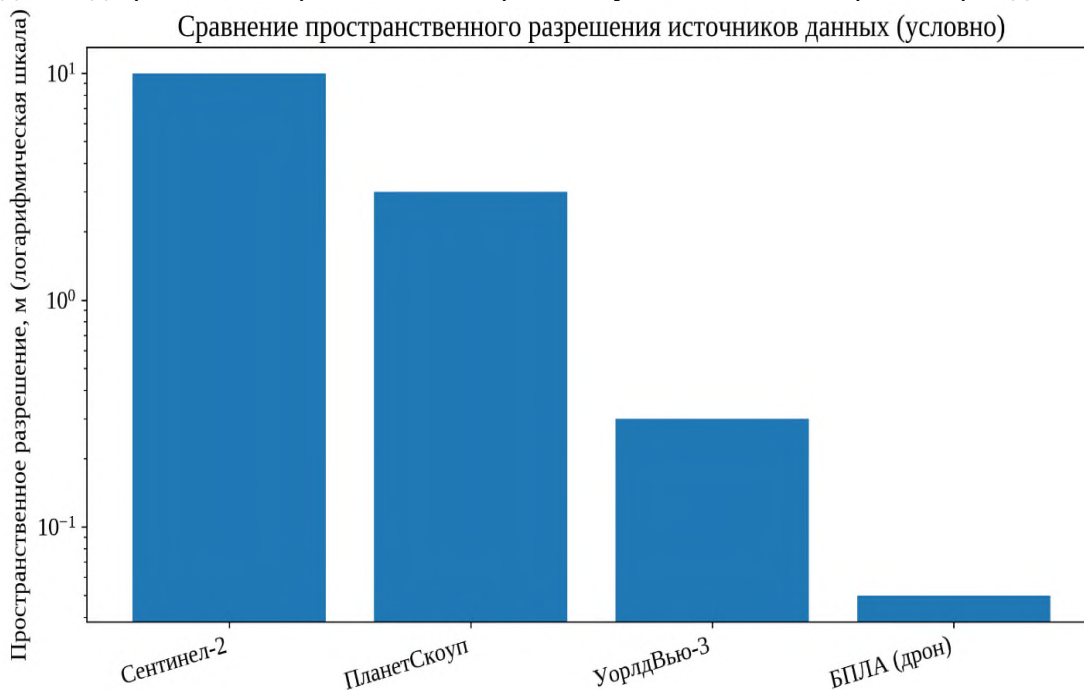


Рисунок 1 - Сравнение разрешения источников данных (условные ориентиры)

На Рис. 1 по оси X - это источники данных, по которым сравнивается пространственное разрешение (детальность снимка):

- Сентинел-2 - спутниковые снимки среднего разрешения (обычно порядка 10 м для видимых каналов). Подходит для мониторинга сети в целом и крупных изменений.
- ПланетСкоуп - коммерческие спутники более высокого разрешения (порядка 3 м). Удобно для более детального контроля участков и частых наблюдений.
- УорлдВью-3 - спутник сверхвысокого разрешения (субметровый уровень, условно около 0,3 м). Применим для детального анализа объектов и локальных дефектов.

- БПЛА (дрон) - аэросъёмка с очень высоким разрешением (сантиметровый уровень, условно 0,05 м). Лучший вариант для обследования конкретных проблемных зон и фиксации дефектов.

Рисунок показывает, что чем меньше значение «м» (метров на пиксель), тем выше детализация. На логарифмической шкале видно резкое улучшение детальности от спутников среднего разрешения (Сентинел-2) к коммерческим спутникам (ПланетСкоуп, УорлдВью-3) и далее к БПЛА. Практически это означает: спутники удобны для регулярного сетевого мониторинга, а БПЛА - для точного обследования и подтверждения дефектов на приоритетных участках.

#### **Рекомендации по внедрению системы в Таджикистане:**

1. Организовать национальную систему дистанционного мониторинга дорог, совмещающую спутниковые и дроновые наблюдения.
2. Выбрать пилотные участки дорог (например, Душанбе-Худжанд и Душанбе-Хорог) и провести синхронную съёмку.
3. Обеспечить геопривязку к существующим данным IRI и PCI, накопленным в Согдийской области.
4. Внедрить нейросетевые алгоритмы анализа изображений (CNN, Mask RCNN) для автоматического распознавания дефектов.
5. Интегрировать результаты в цифровую платформу ДПУС-РТ, создавая национальную «карту состояния дорожных покрытий».

Использование спутниковых и дроновых данных в дорожной отрасли открывает новые возможности для эффективного и регулярного мониторинга состояния дорог.

Спутники обеспечивают широкое покрытие и историческую ретроспективу, а дроны - высокую детализацию и точность. Совместное применение этих технологий в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта формирует основу интеллектуальной системы диагностики и управления состоянием дорожной сети [1, 2, 4].

#### **Создание единого ГИС-портала дорожной сети Таджикистана**

Современное управление автомобильными дорогами требует интеграции геопространственных данных, аналитики и цифрового мониторинга. В условиях Республики Таджикистан, где дорожная сеть протяжённостью более 26 000 км распределена по сложным горным рельефам, традиционные формы учёта и контроля не обеспечивают необходимой оперативности и точности [8].

Мировой опыт показывает, что внедрение национальных геоинформационных систем (ГИС) значительно повышает эффективность управления дорожными активами. Так, в ЕС и США уже действуют открытые веб-порталы с дорожными данными - FHWA GIS Portal (США) и INSPIRE Transport Data Infrastructure (ЕС) [5, 6].

Создание Единого ГИС-портала дорожной сети Республики Таджикистан (ГИС-ДРТ) должно стать ключевым элементом национальной цифровой стратегии транспорта [9]. Этот портал объединит данные о дорогах, мостах, тоннелях, покрытиях, дефектах и ремонтах, обеспечивая их доступность, обновляемость и совместимость.

Главная цель создания портала - обеспечить единую цифровую платформу для хранения, анализа и визуализации данных о дорожной сети страны.

Основные задачи создания единого портала:

1. *Интеграция данных* различных ведомств (Министерство транспорта, Региональные управления, Проектный институт и др.) в единую базу [9].
2. *Создание национальной топологической модели дорог*, связанной с кадастровыми, климатическими и транспортными слоями.
3. *Разработка интерактивных инструментов анализа*, включая поиск по атрибутам, построение отчётов, фильтрацию по регионам.
4. *Обеспечение открытого доступа к данным* (Политика открытых данных World Bank Open Data Initiative - Инициатива Всемирного банка по открытым данным).
5. *Внедрение механизмов автоматического обновления* из мобильных и диагностических систем (RTRRMS, FWD, LIDAR).

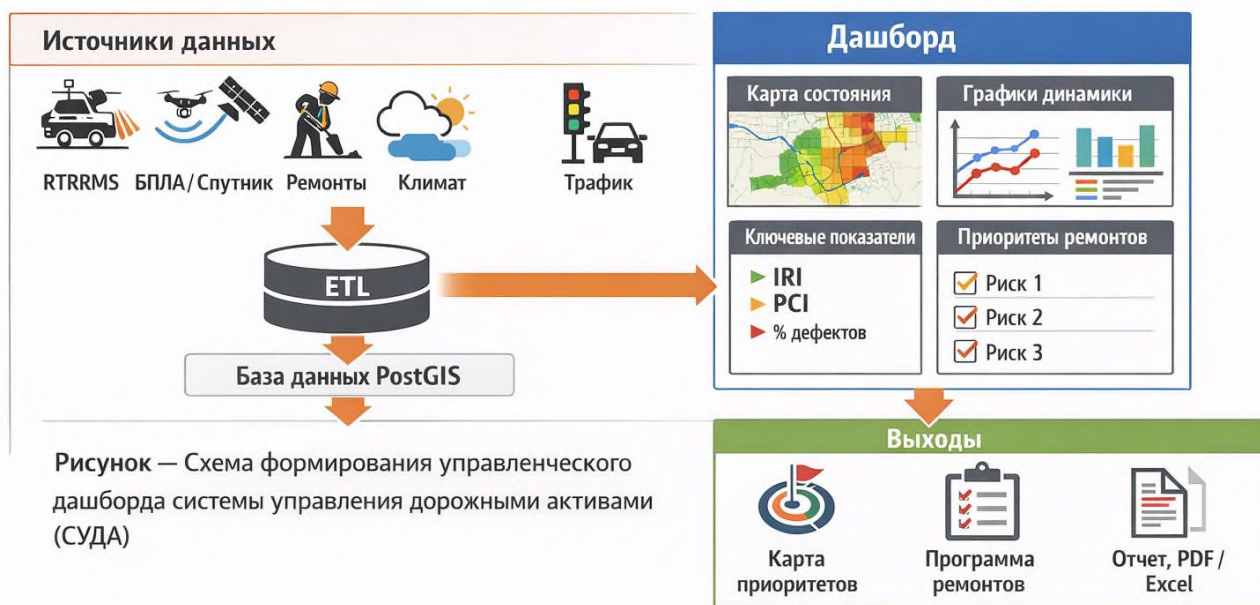
Далее в таблице 1 представлена типовая структура национального ГИС-портала, который включает пять уровней [5, 7].

Таблица 1 - Типовая структура национального единого ГИС-портала

| Уровень                    | Основное назначение                                                              | Примеры технологий          |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Хранение данных         | Централизованная база пространственных данных (дороги, покрытия, мосты, ремонты) | PostgreSQL + PostGIS        |
| 2. ETL-интеграция          | Загрузка, очистка и конвертация из различных форматов                            | FME Server, GDAL            |
| 3. Аналитика и расчёты     | Прогнозирование состояния, индексы IRI, PCI, ROI (Э)                             | Python, R, HDM-IV           |
| 4. Сервисный уровень (API) | Web Services (WMS, WFS, REST) для внешних систем                                 | GeoServer, ArcGIS Server    |
| 5. Визуализация            | Веб-интерфейс, дашборды, тематические карты                                      | Leaflet, OpenLayers, Mapbox |

Для поддержки управленческих решений в СУДА целесообразно применять дашборды (управленческие панели) как единый слой визуальной аналитики, который преобразует первичные данные диагностики и ремонтов в показатели, карты приоритетов и отчёты по сети. Дашборды должны работать поверх единой базы (PostGIS/геобазы) и обеспечивать согласованность данных между уровнями управления: Министерство транспорта — региональные управления — дорожные службы — проектные организации. В технических требованиях к системе управления дорожными активами (СУДА/RAMS) отдельно подчеркивается необходимость персонализированных дашбордов в режиме реального времени, возможности экспорта отчётов, графиков, карт в распространённые форматы, а также разграничения доступа и ведения журналов аудита [10].

На Рис. 2 представлена схема формирования управленческого дашборда СУДА.



Функциональное назначение дашбордов в контуре СУДА:

- оперативная оценка состояния сети по ключевым индикаторам (IRI, PCI, дефектность, доля участков в «красной зоне»);
- контроль динамики состояния во времени (по месяцам, кварталам, сезонам) и выявление ухудшений;
- формирование карты приоритетов обследований и ремонтов на основе порогов, рисков и ограничений бюджета;

- мониторинг выполнения дорожных работ: план/факт, участки «до/после», качество и сроки;  
 - подготовка стандартизированных отчётов для руководства и внешних партнёров (экспорт в PDF, Excel, GeoPackage).

Минимальные требования к дашбордам СУДА:

1. Привязка показателей к линейной системе координат (км+м) и к сегментации сети;
2. Фильтрация по региону, категории, типу покрытия, подрядчику, периоду;
3. Прозрачные правила расчёта эффективности - KPI (описание формул и источников данных);
4. Разграничение доступа по ролям и записывание действий в журнал (аудит);
5. Возможность выгрузки картографических слоёв и отчётов в распространённых форматах.

Такой подход снижает нагрузку на специалистов, уменьшает риск несогласованности данных и обеспечивает переход от разрозненных таблиц и отчётов к управлению дорожными активами на основе единого цифрового контура [5].

В таблице 2 в качестве примера представлена структура данных единого ГИС-портала для Республики Таджикистан.

Таблица 2 - Пример структуры данных для единого ГИС-ДРТ

| Раздел                   | Тип данных                          | Источник                       |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Дорожная сеть            | Геометрия, категория, протяжённость | Минтранс РТ, OSM               |
| Покрытие                 | Материал, толщина, дата ремонта     | УХАД Согда, LAB TTU            |
| Диагностика              | IRI, PCI, дефекты, колеиность       | RTRRMS, LIDAR                  |
| Сооружения               | Мосты, трубы, тоннели, ограждения   | Инвентарные данные             |
| Климат                   | Средняя t°, осадки, морозостойкость | Агентство гидрометеорологии РТ |
| Интенсивность движения   | ESAL, AADT, категории ТС            | Минтранс РТ                    |
| Экономические показатели | Стоимость, NPV, PI                  | Проектные институты            |

#### Международный опыт применения единого ГИС-портала:

- В США портал Highway Performance Monitoring System (HPMS) обеспечивает централизованный сбор и отображение данных по всем штатам: обновление - 1 раз в год [5].
- В ЕС внедрена платформа INSPIRE Transport, объединяющая дорожные и железнодорожные слои и использующая OGC-стандарты обмена данными [6].
- В Казахстане реализован проект СУДА-KZ, в котором дорожные данные, диагностика IRI и PCI, а также прогнозы интегрированы в ГИС-портал Минтранса [11].
- В Таджикистане начальные наработки представлены на национальном Geoportal-TJ, однако этот портал не содержит данных о ремонтах и эксплуатации [8].

**Преимущества** внедрения единого портала:

- Повышение точности решений - все данные доступны в единой среде [6].
- Снижение дублирования - отказ от разрозненных Excel-баз [11].
- Оперативный контроль состояния - доступ к данным IRI и ремонтам в реальном времени [10].
- Прозрачность и общественный контроль - открытые карты и отчёты.
- Поддержка стратегического планирования - сценарные анализы и прогнозы (модули HDM-IV) [7].

#### Недостатки и ограничения:

- Неоднородность форматов исходных данных (Shape, CSV, KML).
- Отсутствие регулярных обследований и периодичности обновлений [10].
- Недостаточная квалификация персонала в работе с ГИС и базами PostGIS [9].
- Ограниченные финансовые ресурсы и инфраструктура серверов [11].

В таблице 3 представлены этапы реализации проекта по внедрению единого ГИС-портала с учетом ожидаемого результата.

Таблица 3 - Этапы внедрения единого ГИС-портала

| Этап            | Содержание                                                 | Ожидаемый результат               |
|-----------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Подготовка   | Анализ существующих данных (Geoportal-TJ, OSM)             | Отчёт об актуальности слоёв       |
| 2. Разработка   | Проектирование структуры БД, метаданных, API               | Прототип портала                  |
| 3. Интеграция   | Импорт данных RTRRMS, IRI, FWD                             | Единая база состояния дорог       |
| 4. Тестирование | Проверка по регионам (Согдийская и/или Хатлонская области) | Исправленные атрибуты и геометрия |
| 5. Обучение     | Повышение квалификации специалистов                        | Методические материалы            |
| 6. Эксплуатация | Запуск и поддержка на сервере Минтранса                    | Полнофункциональный портал        |

Ожидаемый эффект от внедрения единого ГИС-портала:

- Экономия бюджетных средств на обследования - до 25 % [11].
- Повышение скорости принятия решений в 3-4 раза [5].
- ROI (окупаемость инвестиций)  $\approx$  160 % за 2 года эксплуатации [11].
- Повышение прозрачности и доверия международных партнёров (ADB, EBRD, World Bank).

Создание единого ГИС-портала дорожной сети Республики Таджикистан - необходимый шаг для перехода от разрозненных данных к интегрированной системе управления дорожными активами.

ГИС-портал станет центральным элементом цифровой платформы ДПУС-РТ, обеспечивающим актуальные данные, прогнозы и аналитику для всех уровней управления дорогами [9, 11, 16].

### Геоинформационный анализ деградации дорожного полотна в горных условиях

Дорожные покрытия, расположенные в горных районах, подвержены ускоренной деградации под воздействием геоморфологических и климатических факторов - крутых уклонов, повышенной влажности, водной эрозии, оползней и колебаний температур [12]. В таких условиях стандартные методы обследования (визуальные и мобильные) не обеспечивают полной картины, особенно в труднодоступных районах. Решением становится использование геоинформационных систем (ГИС), которые позволяют комплексно анализировать пространственные факторы, определяющие скорость разрушения дорожных конструкций [10].

### Геоинформационный подход к анализу деградации.

Влияние природных и антропогенных факторов на состояние покрытия в горных условиях можно выразить через пространственные слои (пространственные факторы деградации):

- уклон и экспозиция склона, определяющие интенсивность стока;
- тип грунта и геологическая структура, влияющие на несущую способность;
- количество осадков и водоотвод, определяющие уровень водонасыщения;
- температурные колебания и циклы замораживания-оттаивания;
- растительный покров и эрозионная устойчивость склонов.

GIS-анализ этих факторов помогает выявить закономерности между характеристиками рельефа и степенью разрушения дорожного полотна.

Для горных регионов Таджикистана (Заравшан, Рашт, Памир) возможна интеграция следующих данных и источников:

- цифровых моделей высот (SRTM, ALOS) для расчёта уклонов;
- климатических слоёв (WorldClim, NASA POWER);
- геологических и грунтовых карт;
- диагностических данных (IRI, PCI, колейность) из обследований RTRRMS и LIDAR;
- спутниковых изображений для оценки поверхностных деформаций [2].

### Методы и инструменты геоинформационного анализа.

Методы пространственной корреляции (Moran's I, Getis-Ord  $G_i^*$ ) позволяют выявлять зоны повышенной деградации, связанные с уклонами, типом грунта и водоотводом.

Так, в исследовании Pantha B. R. (2010) установлено, что на дорогах с уклоном более 7° скорость образования колеи увеличивается в среднем на 30 % [12].

В работе Mehdi M. A. et al. (2021) предложен метод визуализации процессов разрушения асфальтобетона на основе объединения данных GPS, DEM и наблюдений PCI.

Модели машинного обучения (Random Forest, XGBoost), применяемые в GIS-средах, показывают точность прогноза IRI в диапазоне 85-92 %.

Для горных условий применяются и гибридные модели, учитывающие геоморфологические параметры:

- Landslide susceptibility + Pavement distress mapping (He Q. et al., 2025) [13];
- GIS-based trail degradation prediction (Jo H. et al., 2025).

### Многокритериальная оценка (МСЕ/МСДА)

Модели Multi-Criteria Evaluation объединяют несколько пространственных факторов (уклон, осадки, тип грунта, водоотвод, материал покрытия) с весовыми коэффициентами.

Например, в исследовании Long C. et al. (2023) применена методика GIS-MCE для оценки устойчивости лесных (технических) дорог.

Карта риска деградации была построена по формуле 1:

$$R = \sum(W_i \times F_i), \quad (1)$$

где  $W_i$  - вес фактора,  $F_i$  - нормализованное значение слоя.

Для горных автомобильных дорог этот подход можно адаптировать с учётом показателей IRI и данных RTRRMS, что позволяет определять участки с высоким риском разрушения [10, 13].

Для практической реализации метода геоинформационного анализа деградации дорожного полотна в горных условиях Таджикистана рекомендуется следующая структура анализа:

1. Сбор данных DEM (SRTM/ALOS), геологии и осадков (GPM IMERG) для регионов Памира и Согда.

2. Интеграция данных RTRRMS и PCI, собранных на маршрутах Душанбе-Хорог и Душанбе-Истаравшан.

3. Пространственное наложение (Overlay Analysis) и создание карты уязвимости.

4. Построение регрессионной модели деградации ( $IRI=f(\text{уклон, осадки, грунт})$ ).

5. Проверка модели по данным за 2023-2025 гг.

6. Визуализация и интеграция в ГИС-портал ДПУС-РТ.

**Преимущества** геоинформационного анализа:

- Пространственная привязка дефектов и факторов;
- Возможность прогнозирования деградации с учётом климатических изменений;
- Визуализация зон риска и планирование превентивных ремонтов;
- Интеграция с ГИС-порталом дорожной сети.

**Недостатки и ограничения:**

- Ограниченность детализированных DEM и климатических данных;
- Высокая вычислительная нагрузка при моделировании больших территорий;
- Необходимость регулярного обновления обследований [10].

Геоинформационный анализ позволяет перейти от локальных наблюдений к пространственно интегрированному пониманию процессов деградации дорожных покрытий в горных условиях.

Внедрение GIS-моделей в дорожную отрасль Таджикистана обеспечит раннее выявление уязвимых участков, рациональное планирование ремонтов и повышение устойчивости дорожной сети [12, 13].

### Интеграция в ГИС-портал и поддержка решений

Для устойчивой эксплуатации результатов мониторинга требуется интеграция в ГИС-портал (или корпоративную ГИС): единые справочники и классификаторы, хранение версий данных,

привязка к линейной системе координат, веб-сервисы публикации (WMS/WFS/REST), а также типовые дашборды для руководителей и инженерного персонала. Ключевым преимуществом является возможность формировать карты приоритетов ремонтов и отчёты по сети в одном контуре [9, 10, 14].

На **Рис. 3** представлена инженерная схема алгоритма формирования управленческих решений в СУДА.

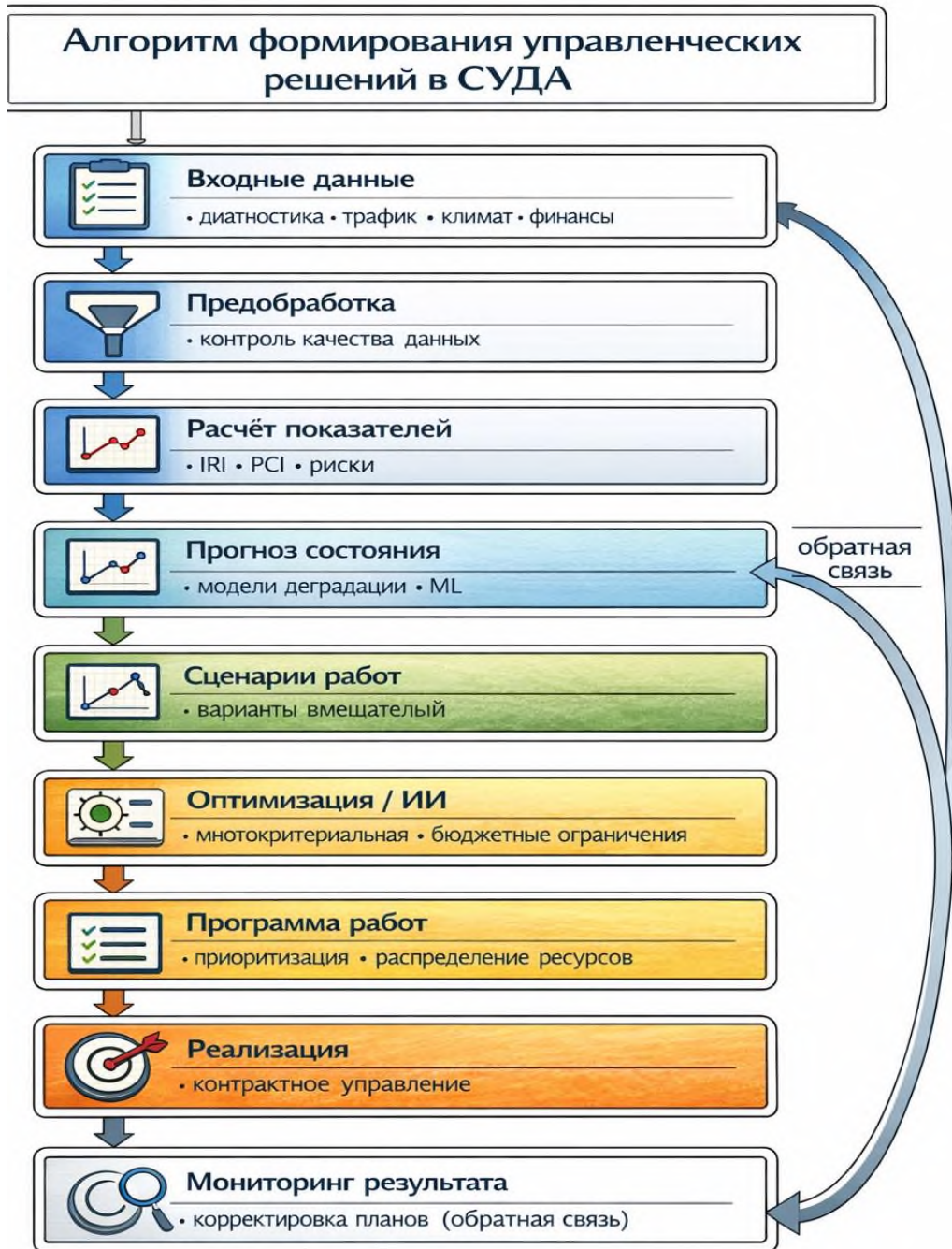


Рисунок 3 - Инженерная схема алгоритма формирования управленческих решений в СУДА

### Применение цифровых ГИС-моделей

В работах Truden P. et al. (2023) и Soldatke N. et al. (2024) продемонстрированы методы оценки доступности городских территорий на основе данных GPS и маршрутов общественного

транспорта. Эти исследования показали, что основное неравенство доступа формируется не из-за расстояния, а из-за времени ожидания и плотности маршрутов.

Для горных стран (включая Таджикистан) актуальны исследования, подобные Haamer M. et al. (2025), где динамическая модель доступности строится с учётом сезонных и погодных ограничений движения по горным перевалам.

### Пример применения в Таджикистане

Создание модели транспортной доступности для регионов Согда и ГБАО может базироваться на следующих этапах [10, 15]:

1. Сбор пространственных данных о дорогах (Geoportals-TJ, OSM).
2. Присвоение весов участкам дорог в зависимости от категории, уклона и покрытия.
3. Расчёт времени движения методом Cost Distance Analysis (Анализ стоимости и расстояния).
4. Построение изохрон (5, 15, 30, 60 минут) для ключевых объектов.
5. Визуализация результатов на ГИС-карте для оценки доступности населённых пунктов.

Такие модели позволяют определить, какие районы требуют улучшения дорожного сообщения, например, строительство обходов, мостов, подъездных дорог [15].

Преимущества:

- Позволяет интегрировать дорожную сеть, топографию и социальные данные;
- Поддерживает многосценарный анализ (сезонность, новые дороги, ремонт);
- Обеспечивает визуальное представление неравномерности доступности;
- Облегчает обоснование инвестиций и стратегическое планирование [10, 14].

Недостатки и ограничения:

- Требуется высокая точность данных по скорости и состоянию дорог;
- Сложность учёта временных факторов (трафик, погода, ремонты);
- Необходимость квалифицированных специалистов для работы с сетевыми ГИС-моделями.

Применение цифровых ГИС-моделей для оценки транспортной доступности обеспечивает научно обоснованный подход к планированию дорожной сети.

Для Республики Таджикистан, где транспортная инфраструктура ограничена горным рельефом и низкой плотностью дорог, такие модели позволяют выявлять зоны транспортной изоляции и определять приоритетные участки для развития. Цифровая доступность становится не просто показателем, а инструментом пространственного анализа и социально-экономического прогнозирования [7, 15].

### Заключение

Геоинформационный мониторинг, основанный на сочетании спутниковых и дроновых данных, обеспечивает принципиально новый уровень наблюдения за состоянием дорожных покрытий, позволяя совмещать широкий пространственный охват со высокой детализацией и регулярностью обновления информации.

Интеграция результатов дистанционного зондирования с нейросетевыми методами анализа изображений даёт возможность автоматизировать распознавание дефектов, оценивать показатели IRI и PCI и формировать цифровую «карту состояния» сети, включая труднодоступные горные участки.

Создание единого ГИС-портала дорожной сети Таджикистана является ключевым элементом цифровой платформы управления дорожными активами: он обеспечивает централизованное хранение, обработку и визуализацию данных о дорогах, покрытиях, сооружениях, ремонтах и диагностике, снижая дублирование и повышая прозрачность решений.

Геоинформационный анализ деградации дорожного полотна в горных условиях, основанный на учёте рельефа, климата, грунтов и эксплуатационных нагрузок, позволяет выделять зоны повышенного риска, прогнозировать развитие повреждений и обосновывать приоритеты превентивных ремонтов.

Цифровые ГИС-модели транспортной доступности дают инструмент количественной оценки пространственного неравенства доступа к ключевым объектам и помогают обосновывать

инвестиции в развитие дорожной сети, особенно в регионах с низкой плотностью дорог и сложным рельефом.

Внедрение предложенного комплекса решений (спутниковый и дронавый мониторинг, единый ГИС-портал, ГИС-анализ деградации и доступности) в дорожной отрасли Таджикистана создаёт основу для перехода от разрозненных обследований к интегрированной системе геоинформационного мониторинга, повышающей устойчивость, эффективность и обоснованность управления дорожной сетью.

*Рецензент: Умаров С.С. - к.т.н., и.о. доцента кафедры "Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ППУ им. акад. М.С. Осими.*

### Литература

1. Muhebwa A., Miller R. и др. Evaluating Road Quality over Time Using Satellite Imagery. World Bank, 2024.
2. Chen L. A., Han B. и др. Enhancing Road Damage Identification in Satellite Images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2025.
3. Liu C., Zhang Y. и др. Road Condition Detection and Emergency Rescue Using UAV Video and Multispectral Imagery. Remote Sensing, 2022. DOI: 10.3390/rs14174355.
4. Outay F., Mengash H., Kamil M. Applications of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Road Condition Assessment. Procedia Computer Science, 2020.
5. FHWA (U.S.). GIS for Internet Portals. Federal Highway Administration, 2023.
6. European Commission. INSPIRE Directive: Transport Data Infrastructure. 2024.
7. Esri Inc. ArcGIS Enterprise System Design for Transportation. 2022.
8. Геортал Таджикистан. Национальный геоинформационный портал. Душанбе, 2021.
9. Министерство транспорта Республики Таджикистан. Концепция цифровой трансформации дорожной отрасли на 2024-2030 гг. Душанбе, 2024.
10. Мирзозода С.Б. Система управления дорожными активами (СУДА): монография / С.Б. Мирзозода, О.А. Красиков, Б.Б. Каримов. - Душанбе: Ирфон, - 2023. - 264 с.
11. Каганович В.Е., Утегенов А.Б. Информационные системы управления дорожными активами: опыт Казахстана. Алматы: КазДорНИИ, 2023.
12. Pantha B. R., Chong W. K., Yang J. GIS-Based Highway Maintenance Prioritization Model. Journal of Transport Geography, 2010. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2009.06.016.
13. He Q., Zhang Y. Evaluation of Landslide Susceptibility along Mountain Highways Using GIS and Machine Learning. Scientific Reports, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-08774-w.
14. Ford A.C., Sykes O., Higgs G. Transport Accessibility Analysis Using GIS: assessing different modes and scenarios. 2015. DOI: 10.3390/ijgi4010124.
15. World Bank. Improving Rural Accessibility in Central Asia: GIS-Based Planning Framework. 2024.
16. Mirzozoda S.B. A GIS framework for road asset monitoring in mountainous regions: A Tajikistan case / J.I. Sodikov, Dr. Konsta Sirvio, S.B. Mirzozoda / International scientific Journal "ENGINEER" of Tashkent State University of Transport. Volume 4, ISSUE 1, March, 2026. -P. 5-13. E-ISSN: 3030-3893, ISSN: 3060-5172, <https://doi.org/10/56143/3030-3893-2026-1-5-13>

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

| TJ                                                                            | RU                                                                  | EN                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Мирзозода Сухроб Бегмат                                                       | Мирзозода Сухроб Бегмат                                             | Mirzozoda Sukhrob Begmat                                          |
| номзади илмҳои техники, и.в.<br>дотсент                                       | кандидат технических наук, и.о.<br>доцента                          | candidate of technical sciences,<br>acting associate professor    |
| Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University<br>named after academician M.S. Osimi. |
| E-mail: <a href="mailto:sukhrob63@mail.ru">sukhrob63@mail.ru</a>              |                                                                     |                                                                   |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-9817-3633">ORCID 0000-0002-9817-3633</a> |                                                                     |                                                                   |

## ОБОБЩЁННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕАЛИЗУЕМОГО ПРОДОЛЬНОГО ЗАМЕДЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С УЧЁТОМ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЁС, ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗОВ И РАБОТЫ СИСТЕМ ABS/EBD

Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье представлена обобщённая аналитическая модель реализуемого продольного замедления автомобиля, учитывающая одновременно температурный фэйдинг тормозных механизмов, сцепные свойства дорожного покрытия, динамическое перераспределение вертикальных нагрузок и работу электронных систем ABS/EBD. Показано, что реализуемое замедление определяется минимумом между тормозной способностью системы и пределом сцепления шин с дорогой. Проведён численный расчёт для автомобиля Mercedes W211 на уклоне 5°, учитывающий нагрев тормозов. Полученные результаты демонстрируют существенное влияние фэйдинга тормозов на эффективность торможения и подчёркивают ограниченные возможности электронных систем безопасности по компенсации снижения тормозной силы.

**Ключевые слова:** реализуемое замедление, тормозная система, фэйдинг, сцепление колёс с дорогой, ABS, EBD, динамическое перераспределение нагрузок.

## МОДЕЛИ УМУМИИ АНАЛИТИКИИ СУСТШАВИИ ТЎЛИИ ВОҶЕИИ АВТОМОБИЛ БО ДАРНАЗАРДОШТИ ЧАСПИШИ ЧАРҲҶО БО РОҲ, ҲОЛАТИ ГАРМИИ МЕХАНИЗМҲОИ БОЗДОРӢ ВА КОРИ СИСТЕМАҲОИ ABS/EBD

Р.А. Давлатшоев, Б.Ж. Мажитов

Дар мақола модели умумии таҳлилии суштшавии тўлии воқеии автомобил пешниҳод карда шудааст, ки ҳамзамон таъсири фэйдинги ҳароратии механизмҳои боздорӣ, хусусиятҳои ҳолати рӯйпӯши роҳ, аз нав тақсимшавии динамикии сарбории амудӣ ва кори системаҳои электронии ABS/EBD-ро ба назар мегирад. Нишон дода шудааст, ки суштшавии воқеии автомобил аз омиле вобаста аст, ки киматаш байни қобиляти системаи боздорӣ ва ҳудуди часпиши шинаҳо бо роҳ камтар мебошад. Ҳисобкунии ададӣ барои автомобили Mercedes W211 дар нишебии 5° бо дарназардошти гармшавии механизмҳои боздорӣ амалӣ карда шудааст. Натиҷаҳои бадастомада таъсири фэйдинги механизмҳои боздориро ба самаранокии системаи боздорӣ нишон дода, маҳдудияти системаҳои электронӣ дар ҷуброн намудани қоҳиши қувваи боздориро таъкид мекунад.

**Калидвожаҳо:** суштшавии воқеӣ, системаи боздорӣ, фэйдинг, часпиши чарҳҷо бо роҳ, ABS, EBD, аз нав тақсимшавии динамикии сарборӣ.

## A GENERALIZED ANALYTICAL MODEL OF REALIZABLE LONGITUDINAL VEHICLE DECELERATION CONSIDERING TIRE-ROAD ADHESION, BRAKE THERMAL STATE, AND ABS/EBD SYSTEM OPERATION

R.A. Davlatshoev, B.Zh. Mazhitov

The paper presents a generalized analytical model of realizable longitudinal vehicle deceleration that simultaneously accounts for thermal fading of brake mechanisms, adhesion properties of the road surface, dynamic redistribution of vertical loads, and the operation of electronic ABS/EBD systems. It is shown that the realizable deceleration is determined by the minimum of the braking capability of the system and the tire-road adhesion limit. A numerical simulation for a Mercedes W211 vehicle on a 5° slope, taking brake heating into account, is carried out. The obtained results demonstrate the influence of brake fading on braking efficiency and emphasize the limited ability of electronic safety systems to compensate for the reduction in braking force.

**Keywords:** realizable deceleration, braking system, brake fade, tire-road adhesion, ABS, EBD, dynamic load redistribution.

### Введение

Продольная динамика автомобиля при торможении определяется двумя фундаментальными физическими ограничениями: возможностью тормозной системы развивать тормозной момент и пределом сцепления в системе «шина–дорога». Даже при высокой эффективности тормозной системы фактическая тормозная сила, развиваемая на колесе, не может превышать предельную силу сцепления с дорожным покрытием:

$$F_{\text{сц},i} = \varphi \cdot R_{z,i},$$

где  $\varphi$  — коэффициент сцепления шины с дорогой, зависящий от типа и состояния покрытия (сухое, мокрое, обледенелое), степени загрязнения и микрорельефа [9], а  $R_{z,i}$  — нормальная (вертикальная) реакция дороги на  $i$ -ю ось или колесо. Это ограничение является чисто физическим

и не зависит от конструктивных возможностей тормозной системы, отражая фундаментальный принцип продольной динамики автомобиля: превышение тормозного момента сверх сцепных возможностей приводит к блокированию колёс и скольжению, а не к росту замедления [1, 2].

Одним из ключевых факторов, влияющих на реализуемое тормозное усилие, является тепловой фейдинг тормозных механизмов. При интенсивном торможении температура тормозных дисков и колодок может достигать критических значений ( $T > 250-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что приводит к снижению коэффициента трения  $\mu(T_i)$  [6, 7] и, соответственно, тормозной силы на колесе независимо от сцепления шин с дорогой [3].

Таким образом, физически корректная оценка продольного замедления [10] автомобиля требует одновременного учёта следующих факторов:

1. Ограничений, накладываемых сцепными свойствами системы «шина–дорога»;
2. Изменения коэффициента трения тормозных механизмов в зависимости от их теплового состояния;
3. Динамического перераспределения вертикальных нагрузок при торможении, влияющего на предел сцепления каждой оси;
4. Функционирования электронных систем активной безопасности (ABS/EBD), регулирующих тормозные силы и предотвращающих блокирование колёс [4, 5].

Предлагаемая в статье обобщённая модель реализуемого продольного замедления автомобиля формализует все перечисленные факторы и позволяет количественно оценивать пределы эффективности торможения при реальных условиях эксплуатации.

*Научная новизна работы* заключается в формализации реализуемого продольного замедления автомобиля в виде обобщённой аналитической модели, учитывающей перечисленные факторы в рамках единого математического описания.

## Исследовательская часть

### Формализация модели реализуемого замедления

Продольное замедление автомобиля целесообразно определять через оператора минимума:

$$j_3^t = \frac{1}{m_a} \cdot \sum_{i=1}^2 \min [\mu(T_i) \cdot R_{z,i}(j_3^t), \varphi \cdot R_{z,i}(j_3^t)] - g \cdot \sin\alpha, \quad (1)$$

где  $j_3^t$  — замедление с учётом температуры,  $\min[\dots]$  — оператор, учитывающий, что тормозное усилие ограничено либо сцеплением, либо конструктивной возможностью тормозов,  $R_{z,i}(j_3^t)$  — вертикальная реакция на  $i$ -й оси ( $i=1$  — передняя ось,  $i=2$  — задняя ось), зависящая от перераспределения нагрузок при торможении [8].

$$R_{z1}(j_3^t) = \frac{m_a \cdot g}{L} \cdot \left( b \cdot \cos\alpha + \frac{h_{ц.м.} \cdot j_3^t}{g} + h_{ц.м.} \cdot \sin\alpha \right), \quad (2)$$

$$R_{z2}(j_3^t) = \frac{m_a \cdot g}{L} \cdot \left( (L - b) \cdot \cos\alpha - \frac{h_{ц.м.} \cdot j_3^t}{g} - h_{ц.м.} \cdot \sin\alpha \right) \quad (3)$$

Остальные параметры, используемые в формулах (1) - (3), приведены в таблице 1.

Такое представление обеспечивает корректное моделирование как режима, ограниченного сцеплением шин, так и режима фейдинга тормозов.

### Влияние систем ABS и EBD

Антиблокировочная система тормозов (ABS) поддерживает работу тормозного процесса на границе сцепления  $\mu(T_i) \approx \varphi$ , предотвращая блокирование колёс. Электронная система распределения тормозных усилий (EBD) перераспределяет тормозные силы между осями в зависимости от изменения вертикальных нагрузок, обеспечивая максимально возможное суммарное замедление при сохранении курсовой устойчивости.

В условиях перегрева тормозов ( $\mu(T_i) < \varphi$ ) эффективность ABS/EBD ограничена и не компенсирует снижение тормозной силы.

### Численный расчёт торможения Mercedes W211 на уклоне

Численный расчёт торможения автомобиля Mercedes W211 на уклоне выполнен на основе исходных данных [8], представленных в таблице 1.

Таблица 1-Исходные параметры автомобиля Mercedes W211, используемые для расчёта реализуемого сцепления

| Параметр                                        | Обозначение | Значение | Единицы измерения         | Примечание                                          |
|-------------------------------------------------|-------------|----------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| Масса автомобиля                                | $m_a$       | 1700     | кг                        | Снаряжённая масса                                   |
| Колёсная база                                   | $L$         | 2,85     | м                         | Расстояние между осями                              |
| Расстояние от передней оси до центра масс       | $b$         | 1,35     | м                         | Используется для расчёта вертикальных нагрузок      |
| Высота центра масс                              | $h_{ц.м.}$  | 0,55     | м                         | Влияет на перераспределение нагрузок при торможении |
| Коэффициент трения тормозов на передней оси [7] | $\mu(T_1)$  | 0,30     | —                         | Учёт нагрева тормозов (фейдинг)                     |
| Коэффициент трения тормозов на задней оси [7]   | $\mu(T_2)$  | 0,35     | —                         | Учёт нагрева тормозов (фейдинг)                     |
| Коэффициент сцепления с сухой дорогой           | $\varphi$   | 0,7      | —                         | Максимально возможное сцепление шин                 |
| Ускорение свободного падения                    | $g$         | 9,81     | м/с <sup>2</sup>          | Физическая константа                                |
| Уклон дороги                                    | $\alpha$    | 5        | ( <sup>o</sup> ), градус. | Продольный угол уклона (пример: горный спуск)       |

### Вертикальные реакции на осях автомобиля

В результате подстановки параметров автомобиля Mercedes W211 (табл. 1) в формулы (2), (3) получены линейные зависимости вертикальных нагрузок на осях автомобиля от реализуемого продольного замедления  $j_3^t$  ( $j_3^t > 0$  при торможении) с учётом продольного уклона дороги.

Передняя ось:

$$R_{z1} = 7869 + 328j_3^t + 281$$

Задняя ось:

$$R_{z2} = 8743 - 328j_3^t - 281$$

Ограничение тормозного усилия определяется фейдингом тормозов, а не сцеплением шин ( $\mu < \varphi$ ).

Для повышения наглядности и удобства анализа допустимо предварительно ввести тормозную силу, реализуемую на  $i$ -й оси:

$$F_{z,i} = \min(\mu(T_i)R_{z,i}, \varphi R_{z,i}) \quad (4)$$

Тогда выражение для реализуемого продольного замедления принимает вид:

$$j_3^t = \frac{1}{m_a} \cdot \sum_{i=1}^2 F_{z,i} - g \cdot \sin\alpha \quad (5)$$

Реализуемые тормозные силы по осям составляют:

$$F_{\text{торм.1}} = \mu(T_1) \cdot R_{z1} = 0,3 \cdot R_{z1} = 2445 + 98,4j_3$$

$$F_{\text{торм.2}} = \mu(T_2) \cdot R_{z2} = 0,35 \cdot R_{z2} = 2962 - 114,8j_3$$

Суммарная тормозная сила равна:

$$\sum_{i=1}^2 F_{z,i} = 5407 - 16,4j_3^t$$

Подставляя полученное выражение в уравнение реализуемого продольного замедления (5), получаем:

$$j_3^t = \frac{1}{1700} \cdot (5407 - 16,4j_3^t) - 9,81 \cdot 0,0872$$

Преобразуя уравнение для последовательного решения, получаем:

$$j_3^t = 3,18 - 0,00964j_3^t - 0,85$$

Откуда реализуемое продольное замедление автомобиля составляет

$$j_3^t = 2,31 \text{ м/с}^2$$

### Результаты исследования

1. Разработана обобщённая аналитическая модель реализуемого замедления, учитывающая:
  - ✓ температурный фейдинг тормозов,
  - ✓ сцепные свойства дороги,
  - ✓ перераспределение вертикальных нагрузок,
  - ✓ работу ABS и EBD.
2. Показано, что ABS/EBD обеспечивают оптимальное распределение тормозных сил, но не компенсируют снижение замедления при перегреве тормозов.
3. Численный расчёт для Mercedes W211 на уклоне 5° демонстрирует реализуемое замедление  $j_3^t \approx 2,31 \text{ м/с}^2$ .

### Заключение

Предложенная модель позволяет количественно оценивать пределы эффективности торможения автомобилей в реальных условиях эксплуатации, включая горные спуски, с учётом теплового состояния тормозов и алгоритмов работы электронных систем безопасности. Полученные результаты могут быть использованы при анализе динамики автомобиля, разработке тормозных систем и совершенствовании алгоритмов управления ABS и EBD.

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

### Литература

1. Козловский В.П. *Динамика автомобиля*. — М.: Машиностроение, 2019. — 320 с. — ISBN 978-5-217-08510-1.
2. Левин А.И. *Тормозные системы современных автомобилей*. — М.: Транспорт, 2017. — 256 с. — ISBN 978-5-279-04823-9.
3. SAE International. *Tire-to-Road Friction and Vehicle Braking Dynamics. SAE J670 202206*. — SAE International, 2020. — DOI: 10.4271/J670\_202206.
4. Genta G. *Motor Vehicle Dynamics: Modeling and Simulation*. — Springer, 2017. — 412 с. — ISBN 978-3-319-55631-0.
5. Bosch Automotive Handbook. 9th Edition. — Wiley, 2021. — 1632 с. — ISBN 978-1-119-03294-6.
6. Давлатшоев, Р. А. Моделирование тормозных сил и тепловых процессов при движении автомобиля на уклоне / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 2(70). – С. 104-109. – EDN YESVJT.

7. Давлатшоев, Р. А. Надёжность и работоспособность тормозной системы автомобиля при движении на уклонах / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – № 4(72). – С. 77-83. – DOI 10.65599/GCOK1719. – EDN DXGWFA.

8. Давлатшоев, Р. А. Анализ эффективности распределения тормозных усилий электронными системами ESP и EBD при движении автомобиля на уклоне / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Техника и общество. – 2025. – № 3(11). – С. 4-10. – EDN SWHGCU.

9. Методика определения коэффициентов сцепления колёс с дорогой в реальных условиях эксплуатации / Р. А. Давлатшоев, Х. Б. Хусейнов, М. Ю. Юнусов [и др.] // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – № 3(31). – С. 115-118. – EDN VTFKNB.

10. Давлатшоев, Р. А. Сравнительный анализ эффективности торможения автомобиля в различных дорожных условиях / Р. А. Давлатшоев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2007. – № 3. – С. 46-50. – EDN TZVPJZ.

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

| TJ                                                                               | RU                                                            | EN                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Давлатшоев Рашид Асанхонович                                                     | Давлатшоев Рашид Асанхонович                                  | Davlatshoev Rashid Asankhonovich                      |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими                           | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент                                                                   | к.т.н, доцент                                                 | Candidate of Technical Sciences                       |
| E-mail: <a href="mailto:d_rashid71@mail.ru">d_rashid71@mail.ru</a>               |                                                               |                                                       |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-7317-5245">ORCID Id 0000-0002-7317-5245</a> |                                                               |                                                       |
| TJ                                                                               | RU                                                            | EN                                                    |
| Мажитов Б.Ж.                                                                     | Мажитов Б.Ж.                                                  | Mazhitov B.Zh.                                        |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими                           | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими | Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент                                                                   | к.т.н, доцент                                                 | Candidate of Technical Sciences                       |
| E-mail: <a href="mailto:mjbahriddin@mail.r">mjbahriddin@mail.r</a>               |                                                               |                                                       |

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

С.С. Сайдуллозода, Р.А. Давлатшоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье представлены результаты исследования характеристик трансмиссий карьерных автомобилей семейства БелАЗ-7540А при эксплуатации в высокогорных условиях (3500–4500 м над уровнем моря). Проведен сравнительный анализ механической и гидромеханической трансмиссий с учетом снижения мощности и крутящего момента двигателя, повышения температуры масла и изменения физических свойств трансмиссионной жидкости. Определены расчетные значения необходимого крутящего момента при трогании с места, оценены КПД трансмиссий и влияние конструктивных параметров согласующего редуктора. Показано, что применение гидромеханической трансмиссии с повышающей передачей или вариатором обеспечивает снижение напряженности работы двигателя и улучшение тягово-скоростных характеристик автомобиля.

**Ключевые слова:** карьерный самосвал, трансмиссия, гидромеханическая передача, высокогорные условия, крутящий момент, КПД, гидротрансформатор.

## ТАҶИҚИ ХУСУСИЯТҲОИ КОРИИ ТРАНСМИССИЯИ АВТОМОБИЛҲОИ КАРЕРӢ ДАР ШАРОИТИ КӢҲСОР

С.С. Сайдуллозода, Р.А. Давлатшоев

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқи хусусиятҳои трансмиссияи автомобилҳои карьерии оилаи БелАЗ-7540А ҳангоми истифода дар шароити кӯҳсор (3500–4500 м аз сатҳи баҳр) пешниҳод шудаанд. Таҳлили муқоисавии трансмиссияҳои механикӣ ва гидромеханикӣ бо дарназардошти камшавии қувва ва моменти даврзании муҳаррик, баландшавии ҳарорати равшан ва тағйири хусусиятҳои физикии моеъи трансмиссионӣ гузаронида шуд. Қиматҳои ҳисобии моменти даврзании зарурӣ ҳангоми ҳаракат аз ҷой муайян карда шуданд, коэффисиенти кори ғоиданоки (ККҒ) трансмиссияҳо ва таъсири параметрҳои конструктиви редуكتورӣ мутобиққунанда арзёбӣ гардид. Нишон дода шуд, ки истифодаи трансмиссияи гидромеханикӣ бо таҳвили афзоианда ё вариатор кори муҳаррикро сабук карда, хусусиятҳои кашишӣ-суръатии автомобилро беҳтар мекунад.

**Калидвожаҳо:** мошини боркаши карери, трансмиссия, интиқоли гидромеханикӣ, шароити кӯҳсор, моменти даврзанӣ, ККҒ, гидротрансформатор.

## STUDY OF TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF MINING TRUCKS OPERATING IN MOUNTAINOUS CONDITIONS

S.S. Saidullozoda, R.A. Davlatshoev

The article presents the results of a study on the transmission characteristics of BelAZ-7540A family mining trucks under high-altitude conditions (3500–4500 m above sea level). A comparative analysis of mechanical and hydromechanical transmissions was conducted, taking into account the reduction in engine power and torque, increased oil temperature, and changes in the physical properties of the transmission fluid. The calculated values of the required starting torque were determined, the efficiency of transmissions was evaluated, and the influence of the design parameters of the matching reducer was assessed. It was shown that the use of a hydromechanical transmission with an overdrive or a variator reduces engine load and improves the vehicle's traction-speed characteristics.

**Keywords:** mining truck, transmission, hydromechanical drive, high-altitude conditions, torque, efficiency ( $\eta$ ), torque converter.

### Введение

Эксплуатация карьерных самосвалов в высокогорных районах (3500–4500 м над уровнем моря) при строительстве гидротехнических сооружений сопровождается значительным снижением тягово-скоростных и топливно-экономических показателей [1-3]. В условиях пониженного атмосферного давления, высоких температур окружающей среды и повышенной запыленности снижается эффективная мощность двигателя (на 40–50%), уменьшается крутящий момент (в 1,5–1,7 раза), возрастает удельный расход топлива (до 40–45%), увеличиваются время разгона и путь движения (в 2,5–3 раза).

Эффективность транспортной работы определяется энергетическими показателями и зависит от тягово-скоростных свойств автомобилей, которые в значительной степени обусловлены характеристиками трансмиссии. В карьерах временные дороги имеют коэффициент дорожного сопротивления  $\psi \approx 0,15$ , что требует повышенного тягового усилия при трогании автомобиля с места.

В работе получена аналитическая оценка влияния повышения температуры трансмиссионного масла на КПД механической и гидромеханической трансмиссий, установлена зависимость требуемого пускового крутящего момента двигателя от изменения плотности и вязкости масла, обоснована целесообразность применения согласующего редуктора с повышающей передачей в гидромеханической трансмиссии и предложены расчетные зависимости для выбора передаточного числа редуктора с учетом деградации характеристики двигателя в условиях высокогорья.

### Теоретические основы исследования тяговых свойств автомобиля

Тяговое усилие автомобиля по [4] определяется следующим образом

$$P_T = \frac{M_e u_{тр} \eta_{тр}}{r_k}, \quad (1)$$

где  $M_e$  – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м;  $u_{тр}$  – передаточное число трансмиссии;  $\eta_{тр}$  – коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии;  $r_k$  – радиус качения ведущих колес, м.

В [5] это уравнение уточняется уравнением движения автомобиля:

$$\frac{M_e u_{тр} \eta_{тр}}{r_k} = \psi G_a + 0,5 c_x A \rho_v v^2 + \delta M_a a, \quad (2)$$

где  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;  $G_a$  – вес автомобиля, Н;  $c_x$  – коэффициент сопротивления воздуха;  $A$  – лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – скорость движения автомобиля, м/с;  $\delta$  – коэффициент учета вращающихся масс;  $M_a$  – полная масса автомобиля, кг;  $a$  – ускорение автомобиля, м/с<sup>2</sup>.

В момент начала движения автомобиля (при нулевой скорости и отсутствии ускорения) уравнение движения (2) упрощается, так как аэродинамическое сопротивление и ускорение равны нулю. Тогда оно запишется в виде:

$$\frac{M_e u_{тр} \eta_{тр}}{r_k} = \psi G_a \quad (3)$$

Следовательно, необходимый для трогания с места автомобиля крутящий момент двигателя [6] определяется выражением:

$$M_e = \frac{G_a \psi r_k}{u_{тр} \eta_{тр}} \quad (4)$$

### Расчетная часть

#### Механическая трансмиссия

Пусть автомобиль БелАЗ-7540 оснащён механической трансмиссией. В этом случае её суммарное передаточное число определяется выражением:

$$u_{тр} = u_{кп} u_{крп} u_{гп} \quad (5)$$

где  $u_{кп}$ ,  $u_{крп}$ ,  $u_{гп}$  – передаточное число соответственно коробки передач, карданной передаче и главной передаче.

Коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии рассчитывается по формуле:

$$\eta_{тр} = \eta_{сц} \eta_{кп} \eta_{крп} \eta_{гп} \quad (6)$$

где  $\eta_{сц}$ ,  $\eta_{кп}$ ,  $\eta_{крп}$ ,  $\eta_{гп}$  – КПД соответственно сцепления, коробки передач, карданной передачи, главной передачи.

Для карьерных дорог коэффициент дорожного сопротивления принимается равным  $\psi = 0,15$ . Полная масса автомобиля составляет 52600 кг. КПД трансмиссии находится в пределах 0,8–0,9. Передаточное число трансмиссии на первой передаче равно 61,82, а радиус качения 0,75 м.

Согласно уравнению (4), необходимый крутящий момент двигателя в начальный момент движения составляет:

$$M_e = 1105 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Данная величина соответствует работе трансмиссии в нормальных (равнинных) условиях эксплуатации.

Строительство гидротехнического сооружения осуществляется в высокогорных районах на высотах 3500–4500 м над уровнем моря, характеризующихся пониженным атмосферным

давлением и жёсткими температурными условиями. Согласно результатам исследований [7], в горных условиях эксплуатации грузовых автомобилей:

- эффективная мощность двигателя снижается на 40–50 %;
- крутящий момент уменьшается в 1,5–1,7 раза;
- время и путь разгона увеличиваются в 2,5–3 раза;
- удельный расход топлива возрастает на 40–45 %;
- общий расход топлива увеличивается на 30–40 %.

При повышении температуры окружающей среды на 10 °С температура масла в двигателе увеличивается на 2,5–3 °С.

В высокогорных условиях нагрузка на низшие ступени трансмиссии возрастает в 5–6 раз, а максимальная скорость на высшей передаче снижается примерно в два раза. Средняя скорость движения грузовых автомобилей уменьшается на 40–50 %, а расход топлива возрастает на 10–15 % по сравнению с равнинной эксплуатацией.

Повышенная температура окружающей среды приводит к увеличению температуры масла в коробке передач на 8–10 °С и в ведущих мостах на 15–20 °С [7]. При движении по горно-холмистой местности с частым применением торможения происходит интенсивный нагрев тормозных барабанов и накладок, что ухудшает их фрикционные свойства и снижает эффективность тормозной системы.

С учётом приведённых данных характеристики двигателя в условиях высокогорья равны:

- мощность - 154 кВт (210 л.с.);
- крутящий момент - 877 Н·м.

Результаты исследований также показывают, что повышение температуры существенно ухудшает условия работы агрегатов трансмиссии, что неизбежно отражается на её коэффициенте полезного действия.

### Определение требуемого крутящего момента в горных условиях

В условиях повышенных температур в узлах трансмиссии определяется необходимый крутящий момент двигателя при трогании автомобиля БелАЗ-7540А с механической трансмиссией. Основным фактором, влияющим на расчет, является КПД коробки передач и главной передачи, представляющих собой зубчатые редукторы. КПД редукторов определяется потерями на трение в зацеплениях, которые снижаются за счет смазочного действия трансмиссионного масла. Свойства масла существенно зависят от температуры, что необходимо учитывать при расчете.

Температура масла в редукторе может быть определена по формуле:

$$t_M = t_B + \frac{N \cdot (1 - \eta)}{k_t \cdot S}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

где  $t_B$  – температура окружающего воздуха, °С;  $N$  – передаваемая мощность на валу редуктора, Вт;  $\eta$  – КПД редуктора;  $k_t$  – коэффициент теплоотдачи поверхностей редуктора, (12...16) Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $S$  – площадь поверхности теплоотдачи редуктора, (0,4) м<sup>2</sup>.

Кроме того, температура масла может быть рассчитана с учетом передаваемой мощности при переменном режиме работы:

$$t_M = t_B + \frac{(1 - \eta) N_{cp}}{k_t S (1 + \chi)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

где  $N_{cp}$  – среднее значение передаваемой мощности при переменном режиме работы, Вт (200 л.с.);  $\chi$  – коэффициент учета отвода тепла через раму крепления редуктора (0,3).

Формула (8) получена из условия теплового баланса редуктора, при котором количество тепла, выделяемое в результате механических потерь мощности, равно количеству тепла, отводимого в окружающую среду.

Из выражения (8) коэффициент полезного действия редуктора определяется как:

$$\eta = 1 - \frac{k_t S (t_M - t_B) (1 + \chi)}{N_{cp}} \quad (9)$$

Допустимая температура масла для надежной работы редуктора:

$$[t_M] = 60 \dots 80 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Согласно уравнению (7) КПД редуктора можно выразить следующим образом:

$$\eta_i = 1 - \frac{k_{t,i} \cdot S_i \cdot (t_{M,i} - t_B)}{N_i}, \quad (10)$$

Для отдельных узлов трансмиссии (согласующего редуктора, гидромеханическая передача, главная передача) КПД вычисляется по формуле:

$$\eta_i = 1 - \frac{k_{t,i} \cdot S_i \cdot (t_{M,i} - t_B)}{N_i}, \quad i = \text{ср, гмп, гп} \quad (11)$$

где:  $\eta_i$  – КПД  $i$ -го узла;  $k_{t,i}$  – коэффициент теплоотдачи поверхности  $i$ -го редуктора, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $S_i$  – площадь поверхности теплоотдачи  $i$ -го узла, м<sup>2</sup>;  $t_{M,i}$  – температура масла в  $i$ -м узле, °С;  $N_i$  – передаваемая мощность на валу  $i$ -го узла, Вт; индексы ср, гмп, гп соответствуют среднему редуктору, гидромеханической передаче и главной передаче соответственно.

Согласно данным [7], в горных условиях температура масла в коробке передач достигает 90 °С и выше, а в главной передаче – свыше 100 °С. Расчёт по формуле (9) показывает, что КПД трансмиссии в этих условиях снижается до:

$$\eta_{mp} \approx 0,8.$$

Тогда необходимый крутящий момент двигателя при трогании в горных условиях составит:

$$M_{e2} = 1170 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Фактический крутящий момент двигателя (877 Н·м) меньше требуемого (1170 Н·м), что свидетельствует об отсутствии достаточного запаса тяги при трогании в горных условиях.

### Гидромеханическая трансмиссия

В трансмиссии автомобиля БелАЗ-7540А в качестве согласующего редуктора используется одноступенчатый редуктор с передаточным числом  $u_{cp} = 1$  [8, 9, 14]. Это означает, что на вал насосного колеса крутящий момент двигателя передается без изменения величины,  $M_e = M_n$ .

КПД согласующего редуктора (цилиндрическая зубчатая передача) равен 0,97. В условиях эксплуатации на горной местности на основе формулы (11) коэффициент полезного действия снижается до  $\eta_{cp} = 0,88$  при площади поверхности теплоотдачи  $S = 0,25 \text{ м}^2$ .

Момент сопротивления движению автомобиля, определяемый аналогично формуле (4), преодолевается крутящим моментом на турбинном колесе гидротрансформатора. От ведущих колес к турбинному колесу момент передается через главную передачу. При этом  $\eta_{en} = 0,8$  согласно уравнению (11).

КПД гидротрансформатора не является постоянной величиной: до достижения номинального режима он находится в пределах 0,6–0,7, после выхода на номинальный режим – 0,8–0,85.

КПД гидромеханической трансмиссии в рассматриваемых условиях рассчитывается как:

$$\eta_{mp} = 0,88 \times 0,8 \times 0,85 = 0,60$$

Тогда необходимый для начала движения крутящий момент на турбинном колесе гидротрансформатора составляет

$$M_t = 9070 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коэффициент трансформации находится в пределах 1,3–1,7 (ГТК-ХИ-430, ГТ-480). Следовательно, момент на насосном колесе с учетом КПД гидротрансформатора равен:

$$M_n \text{ с учетом КПД} = 9070 / (1,7 \times 0,60) = 6669 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сравнение расчётного момента на насосном колесе гидротрансформатора  $M_n$  с учетом КПД = 6669 Н·м с характеристиками двигателя показывает, что применение согласующей передачи не снижает требуемый крутящий момент двигателя для начала движения. Вместе с тем согласующая передача обеспечивает более плавную передачу крутящего момента на гидротрансформатор, снижает динамические нагрузки на двигатель и улучшает согласование его характеристик с гидромеханической трансмиссией в высокогорных условиях эксплуатации.

Согласующий редуктор устанавливается между двигателем и гидротрансформатором для соединения коленчатого вала двигателя с ведущим валом гидротрансформатора, находящимися на разных уровнях по высоте, а также для увязки их режимов работы. Увязка характеристик двигателя и гидромеханической передачи (ГМП) заключается в выборе передаточного числа

согласующего редуктора, обеспечивающего наилучшее использование возможностей двигателя и ГМП [10].

Процесс согласования состоит в выборе оптимальной характеристики входа системы «двигатель - гидротрансформатор». Характеристика входа строится совместным решением уравнений крутящего момента двигателя по внешней характеристике  $M_e = f(n_e)$  и уравнения крутящего момента на насосном колесе  $M_n = f(n_n)$ . Задача может решаться как аналитически, так и графически.

На рис. 1 [11] представлены внешние характеристики двигателя, приведённые к ведущему валу гидротрансформатора. Из рисунка видно, что при применении понижающей передачи кривая крутящего момента становится более изогнутой и увеличивается его величина. При использовании повышающей передачи момент уменьшается, кривая становится более пологой и смещается в область больших оборотов.

В силу приведенных рассуждений можно сформулировать следующий вывод: в горных условиях целесообразно применение согласующего редуктора с повышающей передачей. Еще более целесообразным, с точки зрения универсальности, является использование в качестве согласующего устройства других механизмов, например, вариатора.

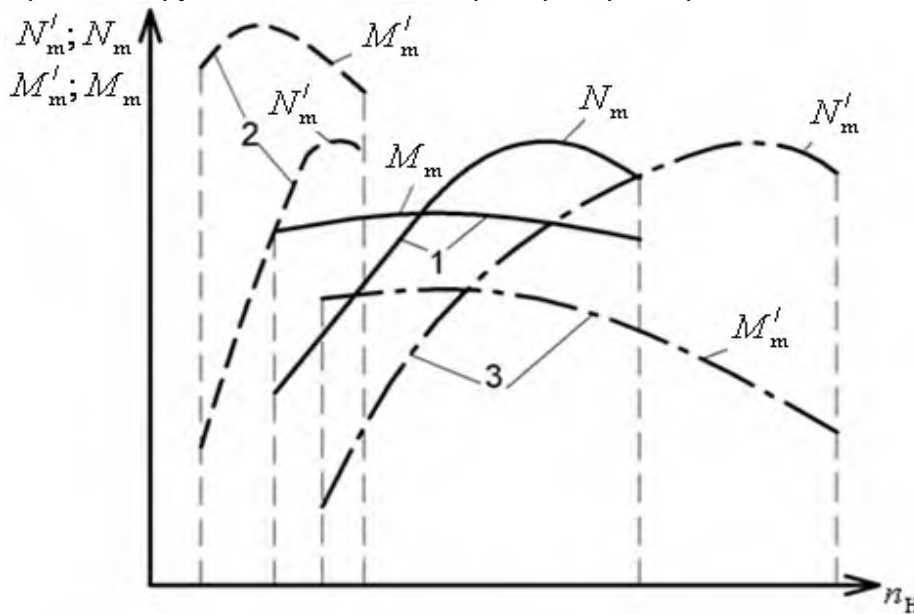


Рисунок 1 – Внешняя характеристика двигателя, приведенная к валу гидротрансформатора: 1 – непосредственное соединение вала двигателя с валом гидротрансформатора; 2 – соединение через понижающую передачу; 3 – соединение через повышающую передачу

### Определение передаточного числа согласующего редуктора

Ориентировочно значение величины передаточного числа согласующего редуктора  $u_{cp}$  можно определить из соотношения [11]:

$$M_H = M_e u_{cp} \eta_{cp} = \lambda_H g \rho_M n_i^2 D_a^5 \quad (12)$$

Поэтому

$$u_{cp} = \frac{\lambda_{Hu=0} g \rho_M n_H D_a^5}{M_{Hu=0} \eta_{cp}} \quad (13)$$

где  $M_H$  – крутящий момент на валу насосного колеса;  $\lambda_{Hu=0}$  – коэффициент момента на валу насосного колеса при трогании автомобиля с места;  $\rho_M$  – плотность трансформаторного масла;  $D_a$  – активный диаметр насосного колеса;  $M_{Hu=0}$  – крутящий момент на насосном колесе при разгоне автомобиля;  $\eta_{adm}$  – КПД гидротрансформатора.

В [10] приводится формула определения передаточного числа редуктора

$$u_{cp} = \sqrt[3]{\frac{\lambda_H \gamma_M D_a^5 \omega_e^2}{M_e \eta_{cp}}} \quad (14)$$

где  $\lambda_H$  – коэффициент момента на валу насосного колеса, мин<sup>2</sup>/м;  $\gamma_m$  – удельный вес трансформаторного масла, Н/м<sup>3</sup>;  $\omega_e$  – угловая скорость коленчатого вала двигателя, с<sup>-1</sup>.

Требуется перестроить внешнюю скоростную характеристику двигателя путем приведения к насосу на основании выражений

$$M_{\text{епр}} = M_e u_{\text{ср}} \eta_{\text{ср}} \quad (15)$$

$$n_{\text{епр}} = n_e / u_{\text{ср}} \quad (16)$$

где  $M_{\text{епр}}$  – приведенный к валу насосного колеса крутящий момент двигателя  $M_e$ ;  $u_{\text{ср}}$  – передаточное число согласующего редуктора;  $n_{\text{епр}}$  – приведенная к валу насосного колеса частота вращения коленчатого вала двигателя  $n_e$ .

Для грузовых автомобилей, самосвалов режим согласования подбирается в следующем виде

$$n_{eo} = (0,5 \dots 0,75) n_N \quad (17)$$

где  $n_{eo}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя при полной подаче топлива на режиме «СТОП»;  $n_N$  – частота вращения коленчатого вала при полной мощности двигателя.

### Работа гидротрансформатора

Гидротрансформатор предназначен для увеличения крутящего момента, передаваемого на вал ступенчатой коробки передач. Наибольшее увеличение крутящего момента на турбинном колесе гидротрансформатора наблюдается при трогании автомобиля с места.

Рабочим телом в гидротрансформаторе является трансмиссионное масло, которое в процессе работы нагревается до температур 90 °С и выше.

Показатели работы гидротрансформатора напрямую зависят от состояния трансмиссионного масла. В частности, в горных условиях коэффициент момента может уменьшаться из-за снижения динамической вязкости перегретого масла.

Коэффициент момента на насосном колесе определяется выражением:

$$\lambda_H = A q h_H, \quad (18)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от геометрических параметров насосного колеса, углов наклона лопастей на входе и выходе;  $q$  – коэффициент расхода жидкости (масла);  $h_H$  – коэффициент напора жидкости (масла) на колесе

$$h_H = \mu_H - a q, \quad (19)$$

где  $\mu_H$  – динамическая вязкость масла, Па·с.

Уравнения (7) и (9) показывают, что в горных условиях коэффициент момента будет иметь меньшую величину из-за снижения динамической вязкости перегретого трансмиссионного масла.

Коэффициент полезного действия гидротрансформатора

$$\eta_{\text{ГДТ}} = \frac{M_T n_T}{M_H n_H}, \quad (20)$$

где  $M_m$ ,  $M_H$  – крутящий момент соответственно на турбинном и насосном колесе, Н·м;  $n_m$ ,  $n_H$  – частота вращения соответственно турбинного и насосного колеса, об/мин.

Крутящие моменты на колесах гидротрансформатора [12, 13]

$$\text{на турбинном} \quad M_T = m_m (v_{2T} r_T \cos \gamma - v_{2H} R_H \cos \beta) \quad (21)$$

$$\text{на насосном колесе} \quad M_H = m_m (v_{2H} R_H \cos \beta - v_{1H} r_H \cos \alpha) \quad (22)$$

$$\text{на реакторе} \quad M_p = m_m (v_{1H} r_H \cos \alpha - v_{2T} R_T \cos \gamma), \quad (23)$$

где  $m_m$  – масса жидкости на лопатках колес;  $v_{2m}$  – скорость масла на выходе из турбинного колеса, м/с;  $r_T$  – внутренний радиус лопасти турбинного колеса, м;  $\gamma$  – угол наклона лопасти на турбинном колесе, градус;  $v_{2H}$  и  $v_{1H}$  – скорости жидкости соответственно на выходе из лопасти и на входе на лопасти насосного колеса, м/с;  $R_H$  – внешний радиус лопасти насосного колеса, м;  $r_H$  – внутренний радиус лопасти насосного колеса, м;  $\beta$ ,  $\alpha$  – углы наклона лопасти по наружному и внутреннему диаметрам колеса, градус;  $R_T$  – внешний радиус лопасти турбинного колеса

### Влияние температурного режима на КПД редукторов

Работа редукторов гидромеханической трансмиссии напрямую зависит от свойств масла, которое подается шестеренчатым насосом. Жидкость создает напор на насосном колесе, заставляя его вращаться.

Далее масло направляется на лопасти турбинного колеса, где его кинетическая энергия вызывает вращение турбины. После этого масло возвращается через лопасти реактора к насосному колесу, замыкая круговой поток. В этом процессе увеличивается крутящий момент на турбинном колесе.

### Масса масла на лопастях колес

Масса жидкости, находящейся на лопастях, определяется формулой:

$$m_m = \frac{\gamma \cdot V}{g} = \rho_m \cdot V, \quad (24)$$

где:  $\gamma$  – удельный вес масла ( $\rho_m \cdot g$ );  $V$  – объём масла на лопастях, м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Плотность масла и температурный режим

Плотность масла зависит от температуры и высоты над уровнем моря:

$$\rho_m = \frac{\rho_n}{1 + \beta \Delta t}, \quad (25)$$

где:  $\rho_n$  – плотность масла при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коэффициент объёмного расширения, 1/°С;  $\Delta t$  – разность температур масла между высотой над уровнем моря (например, 3500 м) и равниной, °С.

Альтернативная формула по Менделееву:

$$\rho_t = \rho_{20} - \gamma_t(t - 20), \quad (26)$$

где:  $\rho_t$  – плотность масла при температуре  $t$ , °С;  $\rho_{20}$  – плотность масла при 20 °С;  $\gamma_t$  – температурная поправка.

На рис. 2 показана зависимость вязкости трансмиссионного масла и КПД гидротрансформатора от температуры.

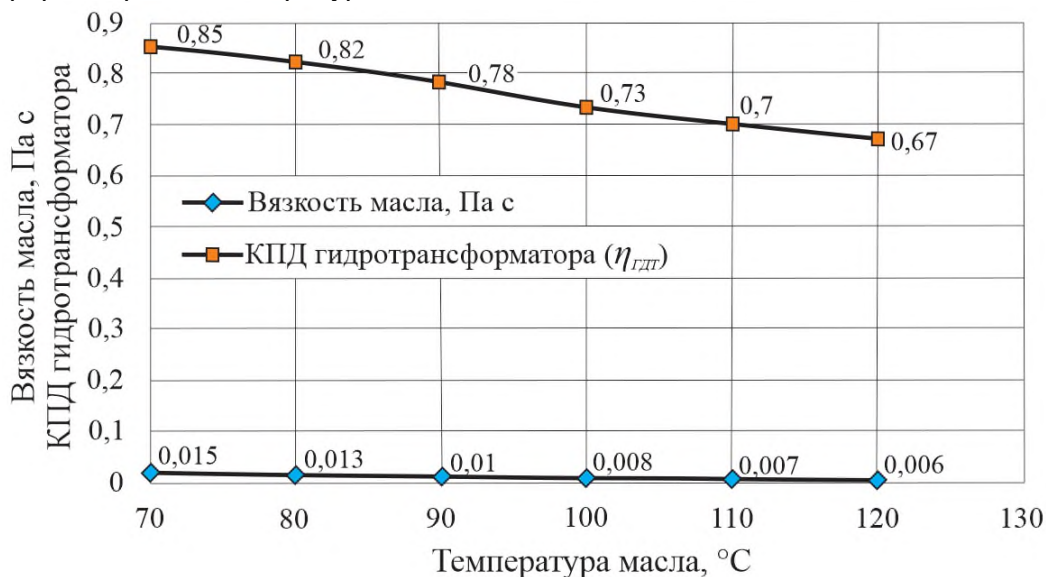


Рисунок 1 – Влияние температурного режима масла на эффективность работы гидромеханической трансмиссии

С увеличением температуры масла его вязкость снижается, что приводит к уменьшению КПД гидротрансформатора. Минимальное значение КПД наблюдается при температуре 120 °С ( $\eta_{эдт} \approx 0,67$ ), а максимальное - при 70 °С ( $\eta_{эдт} \approx 0,85$ ).

Полученная зависимость подтверждает необходимость строгого контроля температурного режима трансмиссионного масла, особенно в условиях высокогорной эксплуатации, для обеспечения эффективной и устойчивой работы гидромеханической трансмиссии.

Уравнение (26) и экспериментальные данные (рис. 2) показывают, что в горных условиях плотность масла снижается [7], что непосредственно влияет на его динамическую и кинематическую вязкость. Это приводит к следующим последствиям:

1. Снижение кинетической энергии масла на лопастях рабочих колес.

Масло, обладающее при нормальных условиях достаточной энергией для создания требуемого напора, теряет часть этой энергии. В результате уменьшается частота вращения насосного и турбинного колес.

**2. Необходимость увеличения подачи топлива и частоты вращения двигателя.**

Для поддержания требуемой скорости вращения колес возрастает подача топлива и увеличивается частота вращения коленчатого вала.

**3. Рост оборотов насосного колеса и интенсивности циркуляции в масла.**

Повышение частоты вращения насосного колеса увеличивает расход рабочей жидкости, что приводит к: увеличению скольжения в гидромеханической трансмиссии; дополнительному росту температуры масла.

**4. Ухудшение смазывающих свойств масла.**

Снижение плотности изменяет динамическую и кинематическую вязкость, что ухудшает условия смазывания и дополнительно снижает КПД гидромеханической трансмиссии.

Сравнительные показатели механической и гидромеханической трансмиссий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики механической и гидромеханической трансмиссий

| Параметр                                            | Механическая трансмиссия | Гидромеханическая трансмиссия                                        |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Фактический крутящий момент двигателя, Н·м          | 877                      | 877                                                                  |
| Требуемый крутящий момент для трогания с места, Н·м | 1170                     | 9070 (на турбинном колесе гидротрансформатора)                       |
| КПД редукторов / гидротрансформатора                | $\eta_{mp} \approx 0,8$  | $\eta_{cp} = 0,88, \eta_{zdm} = 0,7-0,8, \eta_{zn} = 0,8$            |
| КПД трансмиссии                                     | $\approx 0,8$            | $\approx 0,60$                                                       |
| Передаточное число согласующего редуктора           | –                        | 1...1,5 (повышающая передача)                                        |
| Влияние температуры масла                           | снижение КПД до 0,8      | снижение КПД до 0,60                                                 |
| Динамическая нагрузка на двигатель при трогании     | высокая                  | снижена благодаря демпфированию гидротрансформатором                 |
| Плавность начала движения                           | низкая                   | высокая                                                              |
| Возможность трогания с полной нагрузкой             | затруднено               | обеспечено при использовании согласующего редуктора                  |
| Эффективность в высокогорных условиях               | низкая                   | высокая                                                              |
| Рекомендации по модернизации                        | –                        | применение повышающей передачи или вариатора в согласующем редукторе |

Табл. 1 наглядно показывает, что в высокогорных условиях механическая трансмиссия не обеспечивает достаточный крутящий момент для трогания с полной нагрузкой, снижает эффективность работы и создаёт высокую динамическую нагрузку на двигатель. Гидромеханическая трансмиссия с согласующим редуктором компенсирует эти ограничения: демпфирует нагрузку, улучшает плавность начала движения и позволяет использовать двигатель более эффективно.

**Выводы**

1. В высокогорных условиях мощность двигателя снижается до 50 %, что приводит к ухудшению тягово-скоростных характеристик карьерных автомобилей.

2. Повышение температуры трансмиссионного масла снижает КПД редукторов до 0,8 и ниже.

3. В условиях высокогорья механическая трансмиссия не обеспечивает необходимый крутящий момент для трогания автомобиля с места, что снижает эффективность движения и тягово-скоростные показатели.

4. Применение гидромеханической трансмиссии с согласующим редуктором повышает согласование режимов работы двигателя и трансмиссии, обеспечивает демпфирование ударных нагрузок и плавное начало движения в высокогорных условиях.

5. Применение повышающей передачи или вариатора в согласующем устройстве является перспективным направлением модернизации.

Проведенные исследования подтвердили необходимость адаптации трансмиссий карьерных автомобилей к условиям высокогорной эксплуатации. Наиболее рациональным решением является

использование гидромеханической трансмиссии с оптимально подобранным согласующим редуктором.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на экспериментальное подтверждение расчетных зависимостей и оптимизацию параметров гидротрансформатора с учетом изменения физико-механических свойств трансмиссионного масла.

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

### Литература

1. Сайдуллозода, С.С. Теоретические и практические аспекты оценки энергетических затрат автомобилей-самосвалов и модели их функционирования в карьерных условиях: монография / С.С. Сайдуллозода, К.В. Гаврилов. – Душанбе: Ирфон, 2025. – 164 с. – ISBN 978-99985—8232-3. – EDN ERLMRE.
2. Сайдуллозода, С.С. Оценка энергетических затрат автомобилей-самосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях Республики Таджикистан: специальность 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сайдуллозода Сайвали Сайдулло. – Челябинск, 2022. – 174 с. – EDN UJQATX.
3. Wang, H., High-Altitude Operation Effects on Transmission Efficiency of Heavy Vehicles, Lubrication Science.
4. Вахламов В.К., Шатров М.Г., Юрчевский А.Л. Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя. – М.: Академия, 2012. – 186 с.
5. Хусаинов А.Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 109 с.
6. Сайдуллозода, С.С. Конструкция и расчет сцепления автомобиля / С.С. Сайдуллозода, К.Т. Мамбеталин, А.М. Умирзоков, Б.К. Миров // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 2(61). – С. 10-16. – EDN GJFBEV.
7. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 221 с.
8. Сайдуллозода, С.С. Оценка эффективности функционирования системы водитель-автомобиль-дорога-среда по энергетическим показателям / С.С. Сайдуллозода, К.В. Гаврилов, А.М. Умирзоков, А.Г. Уланов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 61-70. – DOI 10.14529/engin210406. – EDN FYNBSV.
9. Умирзоков, А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобильной дороги в горных карьерах / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2021. – № 1(132). – С. 98-105. – DOI 10.46960/1816-210X\_2021\_1\_98. – EDN KGJKVJ.
10. Проектирование трансмиссий автомобилей: справочник / под общ. ред. А.И. Гришкевича – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
11. Губарев В.В. Гидромеханические передачи автомобилей. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
12. Petrov, A., Traction Efficiency of Mining Dump Trucks in Mountainous Terrains, International Journal of Vehicle Design, 2022.
13. Нарбут А.Н. Автомобили: рабочие процессы и расчет механизмов и систем. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008. – 235 с.
14. Анализ влияния рельефа местности на функционирование системы Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда / А. М. Умирзоков, Н. Р. Гоиров, Д. Х. Аминов [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 2(54). – EDN CAFFCS.

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

| TJ                                                                               | RU                                                                  | EN                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Сайдуллозода Сайвали Сайдулло                                                    | Сайдуллозода Сайвали Сайдулло                                       | Saidullozoda Saivali Saidullo                            |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи акад.<br>М.С. Осимӣ                     | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент                                                                   | к.т.н, доцент                                                       | Candidate of Technical Sciences                          |
| E-mail: <a href="mailto:saivali.saidullo@mail.ru">saivali.saidullo@mail.ru</a>   |                                                                     |                                                          |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-9663-2453">ORCID: 0000-0002-9663-2453</a>   |                                                                     |                                                          |
| TJ                                                                               | RU                                                                  | EN                                                       |
| Давлатшоев Рашид Асанхонович                                                     | Давлатшоев Рашид Асанхонович                                        | Davlatshoev Rashid<br>Asankhonovich                      |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи акад.<br>М.С. Осими                     | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| н.и.т, дотсент                                                                   | к.т.н, доцент                                                       | Candidate of Technical Sciences                          |
| E-mail: <a href="mailto:d_rashid71@mail.ru">d_rashid71@mail.ru</a>               |                                                                     |                                                          |
| <a href="https://orcid.org/0000-0002-7317-5245">ORCID Id 0000-0002-7317-5245</a> |                                                                     |                                                          |

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Х.Н. Султонов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье приведена методика расчета поршневой головки шатуна с целью прогнозирования снижения его поломки и преждевременного выхода из строя. Анализ эксплуатации двигателей внутреннего сгорания автотракторных машин показывает, что поступающие двигатели в ремонт с поврежденными деталями на долю шатуна приходится 30-35% от их общего количества, по которому основные дефекты относятся на его верхнюю головку. Работа шатуна подвергается динамическим нагрузкам, которые колеблются с динамичным коэффициентом 1,15-1,22, что необходимо учитывать при изменении его конструкции и технического состояния в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** шатун, подвергающие силы и моменты, напряжение, угол заделки, запас прочности.

## ТАЪМИНИ ДАРОЗУМРИ ВА БОЭЪТИМОДИИ МУҲАРИҚҶОИ ДАРУНСУЗ ДАР МОШИНУ ТРАКТОРҶО

Х.Н. Султонов

Дар мақолаи мазкур методикаи ҳисоби сараки шатун, ки нуқтаи пайвастшавии он бо поршен таввасути ангуштак мебошад, пеш оварда шудааст. Мақсад аз овардани ин ҳисоб зиёд намудани мустаҳкамии сараки шатун бобати андешидани тадбирҳо дар марҳилаи ба нақшагирии ин чузъ ва технологияҳои истеҳсол дар равандҳои истеҳсоли мебошад, ки он бевосита ба дарозумрӣ ва боэътимод қор намудани шатун мусоидат менамояд. Таҳлили истифодабарии муҳаррикҳои дарунсузӣ дар трактору мошинҳо истифодашаванда нишон медиҳад, ки дар таъмири капиталӣ то 30% ба таъмири капиталии яқум ва 35% ба таъмири капиталии такрорӣ ба ин чузъҳои осебдида таалуқ доранд, ки қисми зиёди ин аз нуқсонҳои ба сараки болоии шатун рост меоянд. Шатун чузъе мебошад, ки дар шароити таъсири динамикии сарборихо бо коэффициентҳои 1,15-1,22 қор менамояд, ки ин бевосита зарурияти тағйир додани соҳт ва ҳолати техникий онро тақозо менамояд.

**Калидвожаҳо:** шатун, қувваҳо ва моментҳои таъсиркунанда, шиддат, кунҷҳои расида шаванда, мустаҳкамӣ захираҳо.

## ENSURING DURABILITY AND RELIABILITY OF AUTOMOTIVE AND TRACTOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

H.N. Sulonov

This article presents a method for calculating the connecting rod piston head, with the aim of predicting a reduction in its failure and premature failure. Analysis of the operation of internal combustion engines in automotive and tractor vehicles shows that engines undergoing major overhauls are primarily due to accidental damage to key components. Connecting rod technical condition accounts for 30% of engine overhauls and 35% of re-overhauls. The majority of connecting rod defects occur in the upper end. Connecting rods operate under dynamic loads with a dynamic coefficient of 1.15-1.22, which must be taken into account when making changes to their design and technical condition during operation.

**Keywords:** connecting rod, load-bearing forces and moments, stress, sealing angle, safety factor.

### Введение

Безотказность и нормальное функционирование двигателей автотракторного транспорта во многом зависит от прочности и надёжности его основных деталей в период эксплуатации. Многие из этих деталей подвергаются значительным динамическим нагрузкам с различными частотами и амплитудами, которые носят циклический характер и под действием этих нагрузок детали могут одновременно принимать разные напряжения, такие как изгибающие, крутящие, растягивающие или сжимающие. Кроме того, существует воздействие тепловых нагрузок, вызывающих тепловые напряжения, а в деталях со сложной формой всевозможные концентраторы напряжений, которые создают дополнительные напряжения. Многие детали подвергаются износу за счет трения в кинематических парах, во время возврата – поступательного, вращательного или плоскопараллельного движений. Все это в сочетании с другими факторами снижает их прочность. Поэтому при проектировании и изготовлении этих деталей необходимо учитывать все перечисленные факторы, влияющие на прочность. Это обеспечит для детали её долговечность и надёжность работы в определённом эксплуатационном периоде. Анализ конструкции многих деталей двигателей внутреннего сгорания показывает, что часто преждевременный выход из строя многих деталей, таких как гильза, поршень, кольца, цилиндр, шатун и другие детали группы кривошипно-

шатунного и газораспределительного механизмов требует особого подхода к методике их расчета на прочность. [1-6].

Одной из самых капризных деталей во всем двигателе является шатун, который отличается по особенностям конструкции формы, сечению профиля, вида конструкционного сплава и т.д.

Это деталь считается одной из самых нагруженных в двигателе, поскольку она воспринимает всю мощь силы от цилиндра при сгорании топлива в блоке двигателя и передаёт её на колеса через трансмиссию. При вращения коленчатого вала шатун от возвратно-поступательного движения поршня одновременно воспринимает нагрузку в нескольких векторах. Естественно, одним из методов снижения векторных нагрузок и сведения к минимуму количества поломок в соединениях является применение подшипников скольжения в местах соединения верхних и нижних головок, шатуна с пальцем и с коленчатым валом соответственно. Несмотря на это, по разным причинам, шатуны выходят из строя, приводя к падению мощности двигателя и к полному износу других деталей в кривошипно-шатунном механизме. Чтобы избежать подобных проблем, необходимо глубоко знать строение и принцип работы кривошипно-шатунного механизма, механизм действия максимальных нагрузок на силовой стержень в зависимости от положения шатуна в каждом конкретном положении цикла работы двигателя. При проектировании конструкции шатунов необходимо провести оптимальный расчет на прочность с учетом изменения макро-геометрии его основных элементов и других факторов, влияющих на его свойства. Под действием силы трения на верхней и нижней головках шатуна наблюдается изнашивание трущихся деталей. Поэтому для снижения фрикционного износа в сочленённой конструкции в нижней головке шатуна вставляют вкладыши (две единицы), а верхней головке запрессовывается втулка.

### Методика расчета поршневой головки шатуна

Расчет ведется в опасном сечении участка шатуна - сеч. I-I (рис.1). При расчете учтем, что величина инерционной нагрузки (без учета присутствия запрессованной втулки) зависит от режима работы двигателя и будет максимальной при расчете. Усталостная прочность в этом сечении определяется при максимальной частоте вращения холостого хода. Далее определяется напряжение в поршневой головке от воздействия запрессованной втулки. На участке перехода головки шатуна сеч. А-А (рис.1) в стержень определяется усталостная прочность от действия инерционных и газовых сил при запрессованной втулке. [2,3].

В основном шатуны для автотракторных двигателей изготавливают из углеродистых (ст. 35, 45, 50, 35Г2, 40Г, 65Г) и легированных (ст. 18ХН24А, 12ХН3А, 40ХНМА, 30ХГСА) сталей, работающих в условиях наддува при высоком давлении [4].

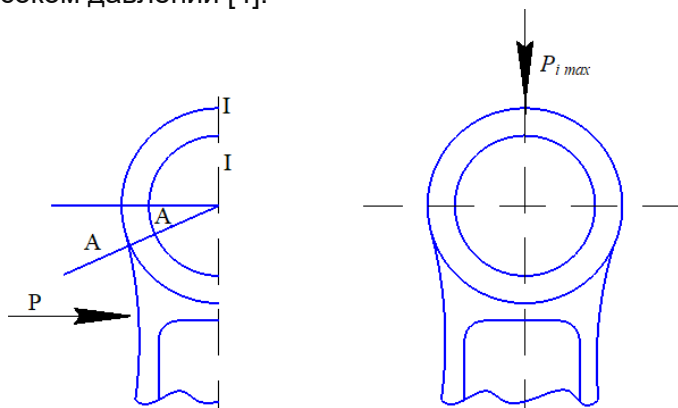


Рисунок 1 – Распределение нагрузок в поверхностях поршневой головки

Верхняя головка шатуна в сеч. I-I от действия силы инерции масс поршневой группы подвергается растяжению. Величина силы определяется следующей формулой:

$$P_i = -m_{\text{пр}} \cdot \omega^2 R(1 + \lambda) \quad (1)$$

(где:  $m_{\text{пр}}$  – суммарная масса группы деталей, соединенных с поршнем и головкой шатуна ( $m_{\text{пр}} = m_{\text{п}} + m_{\text{г}}$ );  $m_{\text{п}}$  – масса поршня и пальца, взятая вместе,  $m_{\text{г}}$  – масса верхней части головки шатуна, кг

(ориентировочно  $(0,06 \div 0,09)m_{ш}$ );  $\omega$  - максимальная угловая скорость коленчатого вала на холостом ходе ( $\omega = \frac{\pi n_{хх\max}}{30}$ );  $R$ -радиус кривошипа,  $R = S/2$ ,  $S$  – ход поршня, м,  $m_{ш}$  – масса шатуна, кг;  $\lambda$  - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна (постоянная КШМ).

Максимальная удельная сила  $P_{i\max}$  в этом сечении не должна превышать следующие интервалы (табл.1) [4]:

Таблица 1– допустима уделенная сила в двигатели внутренние сгорание

| Вид двигателей внутреннего сгорания | Число оборотов, $n_{дв}$            | Максимальная допустимая удельная сила, $P_{i\max}$ , МПа |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| - с искровым зажиганием:            | $n_{дв} \leq 4000 \text{ мин}^{-1}$ | 1,4...1,8                                                |
|                                     | $n_{дв} \geq 4000 \text{ мин}^{-1}$ | 1,6...2,4                                                |
| -с дизелем:                         | $n_{дв} \leq 2000 \text{ мин}^{-1}$ | 0,6...1,4                                                |
|                                     | $n_{дв} \geq 2000 \text{ мин}^{-1}$ | 1,2...1,9                                                |

В связи с пульсирующим видом изменения напряжений в этом сечении эту силу не считаем нагрузкой, так как она в ВМТ направлена от оси коленчатого вала и является отрицательной величиной, а в НМТ направлена к оси коленчатого вала и считается положительной величиной.

Максимальное и минимальное напряжения растяжения поршневой головки шатуна в этом сечении составят:

$$\sigma_{max} = \frac{P_i}{2t_{\Gamma}l_{\Gamma}} \text{ и } \sigma_{min} = 0 \quad (2)$$

где:  $t_{\Gamma}$  – толщина стенки головки шатуна, м;  $l_{\Gamma}$  –длина головки шатуна, м.

В этом случае амплитудное и среднее значения напряжений  $\sigma_A$  и  $\sigma_{cp}$  составляют половину максимального напряжения

$$\sigma_A = \sigma_{cp} = \frac{\sigma_{max}}{2} \quad (3)$$

Для определения запаса прочности в упомянутом сечении шатуна необходимо проведение расчета по пределу выносливости с соблюдением условия

$$\frac{\sigma_A}{\sigma_{cp}} > \frac{b_{\sigma} - a_{\sigma}}{1 - b_{\sigma}} \quad (4)$$

здесь:  $b_{\sigma}$  – зависимость между такими характеристиками материала как пределы выносливости и текучести ( $b_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1P}}{\sigma_T}$ );  $a_{\sigma}$  – коэффициент приведения асимметричного цикла к равноценному симметричному циклу ( $a_{\sigma} = 0,06 \div 0,25$ ).

В случае существования отверстия в головке шатуна (для подвода масла или других смазочных материалов) необходимо учитывать значение коэффициентов напряжения ( $K_{\sigma}$ ), масштаба ( $K_{d\sigma}$ ) и влияния шероховатости отверстия ( $K_{F\sigma}$ ).

Запас прочности в этом случае определяется по формуле (5) и должен находиться в пределах 2,5–5[1,4].

$$Z_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1P}}{\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}K_{F\sigma}}\sigma_A + a_{\sigma}\sigma_{cp}} \quad (5)$$

Напряжения во внутренней и внешней поверхностях поршневой головки обуславливаются влиянием запрессованной втулки и различием коэффициентов линейного расширения материалов контактирующих деталей, что характеризуется суммарным натягом

$$\delta_{\Sigma} = \delta + \delta_t \quad (6)$$

здесь:  $\delta$  –величина натяга посадки втулки, мм ( $\delta = 0,04 \div 0,12$ );  $\delta_t$  –температурный натяг. Его значение зависит от материалов втулки и головки ( $\alpha_B, \alpha_{\Gamma}$ ) и степени нагрева поршневой головки ( $\Delta t = 373 \div 393, K$ )

$$\delta_t = d(\alpha_B - \alpha_{\Gamma})\Delta t \quad (7)$$

Давление на поверхности контакта втулки с головкой распределяется равномерно по всей поверхности

$$p = \frac{\delta_{\Sigma}}{d \left\{ \frac{(d_{\Gamma}^2 + d_{B\Gamma}^2)/(d_{\Gamma}^2 - d_{B\Gamma}^2) + \mu_{\Gamma}}{E_{\Gamma}} + \frac{(d_{BB}^2 + d_{HB}^2)/(d_{BB}^2 - d_{HB}^2) - \mu_B}{E_B} \right\}} \quad (8)$$

где:  $d_{нр}, d_{вг}, d_{нв}, d_{вв}$  – наружные и внутренние диаметры поршневой головки и втулки соответственно, мм;  $d$  – наружный диаметр поршневого пальца, мм;  $\mu_r = \mu_b = 0,3$  – коэффициенты Пуансона,  $E_r, E_b$  – модули упругости первого рода.

От действия суммарного натяга напряжения на внутренней и внешней поверхностях поршневой головки определяются по формулам Ламе:

$$\sigma_{вi} = \frac{2pd^2}{d_{нр}^2 - d^2}, \quad \sigma_{нi} = \frac{p(d_{нр}^2 + d^2)}{d_{нр}^2 - d^2}, \quad (9)$$

Напряжения в этих местах должны лежать в пределах 100–150 МПа [1,4].

Радиальное давление от силы инерции  $P_i$  вызывает равномерно распределённые напряжения во внутренней поверхности верхней половины головки (рис.2).

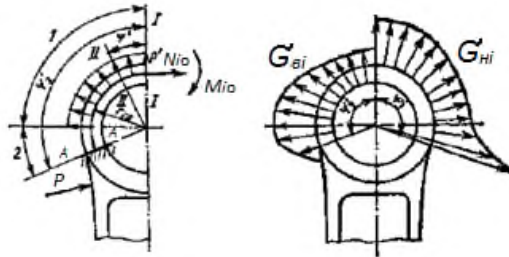


Рисунок 2 – Эпюры напряжений во внутренней и внешней поверхностях поршневой головки

Напряжения от сил инерции на криволинейных участках головки моделируем брусом малой кривизны. Применим метод сечения и получим нормальную силу ( $N_{i0}$ ) и изгибающий момент ( $M_{i0}$ ), которые определяются по эмпирическим формулам:

$$N_{i0} = -P_i(0,572 - 0,0008\varphi'_3) \quad (10)$$

$$M_{i0} = -P_i r_{cp}(0,33\varphi'_3 - 29,7) \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

где:  $\varphi'_3$  – угол заделки ( $\varphi'_3 = 100 \div 130^\circ$ );  $r_{cp}$  – средний радиус поршневой головки, мм ( $r_{cp} = \frac{d_{нр} + d}{4}$ )

При рассекании головки под расчетной частью угла заделки ( $\varphi' = 0 \div 90^\circ$ ), значение изгибающего момента ( $M_{i1}$ ) и нормальной силы ( $N_{i1}$ ) составят:

$$M_{i1} = M_{i0} + N_{i0} r_{cp}(1 - \cos \varphi') + 0,5P_i r_{cp}(1 - \cos \varphi') \quad (12)$$

$$N_{i1} = N_{i0} \cos \varphi' - 0,5P_i r_{cp}(1 - \cos \varphi') \quad (13)$$

На участке при изменении угла заделки ( $\varphi'$  от  $90^\circ$  до  $\varphi'_3$ ), значение изгибающего момента ( $M_{i2}$ ) и нормальной силы ( $N_{i2}$ ) определяются по формулам:

$$M_{i2} = M_{i0} + N_{i0} r_{cp}(1 - \cos \varphi') + 0,5P_i r_{cp}(\sin \varphi' - \cos \varphi') \quad (14)$$

$$N_{i2} = N_{i0} \cos \varphi' - 0,5P_i(\sin \varphi' - \cos \varphi') \quad (15)$$

Напряжения подсчитываются для нескольких значений ( $\varphi' = 0 \div 90^\circ$ ) по следующим формулам: для внешней (+) и внутренней (-) поверхностей соответственно:

$$\sigma_{нi} = \sigma_{вi} = \left\{ \pm 2M_i \frac{6r_{cp} \pm t_r}{t_r(2r_{cp} \pm t_r)} + f N_i \right\} \frac{1}{l_r t_r}, \quad (16)$$

где:  $f$  – коэффициент, учитывающий наличие запрессованной втулки с натягом, который зависит от соотношения жесткостей на растяжение головки и втулки:

$$f = \frac{E_r F_r}{(E_r F_r + E_b F_b)}, \quad (17)$$

где:  $F_r, F_b$  – площадь сечения стенок головки и втулки соответственно.

Максимальное значение сжимающей силы в головке шатуна достигается при повороте коленчатого вала примерно для от 10-20 градусов после нахождения поршня в верхней мертвой точке, то есть в начале процесса расширения:

$$P_{сж} = (p_{зд} - p_0)F_{п} - m_{пг} \cdot \omega^2 R(1 + \lambda) \quad (18)$$

где:  $p_{зд}$  – максимальное давление сгорания, определяемое по открытой индикаторной диаграмме;  $p_0$  – абсолютное (атмосферное) давление;  $F_{п}$  – поперечная площадь поршня.

В любом сечении поршневой головки на участке 1, изгибающие моменты и нормальные силы определяются по формулам:

$$M_1 = M_0 + N_0 r_{cp} (1 - \cos \varphi'), \quad (19)$$

$$N_1 = N_0 \cos \varphi' \quad (20)$$

То же самое на участке 2, определяются изгибающие моменты и нормальные силы по ниже следующим формулам:

$$M_2 = M_0 + N_0 r_{cp} (1 - \cos \varphi') - P_{сж} r_{cp} B, \quad (21)$$

$$N_2 = N_0 \cos \varphi' + P_{сж} B \quad (22)$$

$$B = \frac{\sin \varphi'}{2} - \frac{\varphi'}{180} \sin \varphi' - \frac{1}{\pi} \cos \varphi' \quad (23)$$

Величины  $M_0$  и  $N_0$  определяются в зависимости от сжимающей силы  $P_{сж}$  и угла заделки ( $\varphi'_3 = 100 \div 130^\circ$ ). Для расчета используем таблицу 2.

Таблица 2 – Величина изгибающего момента  $M_0$  и нормальной силы  $N_0$  в зависимости от сжимающей силы  $P_{сж}$  и угла заделки  $\varphi'_3$

| угла заделки $\varphi'_3$ , градус | $N_0/P_{сж}$ | $M_0/P_{сж}r_{cp}$ |
|------------------------------------|--------------|--------------------|
| 100                                | 0,0001       | 0                  |
| 105                                | 0,0005       | 0,00010            |
| 110                                | 0,0009       | 0,00025            |
| 115                                | 0,0018       | 0,00060            |
| 120                                | 0,0030       | 0,00110            |
| 125                                | 0,0060       | 0,00180            |
| 130                                | 0,0085       | 0,00300            |

Для получения величины напряжения необходимо провести расчет для нескольких значений  $\varphi'$  по формуле (16) (для внешней (+) и внутренней (-)):

В местах перехода головки в стержень шатуна от действия сжимающих сил возникают максимальные напряжения, (при  $\varphi' = \varphi'_3$ ), на внутренней поверхности растягивающие, а во внешней – сжимающие волокна поршневой головки.

Максимальные и минимальные напряжения от действия инерционных сил и давления газов в этом сечении с учетом влияния запрессованной втулки изменяются по асимметричному циклу и определяются по формулам:

$$\sigma_{max} = \sigma_{вi} + \sigma_{нi} \quad (24)$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{вi} - \sigma_{нi} \quad (25)$$

Дальнейший расчет запаса прочности поршневой головки шатуна производится по известной методике с определением амплитуды и среднего напряжения цикла. Запасы прочности поршневых головок должны лежать в пределах 2,5–5,0 [1, 4].

## Выводы

1. Представленная методика позволяет определить правильное распределение векторных нагрузок в опасных сечениях, в которых есть вероятность поломки узла, изменения геометрии или действия фрикционного износа.

2. Учитывая напряжения в различных местах поршневой головки шатуна, необходимо предусмотреть вариант изменения конструкции и материала шатуна.

3. Ориентировочно представлен предел запаса прочности частей шатуна, обеспечивающий надежность конструкции при различных нагрузках во время эксплуатации.

*Рецензент: Давлатшоев Р.А. — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ЛЭТУ им. ақад. М.С.Осими*

## Литература

1. Конструкция и расчет автотракторных двигателей /М. М. Вихерт [и др.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 552 с.: ил.

2. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. –4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.: ил.

3. Двигатели внутреннего сгорания: учеб: в 3 кн. / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 1995. – Кн. 2: Динамика и конструирование. – 319 с.: ил.

4. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 496 с.: ил.

5. Расчет и конструирование автомобильных и тракторных двигателей (дипломное проектирование): учебное пособие для вузов / Б. Е. Железко [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 247 с.: ил.

6. Султонов, Х.Н. Тенденции спроса и эксплуатации карьерных экскаваторов / Х.Н. Султонов, Р.Э Зиёев, К. Мухиддинзода // Политехнический вестник. серия: Инженерные исследования – 2018.– №2. (42). – С. 93-97.

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

| TJ                                                                            | RU                                                                  | EN                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Султонов Ҳайдар Назарович                                                     | Султонов Хайдар Назарович                                           | Sultanov Haidar Nazarovich                                       |
| н.и.т., дотсент                                                               | к.т.н., доцент                                                      | candidate of technical sciences,<br>associate professor          |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ               | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik technical university named<br>after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:Sultonov-1963@mail.ru">Sultonov-1963@mail.ru</a>      |                                                                     |                                                                  |
| <a href="https://orcid.org/0000-0001-6956-2384">ORCID_0000-0001-6956-2384</a> |                                                                     |                                                                  |

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ – КОРПУС – КАБИНА – СИДЕНЬЕ – ОПЕРАТОР»

К. Дж. Мухиддинзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Для решения задачи расчетной оценки уровня вибраций на месте водителя, вызванных взаимодействием опорных катков со звенчатой гусеницей в опорной ветви, необходимо использовать математическую модель, описывающую динамику системы «грунт – гусеница – тележки – корпус – кабина – виброзащитное сиденье – оператор».

**Ключевые слова:** микропрофиль, кресло, водитель, грунт, гусеница, тележки, виброзащитное сиденье – оператор, тележка трактора.

## МОДЕЛИ МАТЕМАТИКИ ВА СИСТЕМАИ ДИНАМИКИИ ҲАРАКАТИ ТАСМАЧАРХ ТАНА-КАБИНА - НИШАСТГОҶИ РОНАНДА

К. Ҷ. Муҳиддинзода

Барои ҳалли масъалаи баҳодихии сатҳи ларзиш дар ҷои ронанда, ки аз ҳамкориҳои каткаҳои таҷағоҳ бо тасмачархи пайванддор дар шоҳаи таҷағоҳ ба вуҷуд омадааст, модели математикиро истифода бурдан лозим аст, ки динамикаи системаи хок тасмачархи ароба тана кабина курсии ларзиши ронанда – ро тасвир мекунад.

**Калидвожаҳо:** микропрофил, курсӣ, ронанда, хок, тасмачарх, ароба, курсии ларзиш – ронанда, аробаи трактор.

## MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC SYSTEM "CATERPILLAR PROPULSION – BODY – CABIN – SEAT – OPERATOR" BY

K.J. Muhiddinzoda

To solve the problem of calculating the level of vibrations in the driver's seat caused by the interaction of support rollers with a link track in the support branch, it is necessary to use a mathematical model describing the dynamics of the "ground – track – bogies – body – cabin – vibration-proof seat – operator" system.

**Keywords:** micro profile, armchair, driver, ground, track, trolleys, vibration-proof operator seat, tractor trolley.

### Введение

В настоящее время широкое распространение получили пакеты программ, предназначенные для моделирования динамики различных объектов (ADAMS [7], Ansys Moution [6]). В этих пакетах имеются встроенные средства для построения различных объектов, в т.ч. автомобилей и гусеничных машин. Модель динамической системы промышленного трактора может быть полностью построена в таком пакете. Подобные модели можно использовать для расчета непродолжительных процессов (например, переезда одиночной неровности). При моделировании движения по протяженному участку трассы время расчета оказывается неприемлемо большим.

Как показал предварительный анализ, динамические составляющие нагрузок, вызванные колебаниями трактора при движении, существенно меньше статической нагрузки. Это позволяет рассмотреть подсистему «грунт – тележка трактора» отдельно, считая, что она нагружена статическим весом корпуса [1]. При этом может быть использована модель, подробно описывающая тележку, опорные катки, ведущее и направляющее колеса, разработанная в пакете программ Ansys Motion.

По результатам расчета движения по заданному грунту с определенной скоростью могут быть получены процессы изменения вертикального перемещения оси ведущего колеса ( $Z_T(t)$ ) и угол поворота тележки относительно горизонтали ( $\varphi_T(t)$ ) (рисунок 1) [1].

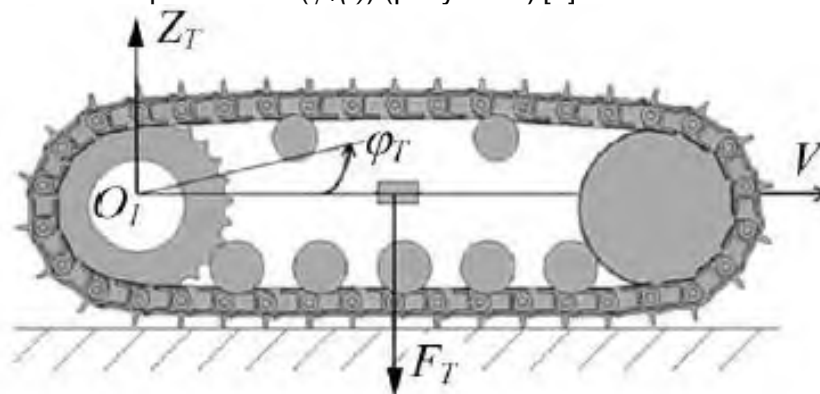


Рисунок 1 – Расчетная схема математической модели тележки трактора

Таким образом, при разработке математической модели трактора с полужесткой подвеской приняты следующие допущения:

- Рассматриваются только вертикальные и продольно-угловые колебания, вызванные движением трактора по звенчатой гусенице.
- Рассматривается движение трактора со скоростью, изменяющейся по случайному закону.
- Грунт моделируется упругопластической средой. В стандарте [4] предписывается проводить натурные испытания по определению вибраций на участке, полученном в результате выполнения технологической операции (например, бульдозирования), при этом микропрофиль трассы не регламентируется. В связи с этим в данном исследовании моделирование движения проводится для ровного участка трассы.
- Предполагается, что колебания корпуса трактора не оказывают влияние на колебания тележек, вызванные движением по звенчатой гусенице, лежащей на грунте.
- Считается, что колебания тележек происходят синфазно и синхронно (наихудший случай).
- Динамическая система рассматривается как линейная, при этом инерционные, упругие и демпфирующие характеристики подсистемы «кресло – водитель» корректируются в зависимости от массы водителя.

Предлагаемая математическая модель позволяет исследовать низкочастотные колебания на месте оператора-водителя промышленного трактора, вызванные движением опорных катков по звенчатой гусенице.

При использовании подробной модели гусеничной тележки, включающей гусеничную ленту, опорные катки, направляющие и ведущие колеса, появляется возможность исследовать влияние свойств грунта, расстановки опорных катков и формы башмаков гусеницы на вибрационную нагруженность рабочего места оператора [3]. По результатам испытаний при случайной нагрузке определены сертификационные характеристики сиденья. Полученные характеристики в дальнейшем будут использованы для создания математической модели виброизолирующего сиденья. С помощью математической модели будут проведены расчеты по оптимизации характеристик виброизолирующего сиденья [2]. Эти изменения обеспечивают снижение виброускорений до уровней, не превышающих санитарные нормы. Изменения могут быть осуществлены за счет использования гидроопор кабины с другими характеристиками и изменения характеристик гидравлического амортизатора системы подрессоривания сиденья [8].

### Тестовые расчеты и проверка адекватности модели

Моделирование движения гусеничного движителя по грунту включало следующие этапы:

- погружение гусеничного движителя в грунт под действием силы, равной весу половины трактора;
- движение системы с постоянным ускорением и в дальнейшем с постоянной скоростью.

После проведения расчетов были получены процессы изменения во времени координат различных элементов движителя. На рисунке 2 в качестве примера представлены просадки движителя в различные виды грунта. Горизонтальная линия отображает нулевой уровень почвы. Хорошо видно, что в самый жесткий грунт погрузились только концы грунтозацепов; в грунт со средней жесткостью грунтозацепы погрузились почти полностью и в самый мягкий грунт погрузились не только грунтозацепы, но и частично башмаки траков.

С помощью разработанной модели была выполнена серия тестовых расчетов движения по рассматриваемым грунтам. В результате расчета получают процессы вертикального перемещения оси ведущего колеса  $Z_T(t)$  и углового перемещения тележки и  $\varphi_T(t)$ . Поскольку тележка двигалась с постоянной скоростью,  $Z_T(t)$  и  $\varphi_T(t)$  являются периодическими процессами с одинаковой частотой, соответствующей частоте следования траков гусеницы (рисунок 3).

Угловые и вертикальные перемещения оказались наибольшими при движении по жесткому грунту, в который грунтозацепы траков практически не погружались. На мягком грунте, с которым траки контактировали всей опорной поверхностью, перемещения оказались наименьшими.

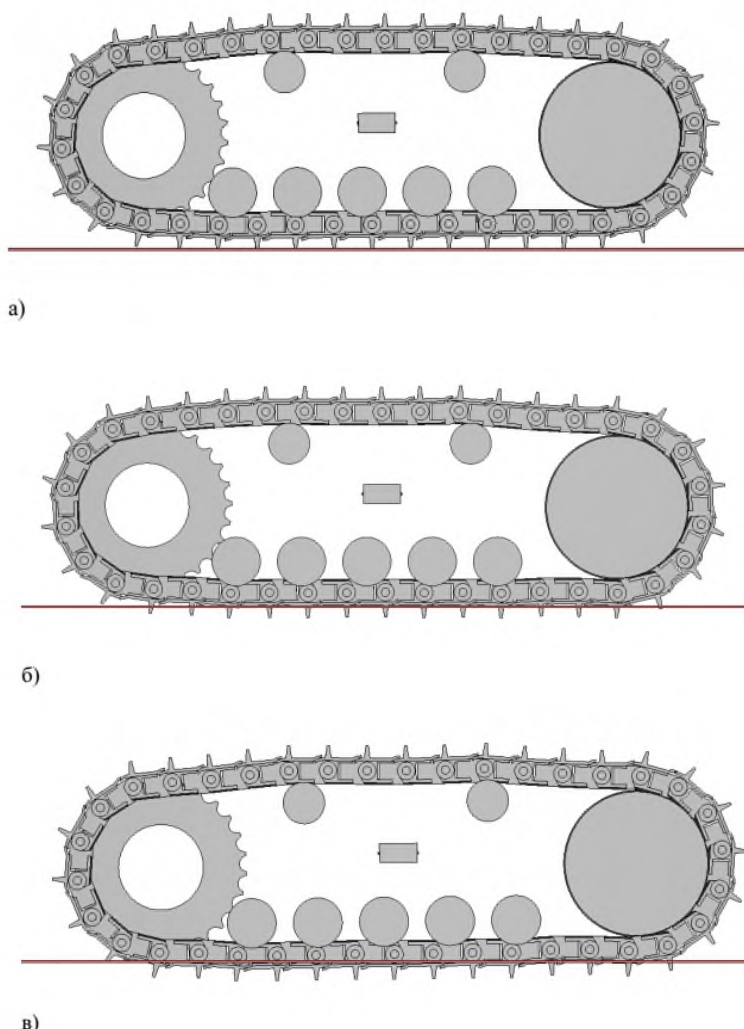


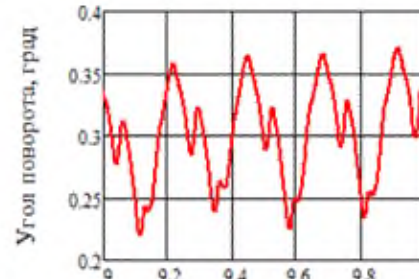
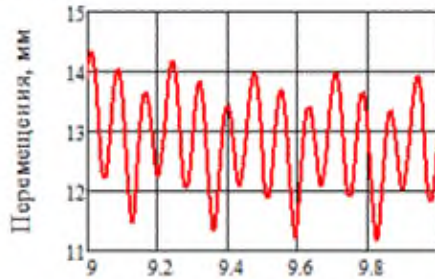
Рисунок 2 – Погружение гусеницы в грунт: а) глина; б) суглинок; в) сунесь

Для проверки адекватности модели были использованы результаты экспериментальных исследований, проводившихся в 2002г. [5]. Во время проведения эксперимента трактор двигался по трассам с различным грунтом, свойства трех видов грунта, используемого в расчетных исследованиях, близки к свойствам грунтов, на которых проводился эксперимент.

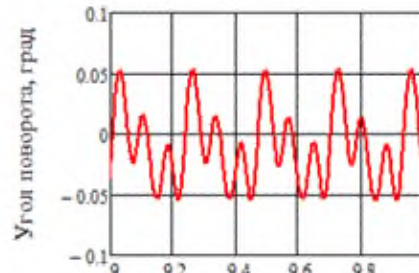
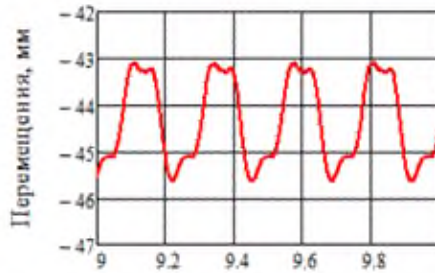
На корпусе и тележке трактора были установлены акселерометры и регистрировались виброускорения при движении по различным грунтам с различными скоростями; также производилась видеосъемка.

Для определения относительных углов поворота траков использованы результаты видеосъемки. При проведении эксперимента камера была установлена неподвижно. Фрагмент видеозаписи движения катков по опорной ветви гусеницы был разбит на отдельные кадры и были выбраны кадры, соответствующие максимальному ( $\varphi_1$ ) и минимальному ( $\varphi_2$ ) углам относительного поворота средних траков. Размах угла относительно поворотов определялся как разность этих значений:  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$  (рисунок 4).

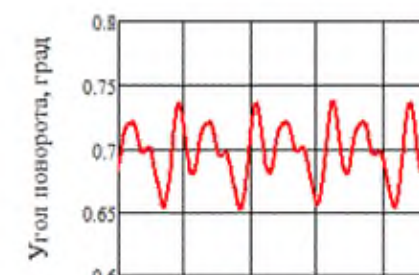
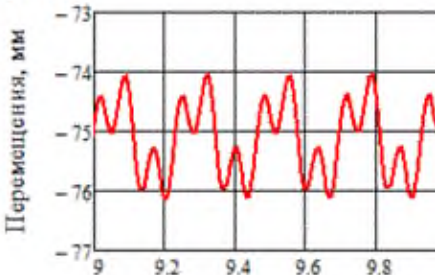
**Глина**



**Суглинок**



**Супесь**



Время, сек

Время, сек

Время, сек

Время, сек

Рисунок 3 – Процессы изменения вертикального перемещения и углов поворота тележки гусеничного движителя для различных видов грунта

Для каждого вида грунта была проведена серия измерений (по различным кадрам видеозаписи), результаты осреднены. Размахи относительных углов поворота траков также были получены при моделировании движения тележки.

Результаты расчета и экспериментальные данные представлены на рисунке 5. Как показывает анализ результатов, углы относительного поворота траков не превышают 3,5 градусов. При этом наибольшие углы соответствуют движению по суглинку. Отличие экспериментальных и расчетных данных не превышает 10%. Следует отметить, что при небольших углах поворота использованный метод экспериментального определения углов по результатам видеосъемки имеет невысокую точность.

В процессе проведения испытаний регистрировались виброускорения тележки в вертикальном направлении в зонах ведущего и направляющего колес. В результате обработки этих данных были получены значения среднеквадратических ускорений в низкочастотной области (до 20 Гц). Аналогичные данные были получены и при моделировании движения тележки. Расчетные и экспериментальные результаты представлены на рисунке 6.



Рисунок 4 – Пример определения относительного угла поворота траков [5]

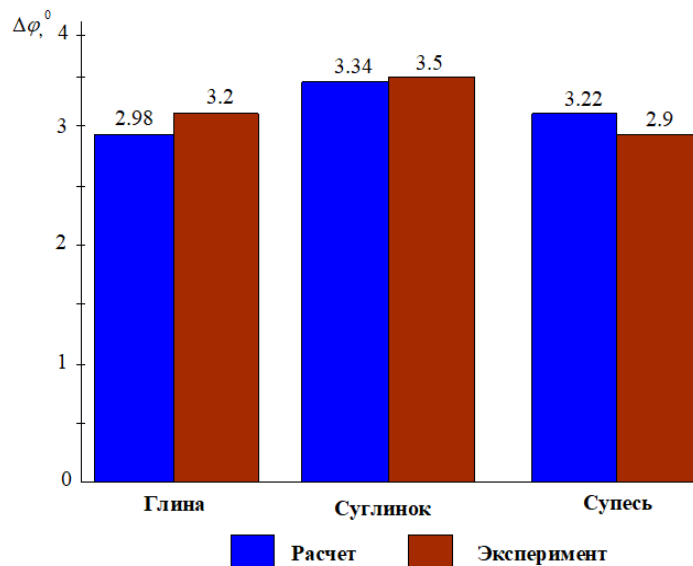


Рисунок 5 – Размах относительных углов поворота траков в опорной ветви при движении по различным грунтам (расчет и эксперимент)

Анализ представленных данных показывает, что во всех экспериментах и расчетах вибрации в зоне направляющего колеса оказались больше, чем в зоне ведущего. Наибольшие виброускорения зарегистрированы при движении по жесткому грунту (глина). Наименьшим виброускорениям в зоне направляющего колеса соответствует движение по грунту средней жесткости (суглинок).

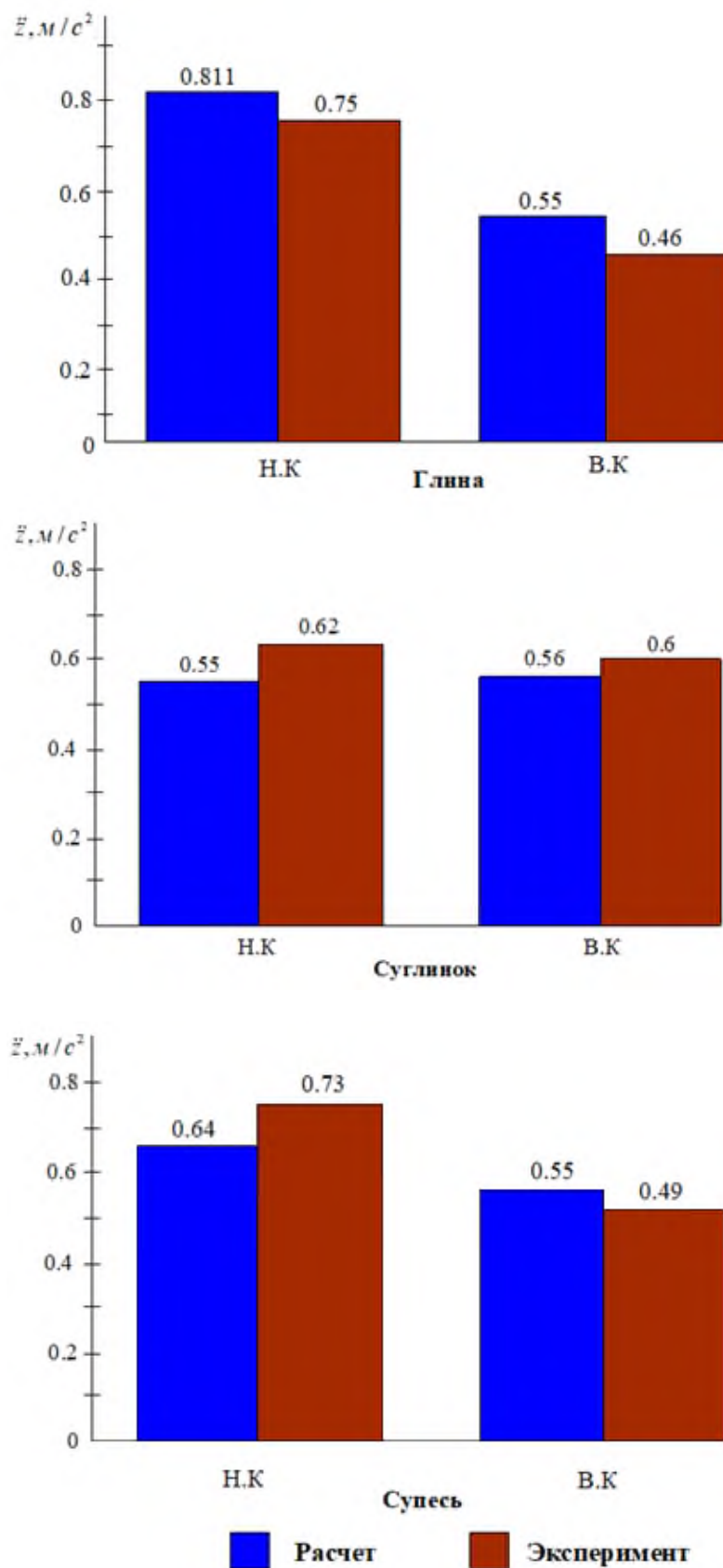


Рисунок 6 – Среднеквадратичные значения виброускорений тележки в зонах ведущего и направляющего колес [5]

Вибрации в зоне ведущего колеса мало зависят от характеристик грунта. Различие экспериментальных и расчетных результатов не превышает 15%. Следует отметить, что на экспериментальные данные оказывали влияние вибрации со стороны двигателя трактора, не учитываемые в расчете.

Очевидно, что на колебания тележки трактора при движении существенное влияние будет оказывать расстановка опорных катков. Так, например, в случае, если расстояние между опорными катками кратно шагу гусеницы, они одновременно будут наезжать на середины траков и одновременно попадать в область шарниров гусеницы. При этом будут преобладать вертикальные колебания тележки. Если же расстояние между катками кратно полуторному шагу гусеницы – следует ожидать увеличения амплитуды угловых колебаний тележки.

Для исследования влияния расстановки опорных катков на колебания тележки были проведены дополнительные расчеты.

## Выводы

Разработанная математическая модель динамической системы трактора с полужесткой подвеской, в отличие от ранее разработанных, использует подробную модель гусеничного движителя и его взаимодействия с грунтом. Это позволяет при моделировании динамики учесть влияние нелинейных упругих характеристик грунта, реальную форму опорной поверхности траков, натяжение гусеницы, расстановку опорных катков и ряд других факторов.

Проверка адекватности модели выполнена на основе сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными Д.В. Хрипунова. Различие экспериментальных и расчетных среднеквадратических значений виброускорений в двух зонах гусеничной тележки не превышает 15%. Расчетные и зарегистрированные экспериментально размахи взаимных углов поворота траков не превышают 10%.

Исследовано влияние расстановки траков на колебания тележки трактора. Показано, что при расстановке катков с переменным шагом размах угловых колебаний уменьшился на 25% при увеличении вертикальных на 9%.

*Рецензент: Туломзода Қ.Х. — к.т.н., доцент, заместитель директора Государственного учреждения «Автомобильный транспорт и логистическое обслуживание»*

## Литература

1. Абызов, А.А. Моделирование динамики промышленного трактора при низкочастотном вибровозбуждении со стороны гусеничного движителя / А.А. Абызов, К.Дж. Мухиддинзода, С.Г. Некрасов // Вестник ЮУрГУ. Серия "Машиностроение". - 2023. - Т. 23, № 1. - С. 63-72. DOI: [10.14529/engin230106](https://doi.org/10.14529/engin230106)
2. Абызов, А.А. Экспериментальные исследования и идентификация модели динамической системы "виброзащитное кресло - оператор" мобильной машины / А.А. Абызов, К.Дж. Мухиддинзода // Вестник Южно-Уральского государственного университета. серия: Машиностроение. - 2023. - т. 23. - №. 4. - с. 69-79.
3. Abyzov A.A., Pronina Y.O., Muhiddinzoda K.J. Experimental Study of the Dynamic Characteristics of the Anti-vibration Industrial Tractor Operator's Seat // International Conference on Industrial Engineering. – Cham: Springer International Publishing, 2022. – С. 421-430.
4. ГОСТ 12.2.122–2013 Система стандартов безопасности труда тракторы промышленные методы контроля безопасности М: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
5. Хрипунов, Д.В. Методы оценки вибронгруженности промышленного трактора со стороны гусеничного движителя: автореферат дис. канд. техн. наук / Д.В. Хрипунов. – Челябинск, 2002. – 22с.
6. Ansys Motion Multibody Dynamics Simulation Software. – <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-motion> (date of access:10.01.2023)
7. Yin H. B., Dynamic performance simulation of a tracked vehicle with ADAMS tracked vehicle toolkit software/ Yin H. B., Shao P. L. //Asian Simulation Conference. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. – С. 553-558.

8. Абызов, А.А., Мухиддинзода К.Дж. Расчетные исследования и рекомендации по снижению вибронегруженности рабочего места оператора промышленного гусеничного трактора / А.А. Абызов, КДж. Мухиддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – №1. 69. С.72-78.

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

| TJ                                                                                     | RU                                                                  | EN                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Мухиддинзода Камолитдини<br>Чамолитддин                                                | Мухиддинзода Камолитдини<br>Джамолитдин                             | Mukhiddinzoda Kamoliddin<br>Jamoliddin                           |
| н.и.т. ассистент                                                                       | к.т.н. ассистент                                                    | candidate of technical sciences, assistant                       |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                        | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik technical university named after<br>academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:kamoliddin.mukhiddinov@bk.ru">kamoliddin.mukhiddinov@bk.ru</a> |                                                                     |                                                                  |
| <a href="https://orcid.org/0009-0000-8326-1801">ORCID: 0009-0000-8326-1801</a>         |                                                                     |                                                                  |

## ТАҲЛИЛИ ҲОЛАТИ КУНУНӢ ВА РОҲҶОИ ТАКМИЛДИҲИ ҲАМЛУ НАҚЛИ БОРҶОИ КИШОВАРЗӢ ДАР МИНТАҚАҶОИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

<sup>1</sup>Х. Сафаров, <sup>2</sup>О.С. Ниёзов, <sup>2</sup>Ш.К. Шодиев

<sup>1</sup>Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур

<sup>2</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба таҳлили ҳолати ҷорӣ ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст. Дар асоси таҳлили маълумоти омӯри ва омӯзиши таҷрибаи амалкунанда мушкилоти асосии низоми ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ ва омилҳои таъсиррасон ба самаранокии он муайян карда мешаванд. Бо мақсади баланд бардоштани самаранокии ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ роҳҳои такмилдиҳӣ дар самти рушди инфрасохтори нақлиётӣ ва ҷорӣ намудани усулҳои муосири идоракунии логистикӣ пешниҳод мегарданд.

*Калидвожаҳо:* ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ, логистика, инфрасохтори нақлиётӣ.

## АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ПУТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Х. Сафаров, О.С. Ниёзов, Ш.К. Шодиев

В статье проводится анализ современного состояния перевозок сельскохозяйственных грузов в Республике Таджикистан. На основе статистических данных и изучения практического опыта выявляются основные проблемы функционирования системы перевозок и факторы, влияющие на ее эффективность. С целью повышения эффективности перевозок сельскохозяйственных грузов предлагаются пути совершенствования, направленные на развитие транспортной инфраструктуры и внедрение современных логистических методов управления.

*Ключевые слова:* перевозка сельскохозяйственных грузов, логистика, транспортная инфраструктура.

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND WAYS TO IMPROVE AGRICULTURAL CARGO TRANSPORTATION IN THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Kh. Safarov, O.S. Niyozov, Sh.K. Shodiev

The article analyzes the current state of agricultural cargo transportation in the Republic of Tajikistan. Based on statistical data and the study of practical experience, the main problems of the transportation system and factors affecting its efficiency are identified. In order to improve the efficiency of agricultural cargo transportation, measures aimed at developing transport infrastructure and implementing modern logistics management methods are proposed.

*Keywords:* agricultural cargo transportation, logistics, transport infrastructure.

### Муқаддима

Дар шароити рушди иқтисоди бозоргонӣ ва густариши занҷирҳои муосири таъминот нақши нақлиёти автомобилӣ ҳамчун унсури калидии логистикаи нақлиётӣ назаррас буда, ташкилкунанда ва таъминкунандаи ҳамоҳангии равандҳои логистикӣ ва пайвастагии инфрасохтори нақлиётӣ ба ҳисоб меравад. Ин намуди нақлиёт ҳамчун зерсохтори системаи нақлиётӣ саривақтӣ расонидани борҳо дар марҳилаҳои ибтидоӣ ва ниҳонии занҷири таъминот ба ҳисоб меравад. Дар системаи ҳамлу нақли байналмилалӣ вазифаи нақлиёти автомобилӣ пайвасткунандаи байни истеҳсолкунандагон, марказҳои логистикӣ, истгоҳҳои роҳи оҳан, бандарҳо ва истеъмолкунандагони ниҳоиро иҷро мекунад. Тадбиқ ва амалиномаи ҳамлу нақли мултимодалӣ бе иштироки ин намуди нақлиёт ғайриимкон мебошад.

Мақсади асосии мавзӯи дидашаванда дар ин мақола таҳлили ҳолати кунунии ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ дар мисоли минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон, муайян намудани мушкилиҳои мавҷуда ва таҳияи роҳҳои ҷиҳати такмилдиҳӣ ва баланд бардоштани самаранокии раванди интиқоли маҳсулоти кишоварзӣ дар шароити минтақавӣ мебошад.

Ба сифати объекти дидашаванда дар мақолаи мазкур низоми ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла фаъолияти корхонаҳои нақлиётӣ, инфрасохтори нақлиётӣ-логистикӣ ва робитаи онҳо бо истеҳсолкунандагони маҳсулоти кишоварзӣ гирифта шудааст.

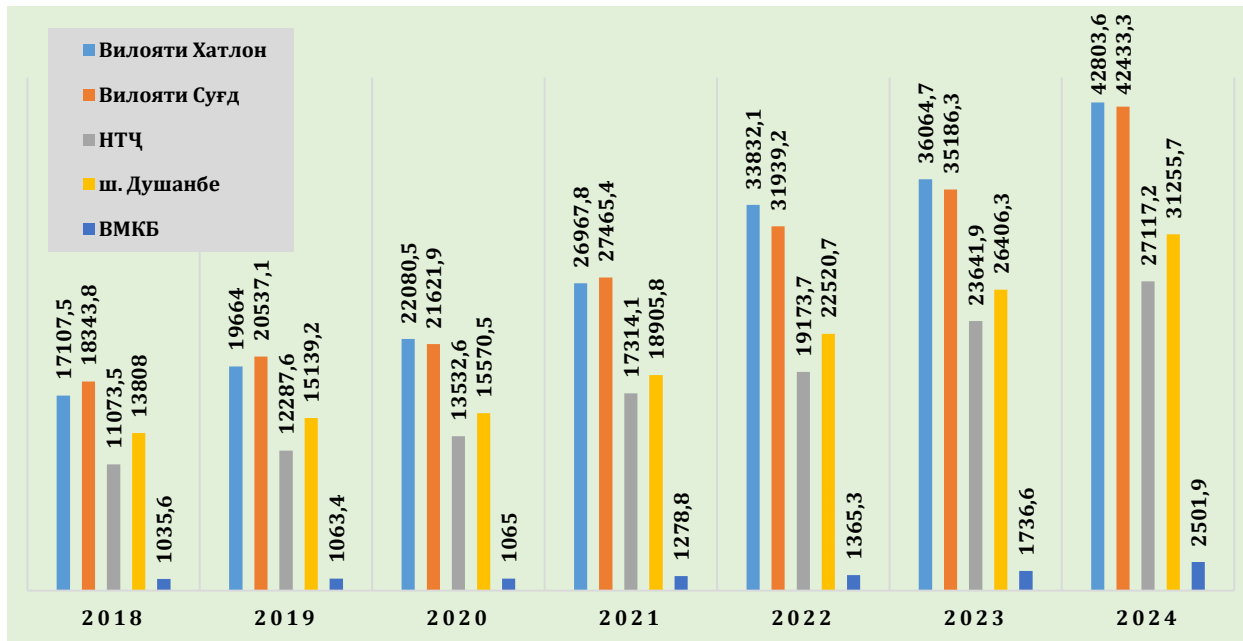
Ҷиҳати ҳалли масъалаи мазкур дар ин мақола чунин вазифаҳоро барои ҳал намудани дида баромадем:

- таҳлили асосҳои назариявӣ ва мафҳуми ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ дар низоми логистикаи минтақавӣ;

- таҳлил ҳолати кунунии ҳамлу нақли маҳсулоти кишоварзӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон;
- баҳодиҳии инфрасохтори нақлиётӣ-логистикӣ ва имкониятҳои мавҷудаи онҳо;
- омӯзиши таҷрибаи кишварҳои пешрафта дар самти ташкили ҳамлу нақли маҳсулоти кишоварзӣ.

Масъалаи асосии муайян намудани ҳиссаи нақлиёти автомобилӣ дар низоми ҳамлу нақл ба баҳодиҳии самаранокии истифодаи он, сатҳи таъсир ба хароҷоти логистикӣ ва дараҷаи мутобиқат бо талаботи бозори байналмилалӣ вобаста мебошад. Дар бештари ҳолатҳо аз сабаби маҳдудияти инфрасохтори роҳи оҳан ва нақлиёти обӣ боиси афзоиши вобастагӣ аз нақлиёти автомобилӣ мегардад, ки ин ҳамзамон ҳам имконият ва ҳам мушкilotи иловагиро ба вучуд меорад. Дигар омили муҳимми истифодаи нақлиёти автомобилӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон вобастагии инфрасохтори нақлиётӣ аз роҳҳои автомобилгард мебошад, зеро рельефи кӯҳистони мамлакат имконияти густариши васеи роҳҳои оҳан ва дигар намудҳои нақлиётро маҳдуд месозад. Ин натавонӣ таъмини эҳтиётот бо маҳсулот мебошад, балки дастрасии молу маҳсулотро аз руи низоми “аз дар то дар” амалӣ менамояд, ки ин самаранокии занҷири таъминотро ба таври назаррас баланд мебардорад [1].

Яке аз масъалаҳои муҳими маҳдудкунандаи самаранокии ҳамлу нақли борҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон сифати нокифояи роҳҳои автомобилгард дар минтақаҳои деҳот ва кӯҳӣ ба ҳисоб меравад. Шароити мураккаби ҷуғрофӣ, фарсудаҷавии қисме аз шабакаи роҳҳо, инчунин таъсири омилҳои табиӣ, аз қабили тарма, сел, фаромадани санг ва яхбандӣ боиси паст гардидани сатҳи эътимоднокӣ ва беҳатариҳои ҳаракат мегардад. Сифати пасти роҳҳо дар ҷунин минтақаҳо на танҳо муҳлати интиқоли борҳоро дароз мекунад, балки ба афзоиши хароҷоти логистикӣ, фарсудаҷавии босуръати воситаҳои нақлиётӣ ва зиёд шудани талафоти молу маҳсулот оварда мерасонад. [2]. Таҷрибаи давлатҳои хориҷӣ нишон медиҳанд, ки истифодаи равишҳои логистикӣ ҳамчун омили таъсиррасон ба рушди ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ таъсири мусбӣ расонанд. Онҳо ҷиҳати рушди интиқоли борҳои кишоварзӣ пеш ҳама истифодаи технологияҳои муосири логистикӣ, аз он ҷумла марказҳои логистикӣ нақлиётӣ, анборҳои муҷаҳҳаз ва системаҳои идоракунии интиқолро дар раванди ҳамлу нақл истифода менамоянд. Ин ҳолат махсусан дар занҷирҳои таъминоти маҳсулоти кишоварзӣ ва борҳои зудвайроншаванда таъсири худро мерасонад. Дар расми зерин ҳолати кунунии ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ аз руи минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст.



Расми 1-Ҳамлу нақли борҳо тавассути нақлиёти автомобилӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон 2015-2024

Бо вучуди афзоиши ҳаҷми истеҳсолот ва рушди соҳаи кишоварзӣ дар минтақаҳои гуногуни Ҷумҳурии Тоҷикистон, аз ҷумла Хатлон, Суғд, ноҳияҳои тобеи марказ ва дигар минтақаҳо, ҳамоно як қатор мушкилиҳо вучуд доранд, аз он ҷумла, набудани терминалҳо, анборҳои муҷахҳаз ва сардхонаҳо, ки ба афзоиши талафоти мол, паст шудани самаранокии интиқол ва маҳдуд гардидани дастрасӣ ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ оварда мерасанд [3]. Ин ҳолат нишон медиҳад, ки рушди устувори соҳаи кишоварзӣ ва баланд бардоштани самаранокии занҷири таъминот ба тадбирҳои ҷиддӣ оид ба рушди инфрасохтори логистикию нақлиётӣ ва ташкили системаҳои нигоҳдории муосир эҳтиёҷ дорад. Дигар омилҳои муҳиме ки ба ҷараёни рушди интиқоли борҳои кишоварзӣ оварда мерасонад, ин мавҷуд набудани марказҳои мутобиқ ва муҷахҳази ҷамъоварӣ ва тақсимои маҳсулот мебошад.

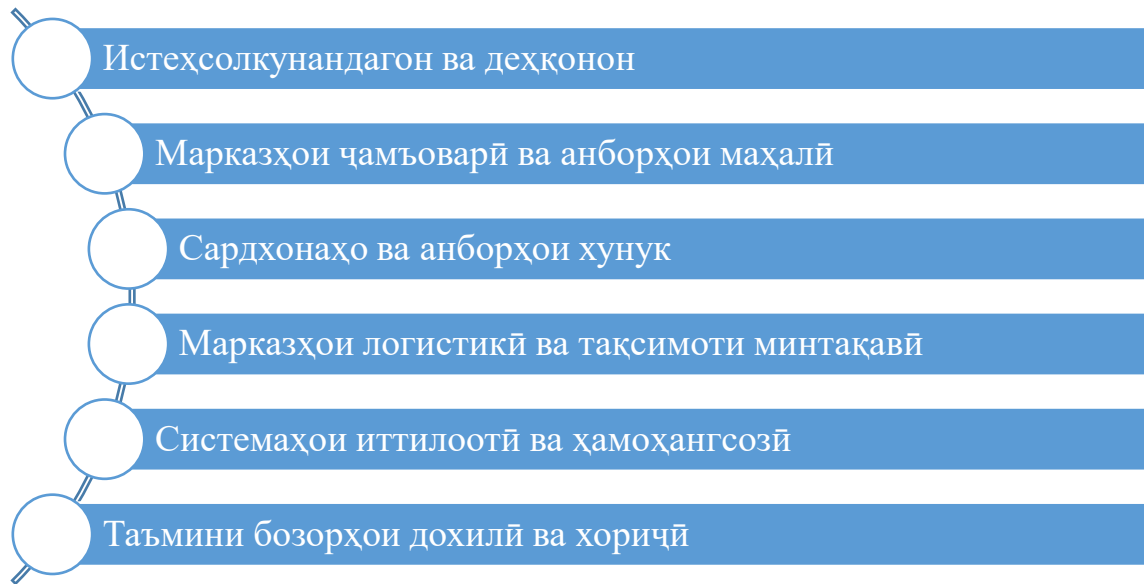
Ҷиҳати таъмини муҷахҳази ҷамъоварӣ ва тақсимои маҳсулот саҳми марказҳои мутобиқ ба намуди маҳсулот ва хусусияти онҳо назаррас буда, онҳо имконият медиҳанд, ки ҷараёни интиқол ва нигоҳдории борҳо аз руи низоми «аз дар то дар» бо самаранокии баланд ва талафоти ҳадди ақал амалӣ гарданд. Инчунин ин марказҳо ҳамзамон ба ҳамоҳангсоии фаъолияти нақлиёти автомобилӣ ва ташкили ҳамлу нақли мултимодалӣ мусоидат намуда, сатҳи эътимоднокии ва сифати маҳсулотро дар бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ таъмин менамоянд.



*Расми 2-Сардхона барои нигоҳдории маҳсулотҳои кишоварзӣ*

Истеҳсоли маҳсулотҳои кишоварзӣ бештар дар минтақаи Хатлон ба назар мерасад, ки боиси зарурати ташкили марказҳои махсуси ҷамъоварӣ ва тақсимои маҳсулот мегардад. Масалан, афзоиши истеҳсоли мева ва сабзавот дар ноҳияҳои Қўрғонтеппа ва Ҳамадонӣ талаб мекунад, ки анборҳои хунок ва терминалҳои муҷахҳаз барои нигоҳдорӣ ва тақсимои самаранок мавҷуд бошанд. Ин тадбирҳо на танҳо сифати маҳсулотро ҳифз мекунад, балки имконият медиҳанд, ки маҳсулот ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ тибқи низоми «аз дар то дар» расонида шавад.

Рушди соҳаи кишоварзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва афзоиши ҳаҷми истеҳсолоти маҳсулоти кишоварзӣ, масъалаи самаранок ва саривақтии интиқол додани маҳсулот ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ аҳамияти калони стратегӣ пайдо кардааст. Занҷири таъминот, ки аз истеҳсолот то истеъмолкунанда идома меёбад, бояд ҳамоҳанг, устувор ва мутобиқ ба хусусиятҳои минтақаӣ ва навъи маҳсулот бошад.



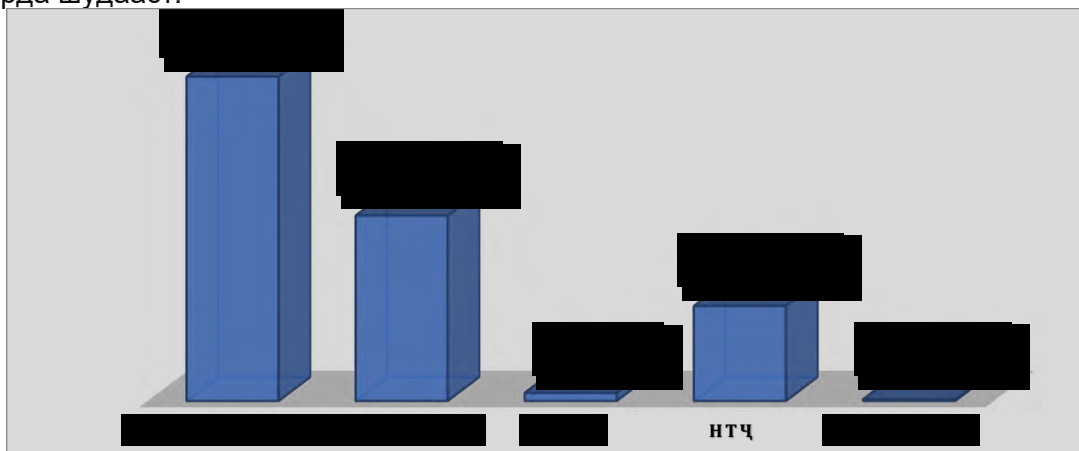
Расми 3 – Занҷири таъминот аз истеҳсолот то истеъмолкунанда

Ҷар як минтақа вобаста аз хусусиятҳои хоси худ ба навъи маҳсулот ва шакли инфрасохтори чамъоварӣ ва тақсимот ниёз дорад. Минтақаҳои ҳамвор ва сербориш, ба монанди Хатлон, барои афзоиши истеҳсоли мева ва сабзавот анборҳои хунук ва терминалҳои муҷаҳҳаз лозиманд, то сифати маҳсулот ҳифз гардида, интиқол ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ бо талафоти кам амалӣ шавад. Дар минтақаҳои кӯҳӣ ва дурдаст, мисли Бадахшон ва қисмҳои кӯҳии Суғд, мушкилоти дастрасӣ ва фарсудаҷавии роҳҳо сабаби афзалияти марказҳои хурд ва нуқтаҳои маҳаллӣ барои чамъоварӣ ва тақсимоти маҳсулот мебошад. Дар вилоятҳои саноатӣ ва шаҳрӣ, ки дастрасӣ ба шабакаи нақлиёт осонтар аст, марказҳои логистикӣ ва анборҳои махсус барои маҳсулоти техникӣ ва таҷҳизот самараноканд. Ин тақсимоти инфрасохторӣ бо назардошти хусусиятҳои минтақавӣ самаранокии занҷири таъминотро баланд мебардорад ва имконият медиҳад, ки маҳсулот ба истеъмолкунанда сари вақт ва босифат расонида шавад.

Ҷадвали 1 – Хусусиятҳои хоси минтақаҳо чиҳати самаранокии занҷири таъминот

| Минтақа       | Хусусиятҳои хоси минтақа                                             | Намуди маҳсулот                                                  | Инфрасохтори лозимӣ                                          | Таъсири инфрасохтор ба занҷири таъминот                                                                        |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хатлон        | Релефи нисбатан ҳамвор, иқлими гарм ва сербориш, майдони калони кишт | Мева ва сабзавот (гару тоза), ғалладонагӣ, сабзавоти коркардшуда | Анборҳои хунук ва стандартӣ, терминалҳо, марказҳои логистикӣ | Ҳифзи сифати маҳсулот, кам кардани талафот, таъмин кардани интиқоли босифат ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ       |
| Суғд          | Қисмҳои ҳамвор ва кӯҳӣ, иқлими гуногун                               | Мева ва сабзавот, ғалладонагӣ, маҳсулоти консервшуда             | Анборҳои хунук, марказҳои логистикӣ, сардхонаҳо              | Афзоиши рақобатпазирӣ, нигоҳдории мол дар мавсими чамъоварӣ, дастрасии маҳсулот ба бозорҳои дохилӣ ва содиротӣ |
| НТҚ           | Релефи кӯҳӣ, роҳҳои маҳдуд ва фарсуда                                | Маҳсулоти хурд, анъанавӣ ва баъзе ғалладонагӣ                    | Марказҳои чамъоварӣ ва нуқтаҳои тақсимот                     | Ҷамоҳангсозии интиқол, кам кардани талафот, дастрасӣ ба аҳоли                                                  |
| Шаҳри Душанбе | Дастрасии осон ба шабакаи роҳҳо ва логистика                         | Маҳсулоти техникӣ ва таҷҳизот                                    | Марказҳои логистикӣ ва тақсимоти махсус                      | Расонидани борҳо сари вақт, ҳифзи мол аз осеб ва талафот                                                       |

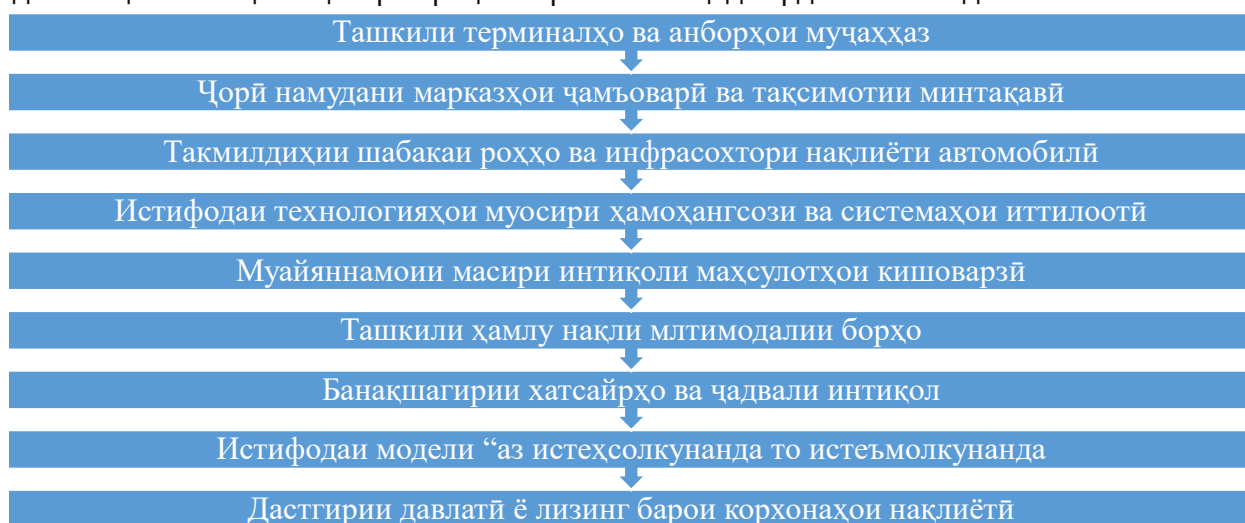
Дар минтақаи Хатлон ҳаҷми зиёди истеҳсоли маҳсулоти кишоварзӣ ба назар расида, зиёда аз 50% истеҳсоли маҳсулотҳои кишоварзии ҷумҳуриро ташкил медиҳад. Истеҳсоли ин намуди маҳсулот дар маҷмуъ дар минтақаҳои ҷумҳурӣ ру афзоиш дошта, ҳаҷми истеҳсоли он дар расми зерин оварда шудааст.



Расми 4-Ҳаҷми истеҳсоли маҳсулоти кишоварзӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2024, ҳаз.сомонӣ

Тавре аз расми 2 бармеояд ҳаҷми бештари истеҳсоли маҳсулот ба минтақаи вилояти Хатлон рост омада, ба 39148413 ҳаз.сомонӣ дар соли 2024 баробар аст, ки ин зиёда 50% истеҳсоли маҳсулоти кишоварзиро ташкил медиҳад. Мавқеи дуҷумро вилояти Суғд ташкил медиҳад, ки дар ин минтақа дар соли 2024 истеҳсоли маҳсулотҳои кишоварзӣ ба 22383180 ҳазор сомонӣ баробар мебошад. Ҳамин гуна дар ҳар як минтақа истеҳсоли он вобаста аз хусусият, релеф ва иқлим натиҷаҳои фарқкунанда ва гуногун доранд.

Дар минтақаҳои ҷумҳурӣ як қатор мушкилиҳои ҳамлу нақли маҳсулотҳои кишоварзӣ вуҷуд дошта, тақмилиҳои онҳо як қатор тадбирҳо ва эҳтиётҳоро талаб менамоянд. Аз он ҷумла, набудани терминалҳо ва анборҳои мучаҳҳаз, мавҷуд набудани марказҳои ҷамъоварӣ ва тақсимот, сифати нокифояи роҳҳои автомобилгард, набудани инфрасохтори хунук ва сардхонаҳо ва тақмили низоми иттилоотӣ ва ҳамроҳангсозии иштирокиёни занҷири таъминот ва ғайраҳо. Амалӣ намудани ин тадбирҳо имконият медиҳад, ки маҳсулот бо талафоти ҳадди ақал, бо сифати баланд ва дар муҳлати кӯтоҳ ба бозорҳои дохилӣ ва хориҷӣ расонида шавад [4]. Инчунин барои мукамалгардонии раванди интиқоли молҳо як қатор чораҳои зерин пешниҳод карда мешаванд:



Расми 5 –Чораҳо ҷиҳати тақмилиҳои ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ

Ҳамлу нақли маҳсулоти кишоварзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ва минтақаҳои он яке аз унсурҳои асосии рушди соҳаи кишоварзӣ ва таъмини амнияти озуқаворӣ ба шумор рафта, истеҳсоли он дар кишвар ба таври назаррас тақсим шудааст, ки дар онҳо хусусиятҳои табиӣ, иқлимӣ ва релеф нақши муҳими худро доранд. Масалан, вилояти Хатлон бо иқлими гарм ва майдони ҳамвор барои

афзоиши истеҳсоли мева ва сабзавот мувофиқ аст, ҳиссаи он дар маҷмӯи истеҳсоли кишоварзӣ ба беш аз 50 %-ро ташкил медиҳад. Дар Суғд истеҳсоли мева ва сабзавот, инчунин ғалладонагӣ ба минтақаҳои ҳамвор ва қисмҳои кӯҳӣ вобаста мебошад. Дар минтақаҳои кӯҳӣ ва дурдаст, мисли Вилояти мухтори қухистони Бадахшон истеҳсоли маҳсулоти хурд ва анъанавӣ асос аст, ки ба фарсудаҳои шабакаи роҳҳо ва дастрасии маҳдуд ба бозор вобаста мебошад.

### Хулоса

Ҳамин тавр, таҳлили ҳолати кунунӣ ва роҳҳои такмилдиҳии ҳамлу нақли борҳои кишоварзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон медиҳад, ки тавассути рушди инфрасохтори логистикӣ, марказҳои ҷамъоварӣ ва тақсимот, сардхонаҳо, ҷамоҳангсозии низоми интиқол ва истифодаи технологияҳои муосир метавон самаранокӣ ва устувории соҳаи кишоварзӣ ва занҷири таъминотро ба сатҳи баланд бардошт. Ҳамчунин истифодабарии шартҳои таҳвилӣ метавонанд ба рушди ҳамлу нақли борҳо таъсири мусбӣ расонида, дар раванди интиқол самаранокии кори нақлиётро баланд бардоранд. Амалиномаи шартҳои логистикӣ метавонанд ба пастнамоии хароҷотҳои нақлиётӣ, муайяннамоии масири муносиби интиқол ва зиеднамоии даври гардиш оварда расонанд.

*Муқаррир: Ғуломзода Қ.Ҳ. — н.и.т., дотсент, муовини директори Муассисаи давлатии “Нақлиёти автомобилӣ ва хизматрасонии логистикӣ”*

### Литература

1. Асадуллин Н.М. Современные проблемы использования грузового автотранспорта в сельском хозяйстве// Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 4-2 (56). С. 44-48.
2. Низомзода Ф. Н. Размещение транспортно-логистических центров в Республике Таджикистан и их роль в повышении эффективности работы транспорта / Ф. Н. Низомзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 3(67). – С. 42-46.
3. Низомзода Ф.Н. Использование кластерного анализа при размещении транспортно-логистических центров в Хатлонской области (на примере районов Кулябского региона)/-Международный научный журнал Сияние науки №3, 2025г.
4. Наджмудинов Ф.Н. Анализ и перспективы развития мультимодальных перевозок грузов в Республике Таджикистан// Начмудинов Ф.Н., Гафуров Ф.Ҷ., Набизода М.Ш. // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. – Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2020, №3 (51) – С.80-84. ISSN 2520 – 2227.
5. Наджмудинов Ф.Н. Прогнозирование грузопотоков по международным транспортным коридорам Республики Таджикистан/Начмудинов Ф.Н., Гафуров Ф.Дж., Самадов Т.У.//Вестник Технологического университета Таджикистана, серия экономические исследования. – Душанбе: ТУТ, 2018, №2 (33) – С. 66-72. ISBN978-99947-0-022
6. Большаков Н. А. Повышение эффективности сельскохозяйственных перевозок / Н. А. Большаков, О. Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 3. – С. 104-111. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-78-3-104-111. – EDN JTFCUDU.

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

| TJ                                                                                      | RU                                                                                           | EN                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сафаров Хучавалӣ                                                                        | Сафаров Худжавали                                                                            | Safarov Khujavali                                                                                |
| доктори илмҳои техники, профессор<br>Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба<br>номи Ш. Шотемур | доктор тех.наук, профессор<br>Таджикский аграрный<br>Университет им.Ш. Шотемур               | Doctor of Technical Sciences, Professor<br>Tajik Agrarian University named after<br>Sh. Shotemur |
| E-mail: <a href="mailto:khudzhavali1947@mail.ru">khudzhavali1947@mail.ru</a>            |                                                                                              |                                                                                                  |
| TJ                                                                                      | RU                                                                                           | EN                                                                                               |
| Ниёзов Одилҷон Сатторович                                                               | Ниёзов Одилҷон Сатторович                                                                    | Niyozov Odiljon Sattorovich                                                                      |
| Муаллими калон<br>Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба<br>номи академик<br>М.С. Осимӣ        | старший преподаватель<br>Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | senior lecturer<br>Tajik technical university named after<br>academician<br>M.S. Osimi           |
| TJ                                                                                      | RU                                                                                           | EN                                                                                               |
| Шодиев Шодикул Каримович                                                                | Шодиев Шодикул Каримович                                                                     | Shodiev Shodiqul Karimovich                                                                      |
| Муаллими калон<br>Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба<br>номи академик<br>М.С. Осимӣ        | старший преподаватель<br>Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | senior lecturer<br>Tajik technical university named after<br>academician<br>M.S. Osimi           |

## МУКАММАЛГАРДОНИИ ЧАРАЁНИ ТАҲВИЛИ БОР ВА БАЛАНДБАРДОРИИ САМАРАНОКИИ БОРКАШОНӢ БО ИСТИФОДАИ ШАРТҲОИ ЛОГИСТИКӢ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

<sup>1</sup>Х. Сафаров, <sup>2</sup>Н.Ш. Мирзоева

<sup>1</sup>Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур

<sup>2</sup>Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мукаммалгардони чараёни таҳвили бор ва баландбардории самаранокии боркашонӣ бо истифодаи шартҳои логистикӣ яке аз омилҳои муҳими рушди соҳаи нақлиёт ва иқтисодиёти Тоҷикистон мебошад. Дар таҳқиқот масъалаҳои оптимизатсия ва самаранокии равандҳои интиқоли борҳо, таҳияи моделҳои логистикӣ ва истифодаи шартҳои замонавӣ барои баландбардории самаранокии корхонаҳои нақлиётӣ мавриди омӯзиш қарор гирифтааст. Натиҷаҳои таҳқиқот имконият медиҳанд, ки чараёни таҳвил соддатар ва самараноктар шуда, хароҷот коҳиш ёбад ва сатҳи хизматрасонӣ барои муштарӣ бехтар гардад.

*Калидвожаҳо:* таҳвили бор, боркашонӣ, самаранокӣ, логистика, оптимизатсия, шартҳои логистикӣ.

## УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ГРУЗОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

Х. Сафаров, Н.Ш. Мирзоева

Совершенствование процесса доставки грузов и повышение эффективности грузоперевозок с использованием логистических условий является одним из ключевых факторов развития транспортной отрасли и экономики Таджикистана. В исследовании рассматриваются вопросы оптимизации и эффективности процессов транспортировки грузов, разработка логистических моделей и применение современных условий для повышения эффективности работы транспортных предприятий. Результаты исследования позволяют сделать процесс доставки более простым и эффективным, снизить затраты и улучшить качество обслуживания клиентов.

*Ключевые слова:* доставка грузов, грузоперевозки, эффективность, логистика, оптимизация, логистические условия.

## IMPROVING THE CARGO DELIVERY PROCESS AND INCREASING CARGO TRANSPORTATION EFFICIENCY USING LOGISTICS CONDITIONS IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Kh. Safarov, N.Sh. Mirzoeva

Improving the cargo delivery process and enhancing the efficiency of freight transportation using logistic conditions is one of the key factors in the development of the transport sector and the economy of the Republic of Tajikistan. The study addresses the issues of optimization and efficiency of cargo transportation processes, the development of logistic models, and the application of modern conditions to increase the performance of transport enterprises. The results of the research allow for a more streamlined and efficient delivery process, reduce costs, and improve service quality for customers.

*Keywords:* cargo delivery, freight transportation, efficiency, logistics, optimization, logistic conditions.

### Муқаддима

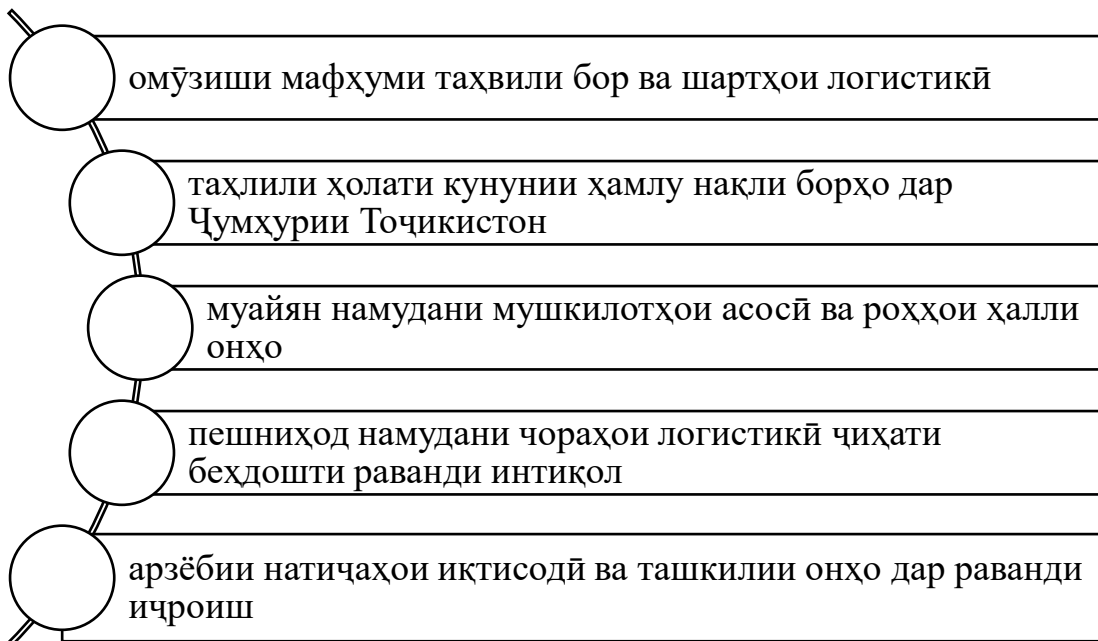
Дар раванди ҷаҳонишавии системаҳои нақлиётӣ ва рақобатнокии иштирокчиёни бозори хизматрасонии нақлиётӣ талабот ба таъмини шафофият, саривақтии таҳвили молҳо ва амалинамоии технологияҳои рақамӣ меафзояд. Ташаққул ва пешрафти комбинат ва сехҳои истеҳсолӣ, тараққиёти техника ва технология ва зарурияти афзоидаи ҷиҳати хизматрасонии сифатнок боиси зарурати навсозӣ ва роҳҳои рушди марҳилаҳои ҳаҷми интиқоли молу маҳсулот, татбиқи шартҳои идоракуни таъминот ва рақамикунонии системаи ҳамлу нақл мегардад. Дар ин ҳолат мебояд, ки ширкатҳо ва корхонаҳои нақлиётӣ логистикӣ хизматрасонӣ ва равандҳои интиқолро ҳамоҳанг намуда, мутобиқ ба стандартҳо ва меъёрҳои муайянгардида барои таъмини занҷири таъминот мувофиқ намоянд. Имрузҳо ташкили боркашонӣ нақлиётӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бинобар сабаби релефи минтақа бештар тавассути нақлиёти автомобилӣ иҷро мегардад, ки ин ба зиёдшавии талабот ба ин намуди нақлиёт, ниёз ба роҳҳои хуб ва ҳамоҳангсозии ҷараёнҳои боркашонӣ, инчунин татбиқи шартҳои муосири логистикӣ ва рақамикунонӣ оварда мерасонад. Ҳамчунин омили дигаре ки зарурияти истифодаи шартҳои логистикӣ дар раванди боркашонӣ ба ҳисоб меравад, ин тақсими анбуҳи хурди борҳо ба нуқтаҳои сершумор мебошад, ки ин ба истифодаи намуди хоси нақлиёт вобаста аст. Дар ин ҳиссаи нақлиёти автомобилӣ нисбати дигар намудҳои нақлиёт бештар ба назар мерасад. Ҳамчунин вобаста аз бартариятҳои нақлиёти автомобилӣ хизматрасонӣ ва дастрасии истеъмолкунандагон саривақтӣ амалӣ гардонида мешавад, ки ин бартарӣ ба дигар намудҳои нақлиёт хос нест [1]. Роҳҳои ҳамчун инфрасохтори нақлиётӣ бештар дар таъмини молу маҳсулот, пайвасти намудани ҳудудҳои молистеҳнамоӣ бо марказҳои истеъмолӣ,

кам намудани масрафи нақлиётӣ ва дастрасии саривақтии таҳвил нақши калидӣ бозида, ҳосилнокии умумии системаи боркашонӣ ва устувории пайдарҳамии таъминотро муайян менамоянд. Чӣхати мукамалгардонии раванди боркашонӣ ва таъмини занҷири таҳвилот нақши шартҳои логистикӣ калидӣ буда, онҳо имкон медиҳанд, ки ҳаракати борҳо аз нуқтаи истеҳсол то истеъмол бо хароҷоти кам, дар муҳлатҳои муайян ва бо сатҳи баланди ҳамохангсозӣ миёни ҳамаи иштирокчиёни раванд амалӣ гардад.

Мақсади мавзуи дидашаванда ин мукамалгардонии ҷараёни таҳвили бор ва беҳтарнамоии самаранокии боркашонӣ бо истифодаи шартҳои логистикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад.

Ба сифати объекти мавзуи дидашаванда фаъолияти корхонаҳои боркашонӣ ва раванди интиқоли борҳо дар низоми логистикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Бо мақсади амалигардонии мақсади гузошташуда вазифаҳои зерин муайян гардида, ҳал мегарданд:

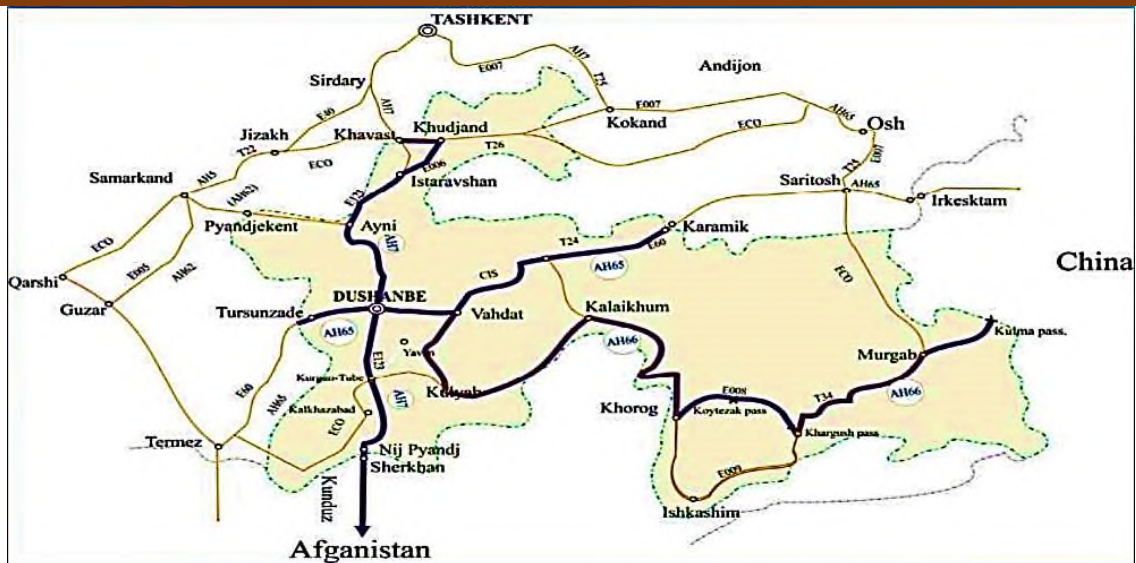


Расми 1 – Вазифаҳои пешниҳодгардида чӣхати амалинамоии мақсади мавзуи дидашаванда

Тавре дар боло қайд намудем чӣхати мукамалгардонии раванди боркашонӣ ва таъмини саривақтии занҷири таҳвилот нақши принципҳои логистикӣ муҳим буда, татбиқи онҳо имкон медиҳад, ки ҳамохангсозии ҳамаи марҳилаҳои ҳаракати бор, коҳиш додани хароҷоти нақлиётӣ ва баланд бардоштани самаранокии умумии фаъолияти боркашонӣ таъмин карда шавад.

- муносибгардонии масири таҳвили борҳо дар занҷири таъминот;
- истифодаи технологияи терминалӣ чӣхати таъмини гашти борноки автомобилҳо;
- истифодаи таркиби ҳаракаткунандаи муосир чӣхати харҷи ками сузишворӣ ва баландбардории маҳсулнокии он;
- истифодаи қуша ва нимқуша дар раванди таҳвили борҳо;
- амалигардонии интиқоли мултимодалӣ бо ташкили марказҳои тақсимотию логистикӣ;
- ташкили интиқоли контейнерӣ чӣхати беҳтарнамоии гашти борнок ва самаранок намудани равандҳои боркашонӣ, коҳиш додани хароҷоти логистикӣ ва таъмини саривақтии таҳвили мол ба нуқтаҳои истеъмолӣ ва ғайраҳо.

Имрузҳо ҳолати кунунии инфрасохторҳои нақлиётӣ аз он ҷумла роҳҳо, роҳравҳои нақлиётӣ ва марказҳои хизматрасонии логистикӣ нишон медиҳанд, ки робитаҳои тичорати беруна ва таъмини истеъмолкунандагон бо молу маҳсулотҳои ватанӣ ва ашҳо ру инкишоф буда, татбиқи равишҳои логистикӣ аҳамияти хос доранд. Тавассути Ҷумҳурии Тоҷикистон роҳҳои автомобилгардии аҳамияти байналмилалӣ дошта гузашта, мамлакатро бо давлатҳои дуру наздик мепайвандад ва робитаҳои савдои беруна амалӣ мегардонад [2].



Расми 2- Роҳҳои байналмилалӣ автомобилӣ (АН-66, АН-65, АН-7)

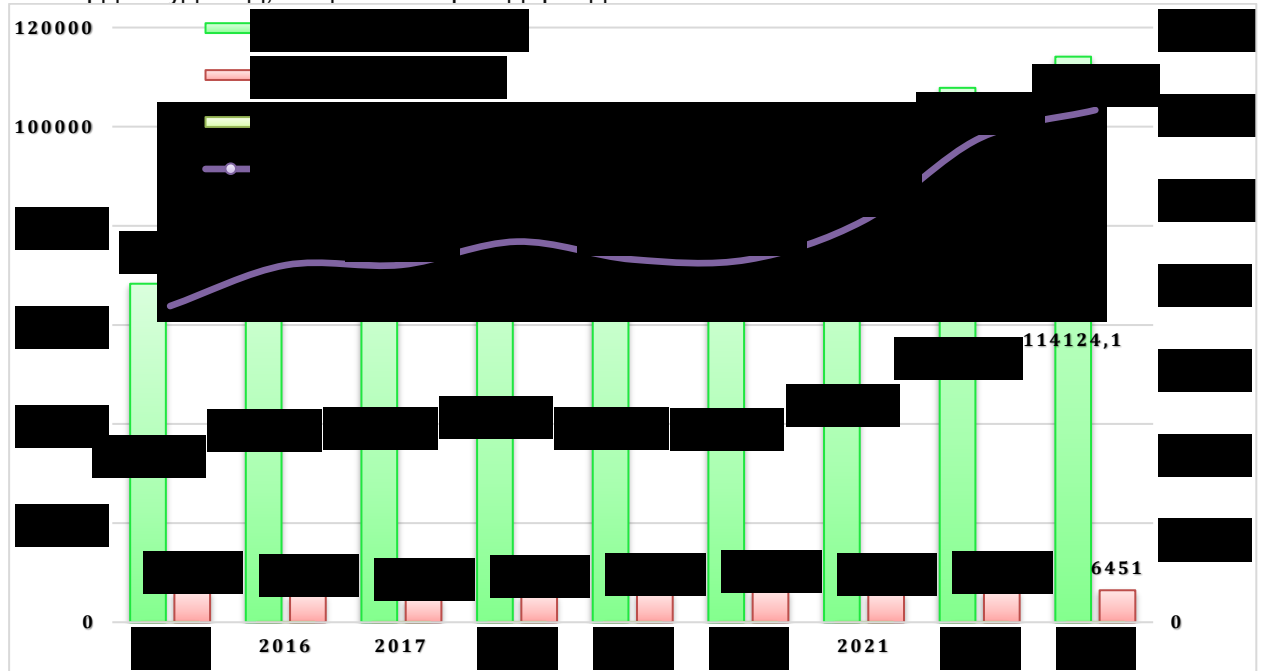
**АН65** - тавассути шаҳри Ваҳдат, Рашт ва Ҷиргатол Ҷумҳурии Тоҷикистонро бо Узбекистон ва Қирғизистон пайваст менамояд;

**АН66** - ин масир тавассути масири Душанбе – Кулоб – Хоруғ – Мурғоб – Қулма гузашта, Тоҷикистонро бо Ҷумҳурии Халқии Чин пайваст намуда, баромадан ба баҳрро таъмин менамояд.

**АН7** - масири мазкур шаҳри Душанберо тавассути ноҳияҳои ҷануб (Бохтар, Панҷ) ба давлати ҳамсоя Афғонистон пайваст менамояд.

Ҳамчунин тавассути Ҷумҳурии Тоҷикистон долонҳои байналмилалӣ нақлиётӣ дар доираи CAREC фаъолияткунанда гузашта, онҳо на танҳо мамлакатро бо дигар давлатҳо пайваст мекунанда балки ҳаракати транзитии мамлакатро таъмин менамоянд, ки баландбардории иқтисодии мамлакат оварда мерасонанд.

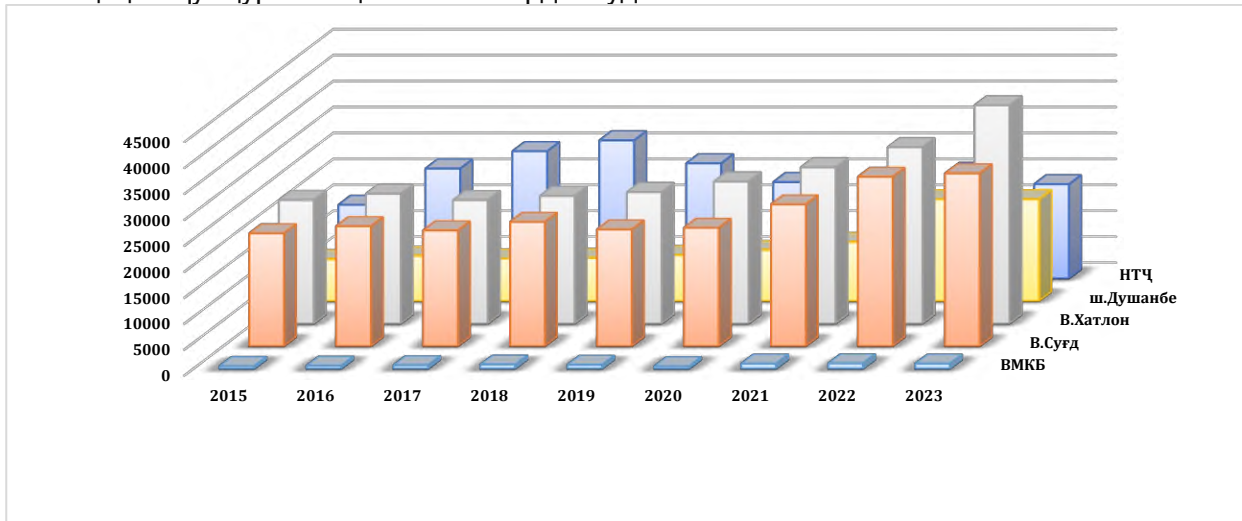
Имрузҳо дар бозори хизматрасонии нақлиёти мамлакат намудҳои мухталифи нақлиёт фаъолияти пурсамар дошта, талаботи истеъмолкунандагони занҷири логистикиро бо маҳсулот таъмин менамоянд. Дар расми зер ҳаҷми хизматрасонии борҳо тавассути намудҳои мухталифи нақлиёт оварда шудаанд, ки ҳолати зерин доранд.



Расми 3-Ҳаҷми нақли борҳо тавассути намудҳои мухталифи нақлиёт дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2015-2023

Тавре аз расм дида мешавад ҳаҷми бештари борҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон тавассути нақлиёти автомобилӣ интиқол дода мешаванд. Зиёда аз 90% интиқол дар ҷумҳурӣ тавассути ин намуди нақлиёт ба назар мерасад. Ҳаҷми борҳо дар соли 2023 дар маҷмӯъ 120576,1 ҳазор сомони ро ташкил дода, аз ин шумора 114124,1 ҳазор сомонӣ ба нақлиёти автомобилӣ рост меояд, ки 94,64%-ро ташкил медиҳад[3].

Бо мақсади боз ҳам рушднамоӣ ва тақмили равандҳои муассисаҳои нақлиёти логистикӣ тавассути нақлиёти автомобилӣ истифодаи таркиби ҳаракаткунанда дар равиши боркашонӣ назаррас буда, самаранокӣ, саривақтӣ ва мутобиқшавӣ ба талаботи бозорро таъмин менамояд. Ҳамчунин вобаста аз рельефи мамлакат хизматрасонии ин намуди нақлиёт дар минтақаҳо ба назар мерасад. Аз он ҷумла ба минтақаҳои дурдаст монанди Суғду Хатлон ва Вилояти мухтори қуҳистони Бадахшон. Дар расми зерин ҳолати хизматрасонӣ, яъне ҳаҷми боркашонӣ бо нақлиёти автомобилӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст.



Расми 4-Ҳаҷми боркашонӣ бо нақлиёти автомобилӣ дар минтақаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

Тавре аз расм дида мешавад ҳаҷми боркашонӣ бештар ба минтақаҳои Суғду Хатлон ва шаҳри Душанбе ба назар мерасад, ки ин аз якҷанд омил вобаста аст. Аз он ҷумла: хусусияти хоси минтақа, намуд ва ҳаҷми истеҳсоли маҳсулоти минтақа, даромад ва талаботи аҳоли ва ғайраҳо.

## Хулоса

Мукамалгардонии чараёни таҳвили бор ва баландбардории самаранокии боркашонӣ бо истифодаи шартҳои логистикӣ яке омилҳои асосии беҳтарнамоӣ ва рақобатпазирии муассисаҳои нақлиётӣ, таъмини саривақтии интиқоли молу маҳсулот ва рушди устувори занҷири таъминот дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад. Амалигардонии онҳо на танҳо ба чараён ва рушди таҳвили интиқол, баландбардории самаранокии корхонаҳои нақлиётӣ ва кори таркиби ҳаракаткунандаи нақлиёти автомобили боркаш, балки ба устувори иқтисодии мамлакат таъсири мусбӣ мерасонанд.

*Муҳаррир: Ғуломзода Қ.Х. — н.и.т., дотсент, муовини директори Муассисаи давлатии “Нақлиёти автомобилӣ ва хизматрасонии логистикӣ”*

## Адабиёт

1. Рауфӣ, А., Низомзода Ф.Н. Заминаҳои ташаккул ва мукамалгардонии ҳамлу нақли борҳо дар асоси ҷойгирнамоии оқилонаи маркази логистикӣ нақлиётӣ дар шаҳри бохтари вилояти Хатлон. / Рауфӣ, А., Низомзода Ф.Н. // Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон. Бахши интеллект, инноватсия, инвеститсия. – Душанбе: ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, 2025, №1 (69) – С. 77-82.
2. Низомзода Ф. Н. Размещение транспортно-логистических центров в Республике Таджикистан и их роль в повышении эффективности работы транспорта / Ф. Н. Низомзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 3(67). – С. 42-46.
3. Низомзода, Ф. Н. Нақш ва аҳамияти логистикаи нақлиётӣ дар рушди иқтисодии мамлакат / Ф. Н. Низомзода // Паёми политехникӣ. Бахши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2024. – No. 1(65). – P. 155-157. – EDN TNHJZH.

4. Раҳмангулов А.Н. Методологические основы организации функционирования железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем [Текст]: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Раҳмангулов Александр Нельевич. - Москва, 2012. - 374 с.

5. Наджмудинов Ф.Н. Прогнозирование грузопотоков по международным транспортным коридорам Республики Таджикистан/Наҷмудинов Ф.Н., Гафуров Ф.Дж., Самадов Т.У.//Вестник Технологического университета Таджикистана, серия экономические исследования. – Душанбе: ТУТ, 2018, №2 (33) – С. 66-72. ISBN978-99947-0-022

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

| TJ                                                                           | RU                                                            | EN                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Сафаров Хучавалӣ                                                             | Сафаров Худжавали                                             | Safarov Khujavali                                             |
| доктори илмҳои техникӣ, профессор                                            | доктор тех.наук, профессор                                    | Doctor of Technical Sciences, Professor                       |
| Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шотемур                               | Таджикский аграрный Университет им.Ш.Шотемур                  | Tajik Agrarian University named after Sh. Shotemur            |
| E-mail: <a href="mailto:khudzhavali1947@mail.ru">khudzhavali1947@mail.ru</a> |                                                               |                                                               |
| TJ                                                                           | RU                                                            | EN                                                            |
| Мирзоева Нисобегим Шоназаршоевна                                             | Мирзоева Нисобегим Шоназаршоевна                              | Mirzoeva Nisobegim Shonazarshoevna                            |
| н.и.и, дотсент                                                               | к.э.н., доцент                                                | Candidate of Economic 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 |

# СОХТМОН ВА МЕЪМОРИЙ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК: 666.94.052.5

DOI: 10.65599/ENG5669

## ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КЛИНКЕРА

**А.А. Акрамов**

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Активность клинкера определяется режимом обжига, химическим составом и свойствами исходного сырья. Среди факторов, влияющих на качество клинкера, ключевую роль играет дисперсность сырьевой смеси. Выявлено, что ухудшение показателей цементного клинкера связано с недостаточной тонкостью измельчения компонентов. Особое значение имеет помол известняка — именно его грубый размол оказывает более значимое воздействие на активность клинкера по сравнению с аналогичным процессом для не кварцевого материала. Однородное тонкое измельчение всех компонентов приводит к образованию мелкозернистой микроструктуры клинкера, обеспечивающей при гидратации формирование плотного цементного камня с повышенной прочностью.

*Ключевые слова:* известняк, глина, тонкость помола, активность клинкера, цементный камень.

## ТАЪСИРИ АЛОҶИДАИ АШЪЁИ ХОМИ КОМПОНЕНТҶО БА ФАЪОЛИЯТИ ГИДРАВЛИКИИ КЛИНКЕР

**А.А. Акрамов**

Фаъолияти клинкер аз рӯи режими сӯзишворӣ, таркиби химиявӣ ва ҳосиятҳои ашъи хом муайян карда мешавад. Дар байни омилҳои, ки ба сифати клинкер таъсир мерасонанд, парокандагии омехтаи ашъи хом нақши асосиро мебозад. Муайян карда шуд, ки бад шудани қори клинкери цемент аз сабаби нокифояи суфта шудани компонентҳо мебошад. Суфтакунии оҳаксанг маҳсусан муҳим аст – ҳусусан суфтакунии дағал ба фаъолияти клинкер таъсири муҳим муҳим мерасонад, назар ба масолеҳи ғайриқварти, ки бо чунин раванд суфта шудаанд. Ҳангоми баробар майда-суфта намудани ҳамаи компонентҳо, микроструктураи клинкери майда-дона ҳосил мегардад, ки он дар раванди гидротатсия ба ташаккули санги сементии зичиаш баланд, ба мустақамии механикии зиёд мусоидат менамояд.

*Калидвожаҳо:* оҳаксанг, гил, майда суфтакунии, фаъолияти клинкер, санги сементӣ.

## INFLUENCE OF INDIVIDUAL RAW MATERIAL COMPONENTS ON THE HYDRAULIC ACTIVITY OF CLINKER

**A.A. Akramov**

The activity of clinker is determined by the firing mode, chemical composition and properties of the feedstock. Among the factors affecting the quality of clinker, the dispersion of the raw material mixture plays a key role. It was revealed that the deterioration of cement clinker parameters is associated with insufficient fineness of grinding the components. Limestone grinding is of particular importance — it is its coarse grinding that has a more significant effect on clinker activity compared to a similar process for non-quartz material. Homogeneous fine grinding of all components leads to the formation of a fine-grained microstructure of clinker, which ensures the formation of dense cement stone with increased strength during hydration.

*Keywords:* limestone, clay, grinding fineness, clinker activity, cement stone.

### Введение

Существует ряд работ [1–17], посвящённых анализу воздействия степени дробления исходного сырья на каталитическую активность клинкеров. Обычно авторы полагают, что крупные фракции глины наиболее существенно ухудшают микроструктуру клинкера и снижают его реакционную способность, тогда как степень дробления известняка воспринимается как фактор второстепенного значения.

Полученные нами результаты предварительного анализа, направленного на улучшение качества цемента на производственном комплексе ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» за счёт более тонкого измельчения сырьевой смеси, совпали с данными промышленных испытаний, проводившихся на объекте. Однако при реализации эксперимента по прямому вводу глины в шламбассейн печи без её предварительной переработки в сырьевых мельницах были зафиксированы неожиданные результаты: наибольшее снижение активности клинкерного продукта отмечалось при крупном помолу известняка, тогда как рост доли глинистых компонентов не вызвал заметного падения гидравлической прочности готовой продукции.

### Материалы и методы исследования

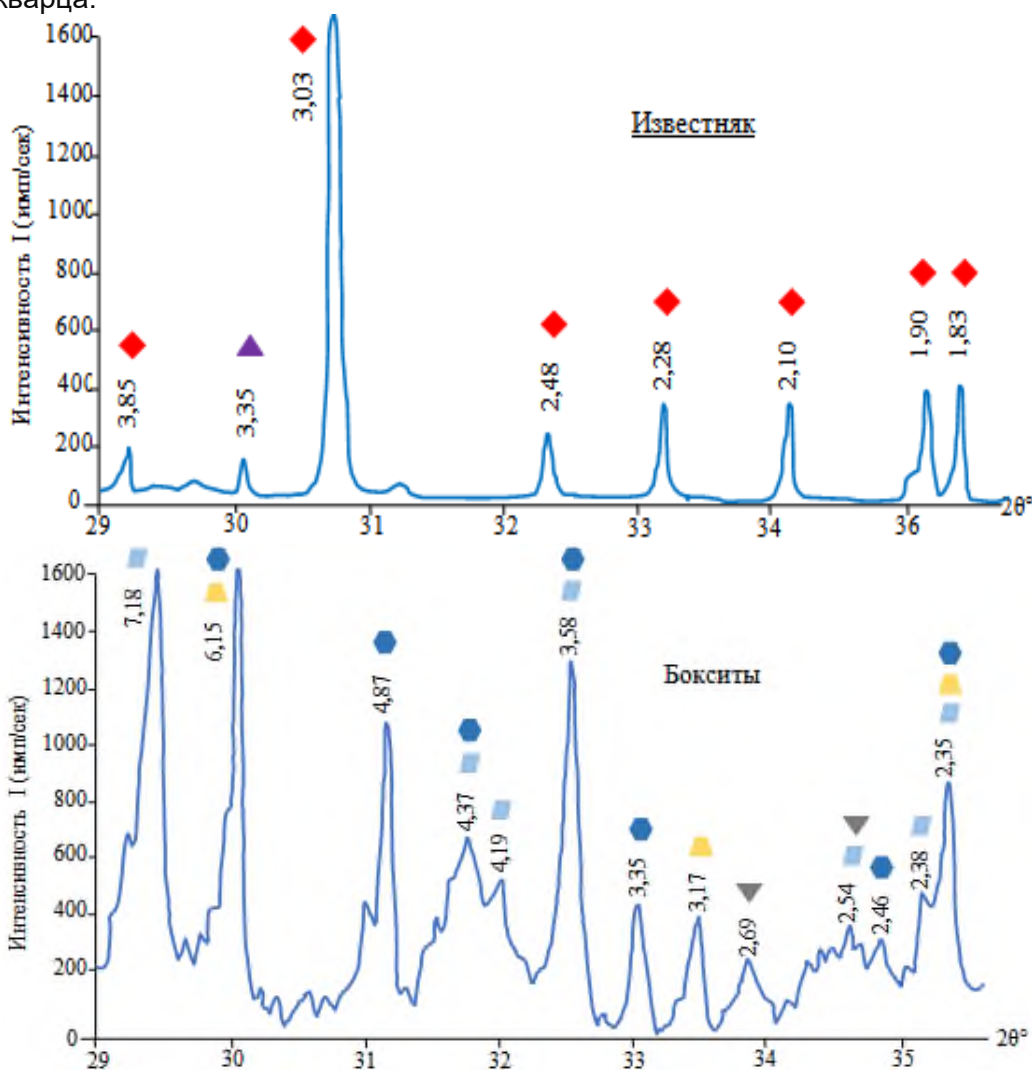
В качестве объектов исследования выступили первоначальные сырьевые компоненты и смеси, применяемые на производственном предприятии ОАО «Хуаксин Гаюр Цемент». Состав исходных материалов, образовавшихся смесей и клинкера представлен в таблице 1. Чтобы выявить

влияние химического состава сырьевой смеси и степени дисперсности отдельных компонентов, выполнены рентгеноструктурный анализ и комплексный термический анализ проб.

Таблица 1 – Композиция химических элементов исходных компонентов, смеси и клинкера

| Материал      | Содержание оксидов, % |                                |                                |      |      |                 |                  |      |        |
|---------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|------------------|------|--------|
|               | SiO <sub>2</sub>      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | SO <sub>3</sub> | R <sub>2</sub> O | ППП  | Прочие |
| Известняк     | 1,50                  | 0,05                           | 0,04                           | 55,0 | 0,20 | -               | -                | 43,2 | 0,01   |
| Глина         | 57,9                  | 14,8                           | 5,30                           | 7,60 | 2,18 | 0,21            | 3,15             | 8,39 | 0,47   |
| Железная руда | 15,1                  | 1,67                           | 81,1                           | 0,67 | 0,10 | 0,72            | 0,30             | -    | 0,34   |
| Бокситы       | 20,1                  | 44,9                           | 12,9                           | 0,34 | 0,09 | 0,51            | 0,51             | 17,7 | 2,95   |
| Смеси №1...№3 | 13,7                  | 3,74                           | 3,11                           | 43,3 | 0,60 | 0,07            | 0,67             | 37,7 | 0,11   |
| Клинкер       | 20,98                 | 5,73                           | 4,76                           | 66,3 | 0,92 | 0,11            | 1,03             | -    | 0,15   |

Фазовый состав компонентов, определённый рентгеновскими методами анализа, представлен на рисунке 1. Рентгенограмма известняка отображает доминирующие пиковые полосы, характерные для кальцита CaCO<sub>3</sub> и кварца SiO<sub>2</sub>. Глинистые породы включают, главным образом, кварц, монтмориллонит, альбит, иллит, каолинит, а также карбонаты кальция и магния. Для повышения содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в исходной смеси использовался боксит, фазовый состав которого состоит из гиббсита (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O), бёмита (AlOOH), каолинита (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) и небольшого количества гематита (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). В качестве железосодержащей добавки выступала железная руда, преобладающим компонентом которой является гематит с минимальными примесями кварца.



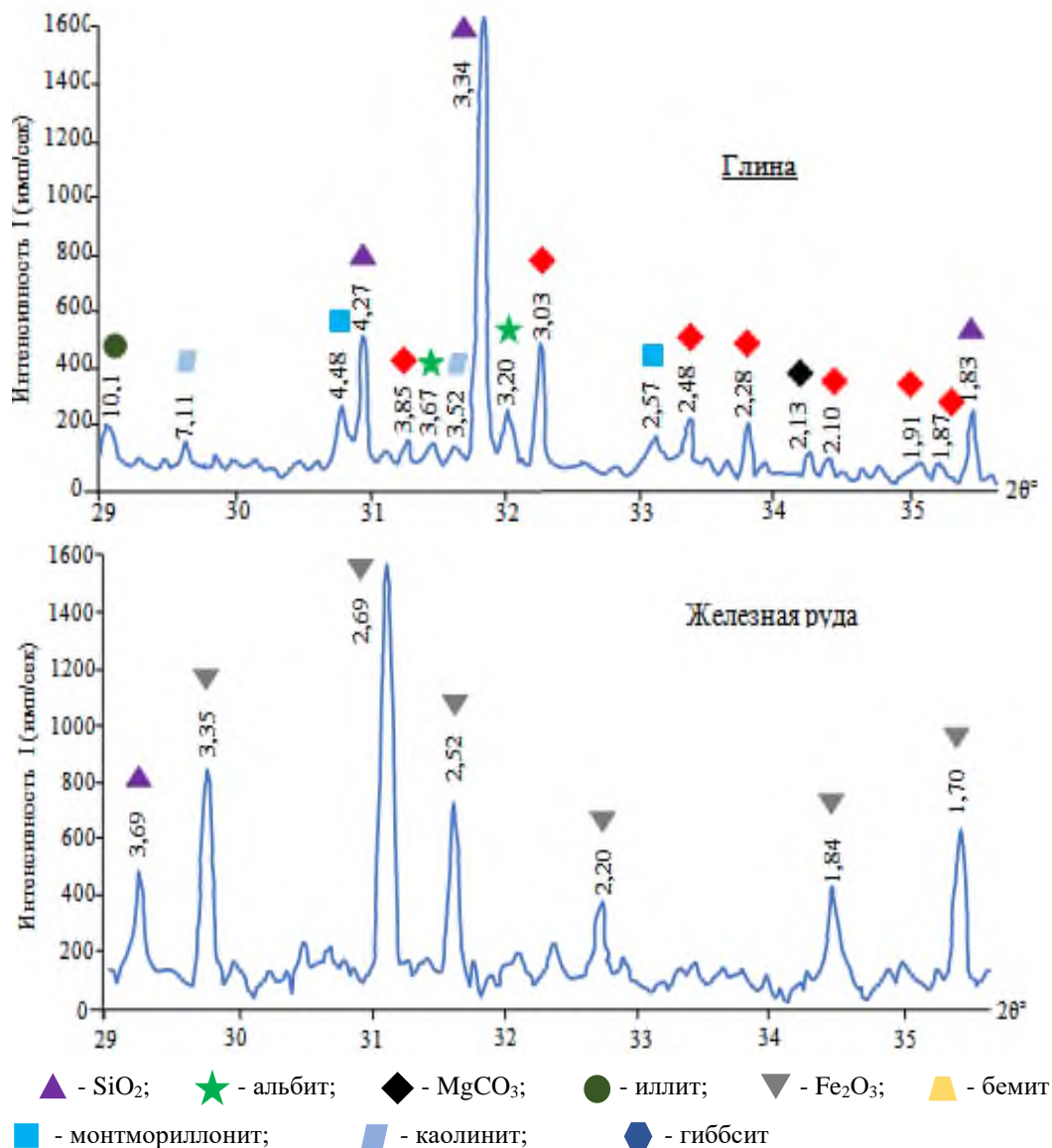


Рисунок 1 – Фазовый состав компонентов

### Обсуждение

Комплексный термический анализ (КТА) расширяет информацию, полученную при рентгеновском фазовом анализе, позволяя зафиксировать изменения в структуре материалов при их нагревании (см. рисунок 2). При температуре 822 °С в известняке протекает декарбонизация CaCO<sub>3</sub>, тогда как в глине термическое разложение начинается уже при 725 °С. На дифференциально-термограмме глины пик при 88 °С указывает на испарение адсорбированной влаги, ступенчатое снижение массы около 150 °С связано с выходом межслойной воды из монтмориллонита и гидрослюда, а максимум при 470 °С отражает удаление конституционной воды из каолинита и иллита. Эндотермические явления при 573 °С на термограмме известняка и 545 °С – на глине вызваны переходом β – SiO<sub>2</sub> → α – SiO<sub>2</sub>. Эти превращения сопровождаются перестройкой кристаллической решётки минералов, что при наличии эффекта Хедвалла усиливает активность новых образовавшихся фаз.

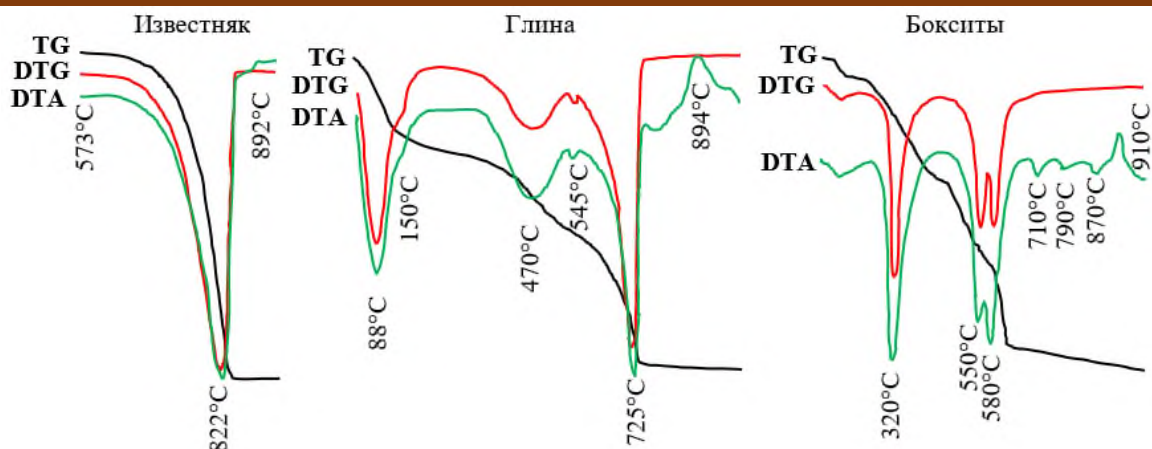


Рисунок 2 – Инфракрасные снимки первоначальных веществ

Оценка влияния степени измельчения исходных компонентов на активность клинкера выполнена по трем вариантам составов с разной степенью дробления ингредиентов. Показатели сырьевых смесей и полученных проб клинкера приведены в таблице 2. В образце № 1 преобладали крупные фракции, связанные с карбонатным компонентом, в образце № 2 – мелкие глинистые частицы. Проба № 3 подвергалась тщательному измельчению до полного прохождения сквозь сито с диаметром отверстий 008. Гранулометрический состав готовых смесей определен методом анализа рассеяния света с использованием лазерной технологии (см. рисунок 3).

Согласно графикам, при тонком помоле подавляющее число частиц остаётся ниже 80 мкм, тогда как при грубом измельчении наибольший размер фрагментов достигает 200 мкм. Двухпиковая форма кривой дисперсности при грубом помоле свидетельствует о наличии двух различных фракционных групп; при этом второй пик, характеризующийся высокой концентрацией глинистых компонентов, проявляется отчётливее, что может быть связано с наличием труднораздробимого минерала — кварца.

Таблица 2 – Описание состава сырьевой смеси и клинкера

| Соотношение компонентов, % |                                                              |                      |                   |                     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| Смеси                      | Известняк                                                    | Глина                | Руда Fe           |                     |
| №1 – №3                    | 75,8                                                         | 20,6                 | 2,2               | 1,3                 |
| Смеси                      | Характеристика компонентов сырьевой смеси по тонкости помола |                      |                   |                     |
|                            | Компонент                                                    | R <sub>008</sub> , % |                   | R <sub>02</sub> , % |
| №1                         | Известняк                                                    | 20                   |                   | 10                  |
| №2                         | Глина                                                        | 80                   |                   | 20                  |
| №3                         | Все компоненты                                               | 0                    |                   | 0                   |
| Клинкер                    | КН                                                           | Модули               |                   |                     |
|                            |                                                              | n                    | p                 |                     |
|                            | 0,94                                                         | 2,0                  |                   | 1,2                 |
| Фазовый состав             |                                                              |                      |                   |                     |
| C <sub>3</sub> S           | C <sub>2</sub> S                                             | C <sub>3</sub> A     | C <sub>3</sub> AF |                     |
| 65,3                       | 10,8                                                         | 7,1                  | 14,5              |                     |

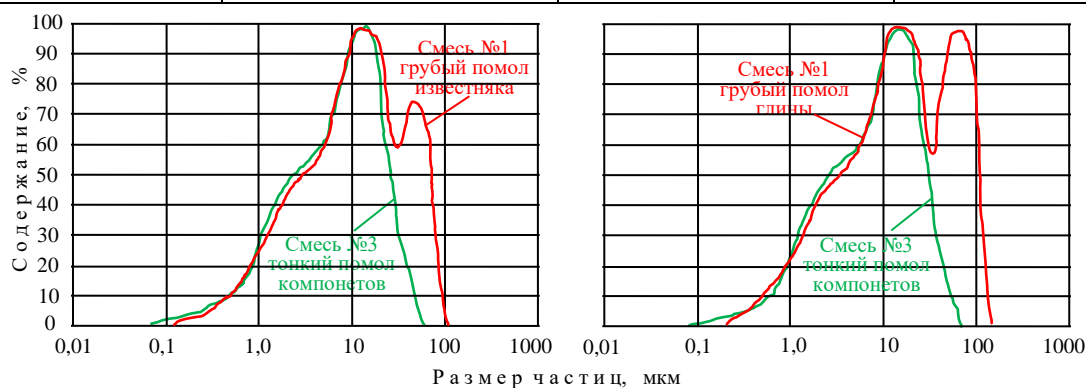


Рисунок 3 – Сопоставительный гранулометрический анализ исходных составов

Влияние степени дробления первичного материала на структурные параметры и гидравлические свойства клинкера.

Активность клинкера оценивалась по итогам спекания сырьевой массы при температуре 1450 °С в течение 40 мин. Образовавшийся клинкер совместно с 5 % гипса измельчали до получения удельной поверхности  $320 \pm 10 \text{ м}^2/\text{кг}$ . С использованием полученной пудры формовали кубические образцы (ребро – 1,41 см), не применяя наполнители, при соотношении вода/цемент В/Ц = 0,26. Предел прочности при сжатии определялся через 2, 7 и 28 суток твердения; данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Итоги механико-физических исследований цемента

| Характеристика компонента | Прочность компонента, МПа |       |        |
|---------------------------|---------------------------|-------|--------|
|                           | 2 сут                     | 7 сут | 28 сут |
| Грубый помол известняка   | 26,1                      | 36,9  | 37,4   |
| Грубый помол глины        | 65,5                      | 93,4  | 90,4   |
| Тонкий помол компонентов  | 76,8                      | 10,4  | 117,3  |

Сравнительный анализ данных физико-механических испытаний демонстрирует, что грубое измельчение известняка вызывает более выраженный негативный эффект на активность клинкера по сравнению с аналогичной обработкой глинистого компонента. При этом при использовании крупнозернового известняка активность клинкера через 28 суток снижается до 35 %, в то время как при грубом помоле глины — всего на ~10 %.

Анализ фазового состава клинкера методом рентгеноструктурного исследования подтвердил присутствие ключевых минералов —  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  и  $\text{C}_4\text{AF}$ , что соответствует данным, приведённым в таблице 2.

Исследование микроструктуры клинкера после шлифовки в отражённом свете (рис. 5) показало, что при высокой степени дробления как известняка, так и глины обеспечивается однородное распределение минеральных компонентов и чётко выраженная кристаллическая решётка. Подобная структура способствует повышению механической прочности гидратированного цементного камня.

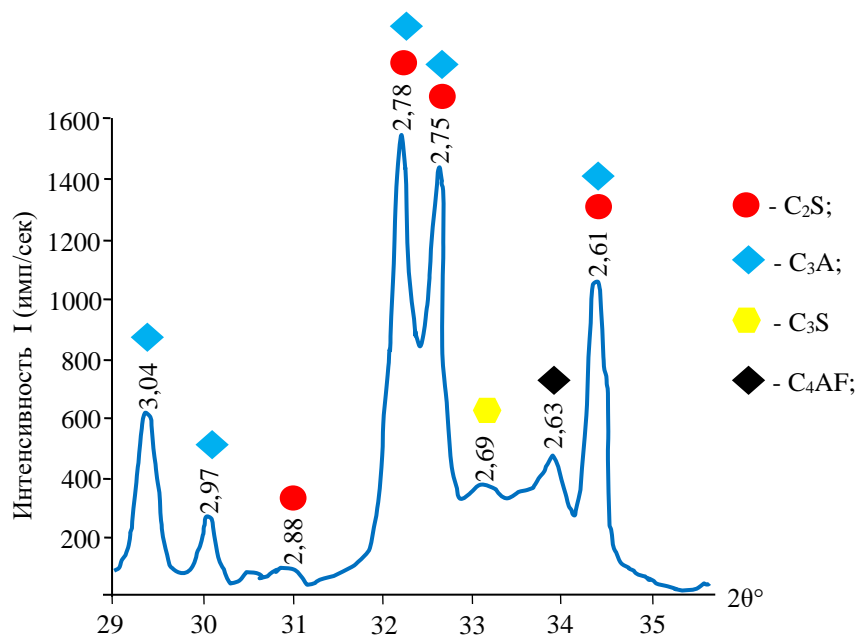


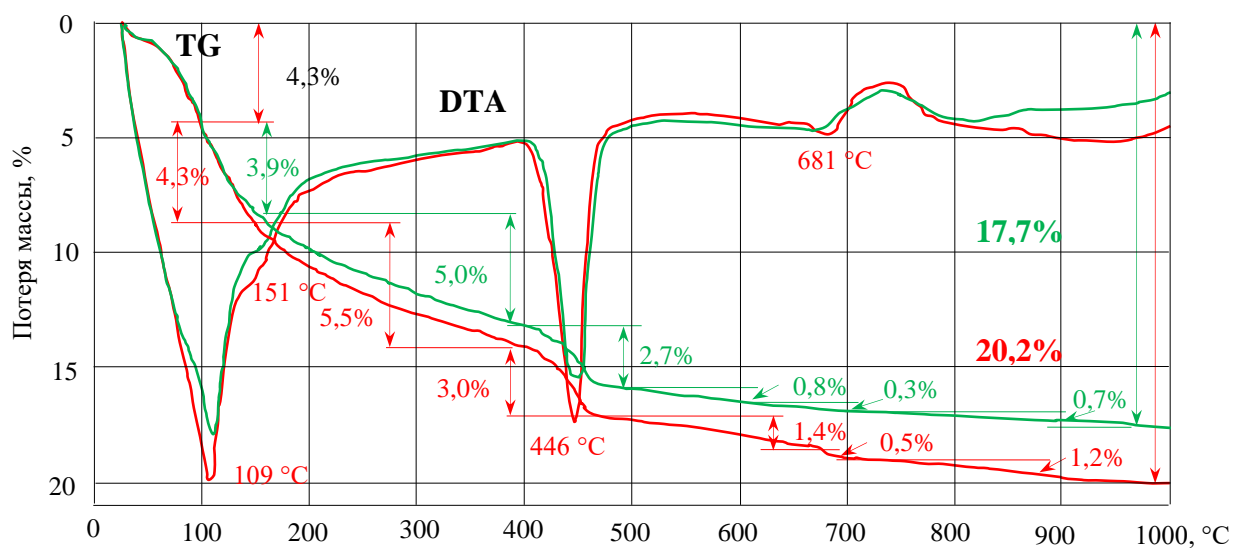
Рисунок 4 – Состав фаз в клинкере



Рисунок 5 – Влияние степени измельчения исходных компонентов на микротопологию клинкера

### Воздействие уровня дробления сырьевых компонентов на ход гидратации цемента

Для выявления влияния степени измельчения отдельных компонентов сырья на активность клинкерной фазы проведён комплексный термический анализ (КТА) гидратированных цементных образцов на разных этапах твердения; результаты приведены на рис. 6.



Прочность в МПа

117

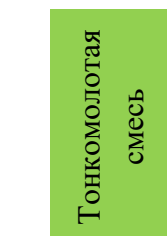


76



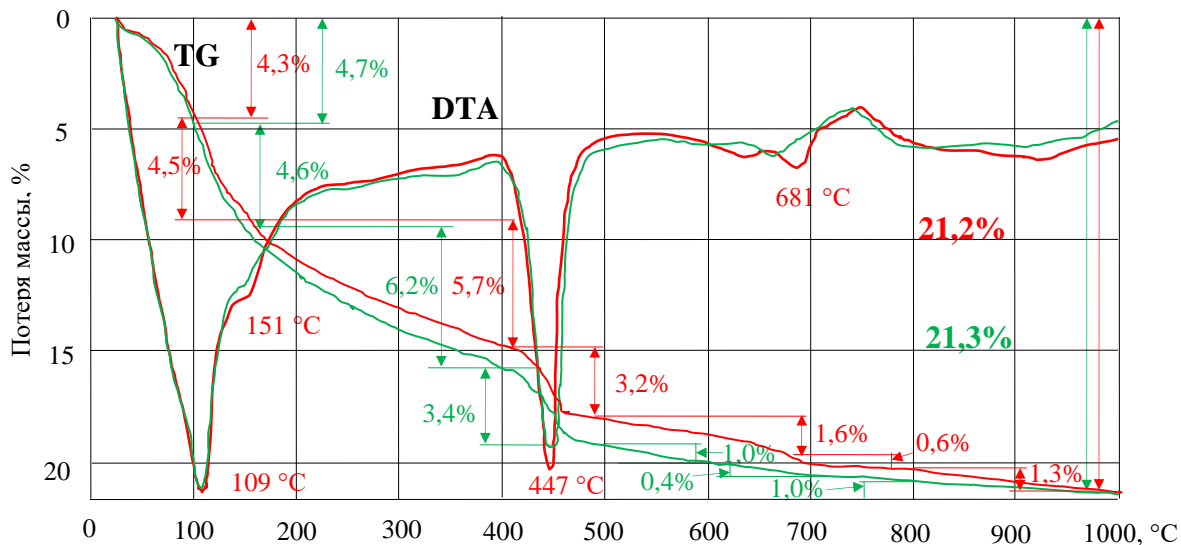
Потери гидратной воды до 700 °С

12,7 %



14,7 %





Прочность в МПа

120

Потери гидратной

воды до 700 °С

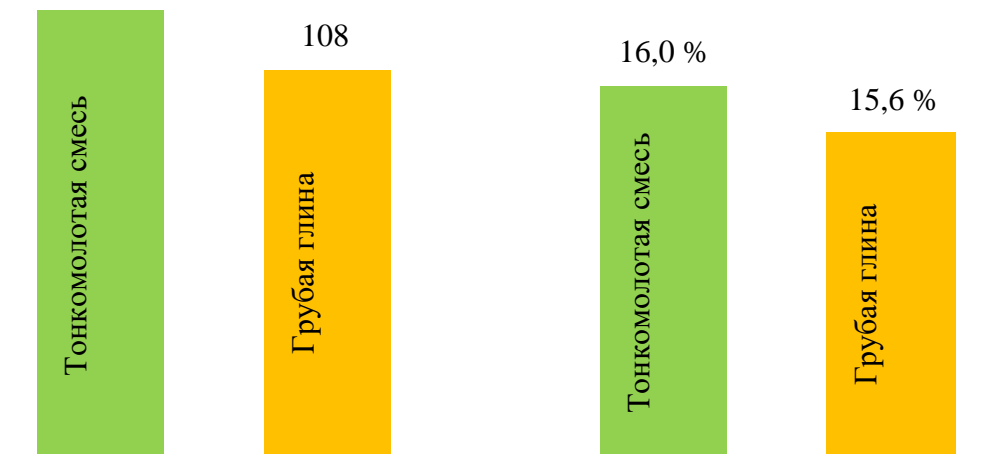
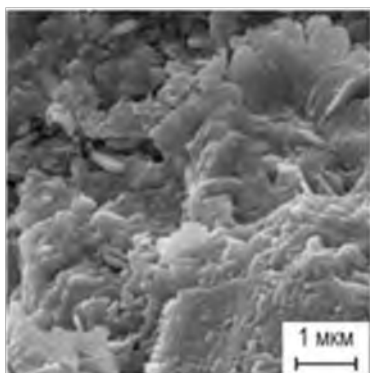


Рисунок 6 – Термическое исследование смесей на основе цемента с участием воды по истечении 28 дней твердения.

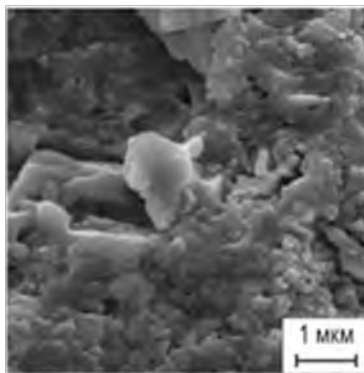
Результаты КТА свидетельствуют о том, что степень гидратации не отражает напрямую гидравлическую активность клинкера. Потеря массы при нагревании (кривые ТГ), обусловленная выделением связанной воды, говорит о том, что на верхнем графике цемент с меньшей степенью гидратации проявляет большую прочность, тогда как на нижнем – наибольшее значение прочности наблюдается у более сильно гидратированного образца. Следовательно, различия в механических характеристиках обусловлены не уровнем гидратации, а спецификой фазового состава и микроструктурными особенностями цементного камня.

Исследование гидратационных фаз с использованием сканирующего электронного микроскопа выявило, что мелкое измельчение известняка и глины способствует образованию цементного камня с плотной и единообразной структурой, обеспечивающей повышенную прочность (рисунок 7). При грубом помоле этих компонентов формируются менее плотные и неоднородные по структуре продукты гидратации, что связано с уменьшением механических свойств материала. Полученные результаты согласуются с наблюдениями за микроструктурой клинкеров (см. рисунок 5).

Низкая прочность  $R_{28}=76,8$  МПа  
грубый помол известняка



Пониженная прочность  $R_{28}=109,4$  МПа  
грубый помол глины



Высокая прочность  $R_{28}=117,3$  МПа  
тонкий помол компонентов

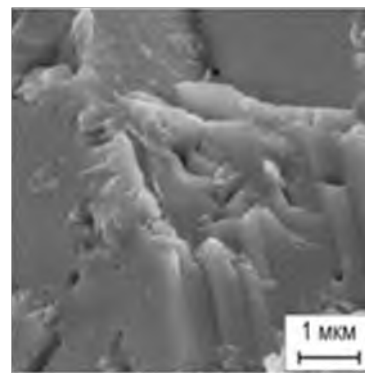


Рисунок 7 – Структура микропространства цементного камня при пониженной и повышенной прочности через 28 суток

## Выводы

1. Активность клинкера на предприятии ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» во многом зависит от размера частиц исходных компонентов, а не от их минералогического состава. Повышение степени измельчения сырьевой смеси способствует увеличению активности клинкера; наибольший эффект достигается при тонком помоле известняка – уменьшение остатка на сите 0,08 мм с 20 до 0 % обеспечивает прирост активности около 35 %.

2. Высокая гидравлическая прочность клинкера, полученного из тонко измельчённого сырья, обусловлена структурными особенностями гидратационных продуктов на микроуровне, а не скоростью процесса гидратации цемента.

3. Анализ электронными микроскопами показывает, что тонкий помол сырья способствует формированию плотной, высокопрочной структуры гидратационных продуктов за счет гидратации хорошо организованной микроструктуры самого клинкера.

4. Для улучшения качества цемента на предприятии ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» требуется повысить степень измельчения исходных материалов, в особенности известняка.

*Рецензент: Қаландарбеков И. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТПУ им. акад. М.С.Осими.*

## Литература

1. Сычев М.М. Технологические свойства сырьевых цементных шихт / Сычев М.М. // М.: Госстройиздат, 1962. 136 с.
2. Рогачев С.П. Некоторые причины изменения активности клинкера на «Себряковцемент» / Рогачев С.П., Михин А.С., Коробков М.И., Классен В.К., Классен А.Н. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 263–266.
3. Сычев М.М. К вопросу о кинетике твердофазовых процессов / Сычев М.М., Кичкина Е.С., Астахова М.А. // Труды Гипроцемента. 1964. Вып. 28.
4. Букки Р. Влияние природы и подготовки исходных веществ на реакционную способность сырьевых смесей / Букки Р. // 7-ой Международный конгресс по химии цемента. Париж. 1980. С. 3–48.
5. Бутт Ю.М. Портландцементный клинкер / Бутт Ю.М., Тимашев В.В. // М.: Стройиздат, 1967. 304 с.
6. Макашев С.Д. Влияние физико-химических свойств сырья на реакционную способность сырьевой смеси и процессы минералообразования клинкера / Макашев С.Д. // 6-ой Международный конгресс по химии цемента. М.: Стройиздат, 1976. Т.1.
7. Кравченко Н.В. Высокопрочные и особо быстротвердеющие портландцементы / Кравченко Н.В., Власова М.В., Юдович Б.Э. // М.: Стройиздат, 1971.
8. Альбац Б.С. Технические требования к цементному сырью / Альбац Б.С., Коугия М.В., Судакас Л.Г. и др. // М.: Концерн Цемент, 1996. 94 с.
9. Канцпольский И.С., Терехович С.В., Дрожжин А.Х. Оптимизация тонкости помола сырьевой смеси / Канцпольский И.С., Терехович С.В., Дрожжин А.Х. // Цемент. 1971. № 9.
10. Акрамов А.А. Влияние железосодержащего компонента на качество клинкера / Акрамов А.А., Абдуганиев А.М. Ашуров И.Ш. // Материалы республиканской научно-практической конференции: «Перспектива развития производства строительных материалов в Республике Таджикистан» (31 марта 2023 г.) Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе, 2023. – С.194-198.
11. Акрамов А.А. Исследование измельчения клинкера различного гранулометрического состава / Акрамов А.А., Юсупов Х.В. // VIII Республиканская научно-практическая конференция «Наука – основа инновационного

развития» (27-28 апреля 2023 года). Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе, 2023. – С.155-158

12. Косимов О.Б. Структура конструкционного арболита и влияние её на прочностные характеристики материала / Акрамов А.А., Косимов К.О.угли // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №1 – С. 163-165.

13. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфоферритного клинкера / Акрамов А.А., Ашууров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 190-194.

14. 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.

15. 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.

16. Акрамов А.А. Улучшение качественных характеристик клинкера от ввода кокса на технологический процесс его обжига / Акрамов А.А., Сиддиқов М.З. // Материалы X-ой международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей «Наука – основа инновационного развития», ТТУ им. акад. М.С. Осими.(17-18 апреля 2025 г.), С. 120-123.

17. Акрамов А.А. Сульфатирование высокоосновного ферритного клинкера на основе ферритного отхода / Акрамов А.А., Саидзода Дж.Х., Джуракулов М.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(69), Душанбе, 2025. – С. 128-132.

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

| TJ                                                                     | RU                                                        | EN                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич                                            | Акрамов Авазжон Абдуллоевич                               | Akramov Avazjon Abdulloevich                                        |
| Номзади илмҳои техники, дотсент                                        | Кандидат технических наук,<br>доцент                      | Candidate of technical sciences,<br>assistant professor             |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ        | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С.Осими | Tajik Technical University named<br>after Acadtmician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a> |                                                           |                                                                     |
| <a href="tel:0000-0002-7084-9128">0000-0002-7084-9128</a>              |                                                           |                                                                     |

## СОЦИАЛЬНО – ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ В XIX-XX вв

Д.Ш. Ганизода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье рассматривается процесс формирования и развития архитектуры с монументальным и декоративным искусством, но не как обособленное явление, а как эволюционный переход от отдельных форм архитектуры к произведениям монументального искусства, к более тесной интеграции архитектуры, составляя тем самым синтез искусств и архитектуры. Анализируется эволюция архитектуры и прикладного искусства Центральной Азии, показывается наличие общих черт, прослеживается их формирование на протяжении различных эпох. Среди таких понятий как единство формы и композиции в архитектурных сооружениях формируются единые декоративные мотивы (например, растительный орнамент, геометрические узоры), не всегда создаваемые одним лицом, работавшим в одном месте и в одно время, в частности зодчий и художник. Выявлено народное зодчество Таджикистана XIX - начала XX вв., которое является закономерным итогом развития местной архитектурной школы, имеющей глубокие многовековые корни и богатую историю.

**Ключевые слова:** архитектура, народное зодчество, синтез, искусство, архитектурная среда, монументальное искусство, декоративный рельеф, резьба по дереву, геометрические узоры, декоративные мотивы, период, строительство.

### ШАРОИТҲОИ ИҚТИМОӢ-СИЁСӢ, ИҚТИСОДӢ ВА ПАЙДО ШУДАНИ ТАМОӢЛОТИ МЕЪМОРӢ ВА БАДЕИИ АСРҲОИ XIX-XX ДАР ТОҶИКИСТОН

Ч. Ш. Ганизода

Дар ин мақола раванди ташаккул ва рушди меъмори бо санъати монументалию ороиши на ҳамчун як падидаи ҷудоғона, балки ҳамчун гузариши эволюсионӣ аз шаклҳои алоҳида ба ҳамгироии наздиктари онҳо баррасӣ мешавад, ки онро синтези санъат меноманд. Таҳлили таҳаввули меъмори ва санъати амалии Осиеи Марказӣ мавҷудияти хусусиятҳои умумиро ошкор мекунад, ки онхоро дар давраҳои гуногун мушоҳида кардан мумкин аст. Аз ҷумла, монанди ягонагии шаклу композитсия дар иншоотҳои меъмори, нақшу нигори якхелаи ороиши (масалан, ороиши наботот, нақшу нигори геометрӣ) на ҳамеша аз тарафи як шахс дар як ҷо ва дар як вақт, аз ҷумла меъмори ва рассом офарида мешуд. Меъмории мардумии Тоҷикистон дар асрҳои XIX—ибтидои асрҳои XX ҳамчун инкишофи табиӣи мактаби меъмории маҳаллӣ, ки решаҳои амики чандинасра ва таърихи бой дорад, ошкор гардид.

**Калидвожаҳо:** меъмори, меъмории мардумӣ, синтез, санъат, муҳити меъмори, санъати монументалӣ, рельефи ороиши, кандакории ҷӯб, нақшҳои геометрӣ, нақшҳои ороиши, давра, сохтмон.

### SOCIO-POLITICAL AND ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE EMERGENCE OF ARCHITECTURAL AND ARTISTIC TRENDS IN TAJIKISTAN IN THE 19TH-20TH CENTURIES

D.Sh. Ghanizoda

This article examines the process of formation and development of architecture with monumental and decorative art, not as an isolated phenomenon, but as an evolutionary transition from individual forms to their closer integration, which is called the synthesis of the arts. An analysis of the evolution of architecture and applied art in Central Asia reveals common features that can be traced across different eras. Among such things as the unity of form and composition in architectural structures, uniform decorative motifs (for example, floral ornamentation, geometric patterns) were not always created by one person working in one place and at one time architect and artist. The ethnoarchitecture of Tajikistan 19th - early 20th centuries has been revealed as a natural development of the local architectural school, which has deep centuries-old roots and a rich history.

**Keywords:** architecture, ethnoarchitecture, synthesis, art, architectural environment, monumental art, decorative relief, wood carving, geometric patterns, decorative motifs, period, construction.

#### Введение

Процесс формирования и развития архитектуры с монументальным и декоративным искусством следует рассматривать не как обособленное явление, а как эволюционный переход от отдельных форм к их более тесной интеграции, что называется синтезом искусств. Анализ эволюции архитектуры и прикладного искусства Центральной Азии показывает наличие общих черт, что прослеживается на протяжении различных эпох.

Среди таких понятий как единство формы и композиции в архитектурных сооружениях формируются единые декоративные мотивы (например, растительный орнамент, геометрические узоры), не всегда создаваемые одним лицом, работавшим в одном месте и в одно время, в

частности зодчий и художник. Народное зодчество Таджикистана XIX - начала XX вв. является закономерным развитием местной архитектурной школы, имеющей глубокие многовековые корни и богатую историю. Помимо этого, выяснилось, что в развитии синтеза искусств организующая роль часто принадлежала архитектуре, ибо она формировала социально и культурно значимую среду, в которую встраивались произведения других видов искусств. Более того, в современном искусствознании, как пишет И. А. Азизян в своей докторской диссертации, прослеживается тенденция о главенствующей образной роли архитектуры в пространственном синтезе [12]. В связи с этим в настоящей статье рассмотрена роль прикладного искусства в формировании архитектуры Таджикистана на архитектурном материале, где архитектурный стиль или направление раскрывается как сложная художественно-осмысленная и материально созданная среда обитания человека.

### **Методы и результаты исследования**

Как известно, социально-политическая обстановка второй половины XIX - начала XX вв. на территории Центральной Азии, в том числе создала историко-архитектурные и художественные проблемы, что связано с колониационной политикой царской России на Востоке и присоединением ее (Средней Азии) к имперскому владению русского государства. 1864 год считается началом широкого наступления на территорию региона, которая в то время была разделена на Бухарское, Хивинское и Кокандское ханства, а также на ряд мелких полунезависимых владений, находившихся в состоянии междоусобных распрей. На завоеванной территории региона царское правительство в 1867 году образовало Туркестанское генерал - губернаторство с центром в городе Ташкент. Фабрично - заводские предприятия строились в Ташкенте, Коканде Самарканде, Худжанде, Андижане, Ура-Тюбе (ныне Истаравшан) и др. Наряду с появлением промышленных предприятий сохранялись многие традиционные ремесла - кожевенное, кузнечное, плотничье, резьба по дереву, чеканка по металлу, золотошвейное дело, ткацкое производство и т. п. [8].

В целом, можно сказать, что в конце XIX - начале XX вв. народы Средней Азии, в том числе таджики были вовлечены в сферу влияния российской культуры, а значит и восточноевропейской, что имело положительное значение. «Так, широкое распространение в городском строительстве получает жженный кирпич русского образца, во многих богатых домах устраиваются деревянные полы, входит в обиход побелка домов» [17]. «Русские части городов походят на европейские города с широкими прямыми вымощенными улицами с бульварами, но такая планировка нарушила исторический сложившийся средневековый облик городов, таких как Самарканд, Худжанд, Истаравшан (тогда Ура-Тюбе) и др.» [5, 14]. Конечно, нельзя сказать, что в колониальный период (1860-е - 1917 гг.) в Средней Азии архитектура и искусство получили развитие в русле стилистических течений Восточной Европы, в том числе России (здесь - это время зарождения стилей модерна, эклектики и функционализма) [6, 4, 1].

В Средней Азии имело место своя особая специфика архитектурно-художественного стиля, названная «восточным». В дореволюционном Туркестане этот стиль отличался местными признаками и активизировался к позднему колониальному периоду, когда вкусы местной знати находили поддержку колониальной администрацией, стремящейся к согласию ради взаимодействия.

### **Обсуждения**

На территории современного Таджикистана примеров восточного колониального стиля не сохранилось (например, здание начальника Худжандского уезда или первая русская православная церковь из жженого кирпича в этом же городе и др.). Поэтому мы приведем пример из европейской части Ташкента, где в 1910 году рядом с домом генерала-губернатора Туркестанского края был построен кинотеатр «Хива» со стилизацией архитектуры городских ворот Хивы Палван-Дарваза, переименованной затем в кинотеатр «Молодая гвардия» (снесён в начале 1960 г.) [10]. Весьма

оригинален был внешний облик здания, где были синтезированы формы, свойственные среднеазиатской монументальной архитектуре. В целом, кинотеатр «Хива» - один из первых примеров использования в новой европейской по содержанию архитектуре традиционных средневековых форм для подчёркивания местного своеобразия и создания более экзотического облика.

Октябрьская революция 1917 года принесла Советскую на таджикские земли, находившиеся в составе Бухарского эмирата, что в дальнейшем повлияло на архитектуру и искусство региона. До этого, «если что-то и строилось, то такое строительство носило чисто локальный характер, удовлетворяя потребности отдельных предпринимателей, купцов, промышленников или просто частных лиц-застройщиков» [17].

Начиная с 1920-х годов, в регионе начался новый этап в архитектуре и искусстве, связанный со строительством социалистического общества и национально-территориальным разделением на республики. Этот период ознаменовался сложным синтезом старого и нового, а также развитием различных направлений в искусстве и культуре в рамках коммунистической идеологии. Анализ и публикация доктора архитектуры, профессора А. В. Рябушина являются инструментом для развития эстетической оценки: «Традиции и наследие каждого народа были оттеснены на второй план, когда на первых порах в становлении советского искусства и архитектуры преобладали тенденции коренного обновления художественного мышления, языка и всего арсенала выразительных средств» [7].

В целом, рассматривая в ретроспективном плане развитие синтеза искусств и архитектуры, в том числе пластических и пространственных искусств на всей территории СССР, исследователи выделяют четыре основных периода:

1 период / 1917-1932 гг. /, характерный возникновением таких передовых, новаторских архитектурно-художественных течений, как рационализм и конструктивизм, оставивших следы в архитектуре центральных городов России;

2 период / 1933-1954 гг. /, этот период представляется сочетанием классической европейской форм и национальных узоров, перешедших к беспринципной эклектике;

3 период / 1955-1975 гг. /, характерный развитием научно-технической революции, приведшая к индустриализации строительства, исчезновению синтеза пластических искусств с фасадов массовых построек жилого и общественного назначения;

4 период / 1975- конец 1980-х годов /, когда в архитектуре появляются новаторские поиски местного своеобразия и колорита, а также средовой подход к формированию архитектурно-художественного пространства.

Следует отметить, в советской архитектуре каждого региона, включая Среднюю Азию, существуют специфические особенности, обусловленные местной культурой и искусством, помимо общего развития советской архитектуры. Ш. Д. Аскарлов выделяет четыре направления среднеазиатской советской архитектуры, которые соответствуют этапам становления советской архитектуры, и добавляет к ним дореволюционный колониальный период [11]:

1 этап / 1920-1930 гг. /, в 1920-х годах в регионе на фоне самоопределения формировался «национальный архитектурный стиль», который был ограниченным из-за акцента на узкое наследие эпохи, а не на более ранние традиции. Ю. С. Яралов, теоретик архитектуры, отметил «зависимость между архитектурой этого этапа и общественными явлениями в Средней Азии тех лет» [2]. По словам Ш. Д. Аскарлова, под этими явлениями подразумевается «панисламизм» - лозунг о «надклассовой исламской общности» [11];

2 этап / 1930 - 1950-е гг. / - сочетание этноархитектуры с классическими европейскими формами, и продолжается тенденцией национального обособления зодчества союзных республик со своими характерными чертами;

3 этап / середина 1950-х - 1960-е гг. /, научно-техническая революция (НТР) - в архитектуре и строительстве привела к изменению отношения к наследию: преобладал функционализм, отрицание декора и использование новых материалов и технологий, таких как сборные панели, привели к унификации застройки и утрате уникальности зданий, а также к стиранию граней между архитектурой и инженерными задачами. «Разумеется, синтез искусства и архитектуры свелся на

нет, оставшись лишь в облике некоторых моментов синтеза искусств в зодчестве, например, солнцезащитных решеток-панджара и плоских орнаментальных узоров на панелях» [17];

4 этап / 1970-середина 1980-х годов / - отмечается вниманием к эстетике, художественному облику и уникальным чертам исторических построек, их декору и форме. В цитате Гутнова А.Э. говорится, что надо «знать объективные закономерности формирования архитектурного образа. Эта проблема научного исследования языка архитектуры как сложной информационно-знаковой системы» [13].

Для Таджикистана были характерны особые условия, которые влияли на формирование архитектуры. «Причина этих условий таится как в социально-политической и экономической ситуации в самой таджикской республике, так и в особенностях уклада жизни таджикского народа, особенно языка и прочего» [17].

В 1929 году Таджикская ССР стала полноправной союзной республикой, а до этого, с 1924 года, существовала как Тадж. АССР в составе Узбекской ССР. Следует отметить слова академика Р. Масова: «В результате национально - территориального размежевания Средней Азии (Туркестанской республики), проведенного в 1924 году, в состав образованной Тадж. АССР были включены самые заброшенные, самые отсталые окраины Бухарской и Туркестанской республик» [15].

Архитектурное развитие Таджикистана было значительно медленнее по сравнению с соседним Узбекистаном и европейской частью СССР. Это отставание и замедленное внедрение новаторских идей оказали существенное влияние на формирование общего хода развития архитектуры Таджикистана.

Следует отметить, что первый серьезный анализ советской архитектуры Таджикистана был проведен заслуженным архитектором Таджикской ССР В. Г. Веселовским и инженером-строителем, архитектором Д. Д. Гендлиным [3]. Затем появилось новое издание, где авторами с учетом новых материалов и нового осмысления было раскрыто развитие архитектуры современного Таджикистана за 70 лет Советской власти. Эти названные издания были юбилейными, и они лишь заложили основу для планомерного исследования современных проблем архитектуры и искусства в Таджикистане, в том числе и за время Советского строя [9].

В книге «Традиции и современность в архитектуре Таджикистана» впервые дан всесторонний анализ советской архитектуры Таджикистана и ее монументального синтеза, с примерами из Душанбе [16]. В этом исследовании, в целом, принимается периодизация советской архитектуры в городе Душанбе и корректируется ее в масштабах всей республики, ибо именно в этом городе формируется развитие архитектуры всего Таджикистана. Отмечаем, что в столице впервые экспериментировали с сочетанием традиционных таджикских архитектурных элементов и современного контекста. Может поэтому многие города республики (например, Худжанд, Истравшан, Куляб, Бохтар, Турсунзаде др.), как справедливо отмечает профессор С. Мамаджанова, «миновали ошибок в формировании стилистической направленности архитектуры и искусства» [17].

## Заключение

Таким образом приведем основные вехи творческого роста советской архитектуры Таджикистана, которые стали опорой для последующего авторского анализа вопросов взаимодействия искусств и архитектуры Таджикистана за более чем 70 лет Советского строя:

1 этап: 1917-1930 гг.;

2 этап: 1930-е и послевоенное десятилетие;

3 этап: 1955-конец 1980-х годов. Этот этап, в свою очередь, подразделяется на три внутренних периода:

- конец 50-х - 60-е годы;

- конец 60-х - 70-е годы;

- начало 1980-х - начало 1990-х гг.

Следует особо подчеркнуть, что во всех этих этапах очень много общего с соседним Узбекистаном, творческие связи, с которым никогда не прерывались, представляя собой непрерывную цепь преемственности и взаимообогащения во всех сферах культуры, в том числе в формировании и развитии синтеза искусств в архитектуре. При всем, конечно, заметно влияние

Ташкента, имевшего в течение всего периода совместного сосуществования в едином советском пространстве бывшего СССР большой интеллектуальный потенциал, а также материальные ресурсы. Однако, опять повторим, что Таджикистан имеет свой особый путь развития, который с годами становится все более явственнее. И это закономерно, ибо каждый народ при всей родственности корней имеет право на собственное своеобразие и колорит.

Таким образом, интеграция опыта народного зодчества и традиционного искусства в современное строительство позволяет выявить ценные этические нормы и прогрессивные методы проектирования, актуальные для нынешней индустрии.

*Рецензент: Муқимова С.Ф. — доктор архитектуры, и.о. профессора, зав. кафедрой «Архитектура и градостроительство» ТШТУ им. академика М.С.Осими.*

### Литература

1. Всеобщая история архитектуры, в 12 - ти томах, т.8. [Текст] // Под ред. Ю.С. Яралова. - М.: Стройиздат, 1969. - 491 с., ил.
2. Яралов, Ю. С. Национальное и интернациональное в советской архитектуре. [Текст] // Ю.С. Яралов. - М.: Стройиздат, 1971. - 351 с., ил.
3. Веселовский, В. Г. Архитектура Советского Таджикистана [Текст] // В.Г.Веселовский, Д.Д. Гендлин. - М.: Стройиздат, 1972. - 108 с.
4. Савицкий, Ю. Ю. Архитектура капиталистических стран. [Текст] // Ю.Ю. Савицкий. - М.: Стройиздат, 1973. - 135 с., ил.
5. Касымов, Н. Прогрессивное значение образования русских частей в городах Худжанде и Ура - Тюбе [Текст] / Н. Касымов // В кн.: Материалы по истории городов Таджикистана. - Душанбе: Дониш, 1975, с. 153 - 158.
6. Зодчество. Сб. Союза архитекторов СССР // Коллектив авторов: А.В. Рябушин, А.Э. Гутнов, И.Г. Лежава, А.В. Иконников. - М.: Стройиздат, 1978. - 220 с., ил.
7. Рябушин, А. В. Этапы развития советской архитектуры. [Текст] // А. В. Рябушин. - М.: Стройиздат, 1979. - 54 с., ил.
8. История Таджикской ССР. Учебник. [Текст] // Под ред. Б.А. Антоненко. - Душанбе: Маориф, 1983. - 397 с.
9. 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.
10. Нильсен, В. А. У истоков современного градостроительства Узбекистана (XIX - начало XX вв.) [Текст] // В.А. Нильсон - Ташкент: Изд. литер. и искусства, 1988. - 207 с., ил.
11. Аскарлов, Ш.Д. Регион-пространство-город [Текст] // Ш.Д. Аскарлов. - М.: Стройиздат, 1988. -198 с., ил.
12. Азизян, И.А. Взаимодействие архитектуры с другими видами искусства / И.А. Азизян // Автореф. дисс. доктора искусствоведения. - М., 1988. - 41с.
13. Гутнов, А. Мир архитектуры [Текст] // А. Гутнов, В. Глазыхев. - М.: Молодая гвардия, 1990. -351 с, ил.
14. Мукимов, Р. С. Зодчество Таджикистана. [Текст] // Р.С. Мукимов, С. М. Мамаджанова. - Душанбе, 1990. - 175 с.
15. Масов, Р. История топорного разделения. [Текст] // Р. Масов - Душанбе: Ирфон, 1991. -192 с.
16. Мамаджанова, С.М. Традиции и современность в архитектуре Таджикистана (на примере Душанбе) [Текст] // С. М. Мамаджанова. - Душанбе: Ирфон – Мерос, 1993. - 368 с., ил.
17. Мамаджанова, С. Синтез искусств и архитектуры Таджикистана (проблемы развития, взаимодействия и преемственности). [Текст] // С. Мамаджанова, Р.С. Мукимов, Д.Ганиев. – Душанбе, 2006. - 187 с. ил.

### МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - ABOUT THE AUTHOR

| TJ                                                              | RU                                                         | EN                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Ғанизода Ҷамшед Шучоат<br>унвончӯй                              | Ганизода Джамшед Шуджоат<br>соискатель                     | Ganizoda Jamshed Shujoat<br>applicant                               |
| Донишгоҳи техникийи<br>Тоҷикистон баноми академик<br>М.С. Осимӣ | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after Academician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:jamna@mail.ru">jamna@mail.ru</a>        |                                                            |                                                                     |

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

**Р.Х. Сайрахмонов, А.К. Муминов, Х.М. Бокимахмад, А.С. Рахматзода**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье рассматриваются преимущества цементобетонных покрытий по сравнению с асфальтобетонными в условиях эксплуатации Республики Таджикистан. Установлено, что основными препятствиями для широкого внедрения цементобетонных покрытий в Таджикистане являются высокая стоимость цемента, дефицит технического оборудования и отсутствие адаптированной нормативной базы. Решением этих проблем может стать использование модифицированных цементов с минеральными и химическими добавками, а также применение местных природных и промышленных ресурсов. Показано, что применение модифицирующих добавок различного функционального назначения, таких как волластонит, зола-унос, лигносульфонат и экстракт хлопчатника, позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики цементных систем: повысить прочность, морозостойкость, трещиностойкость и водонепроницаемость, а также снизить расход цемента и себестоимость бетонных смесей. Кроме того, отмечено, что современные проблемы прочности и долговечности дорожного бетона обусловлены пористостью, усадкой, сульфатной агрессией и морозными циклами. Решение этих проблем требует комплексного подхода: оптимизации состава, применения эффективных добавок, правильной технологии укладки и контроля качества на всех этапах.

**Ключевые слова:** цемент, высокопрочный бетон, добавки, пластификатор, бетонная смесь, волластонит, зола, прочность, коррозионная стойкость.

### ҶОЛАТИ МУОСИР ВА ДУРНАМОИ РУШДИ ПЎШИШИ РОҶҶОИ СЕМЕНТБЕТОНӢ ДАР ШАРОИТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

**Р.Ҷ. Сайрахмонов, А.К. Муминов, Ҳ.М. Бокимахмад, А.С. Раҳматзода**

Дар ин мақола бартариҳои рӯйпӯшҳои сементубетонӣ дар муқоиса бо рӯйпӯшҳои асфалтубетонӣ дар шароити истифодабарии Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шудаанд. Муайян гардидааст, ки монеаҳои асосии ҷорикунӣ васеи рӯйпӯшҳои сементубетонӣ дар Тоҷикистон нархи баланди семент, норасоии таҷҳизоти техникӣ ва мавҷуд набудани заминаи меъриёи мутобикшуда мебошанд. Ҳалли ин мушкилот метавонад истифодаи сементҳои модификатсияшуда бо иловагиҳои минераливу кимиёвӣ, инчунин истифодаи захираҳои табиӣ ва саноатии маҳаллӣ бошад. Нишон дода шудааст, ки истифодаи иловагиҳои модификатсиякунандаи дорои вазифаҳои гуногун, аз қабили волластонит, хокистарунос, лигносулфонат ва экстракти пахта, имкон медиҳад, ки нишондиҳандаҳои истифодабарии системаҳои сементӣ ба таври назаррас беҳтар карда шаванд: мустаҳкамӣ, тобоварӣ ба сардӣ, кафидан ва обногузарӣ афзоиш ёфта, масрафи семент ва арзиши аслии омехтаҳои бетонӣ коҳиш дода шаванд. Инчунин, қайд шудааст, ки мушкилоти муосири мустаҳкамӣ ва давомнокии бетони роҳ ба қовқой, нишаст (усадка), агрессияи сульфатӣ ва давраҳои яхкунӣ вобастаанд. Ҳалли ин мушкилот муносибати маҷмуи талаб мекунад: оптимизатсия таркиб, истифодаи иловагиҳои самаранок, технологияи дурусти хоҳондан ва назорати сифат дар ҳамаи марҳилаҳо.

**Калидвожаҳо:** семент, бетони баландмустаҳкам, иловагӣ, пластификатор, омехтаи бетонӣ, волластонит, хокистар, мустаҳкамӣ, тобоварӣ ба коррозия.

### CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF CEMENT-CONCRETE ROAD SURFACES IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

**R.H. Sairahmonov, A.K. Muminov, H.M. Bokimahmad, A.S. Rakhmatzoda**

This article examines the advantages of cement concrete coatings in comparison with asphalt concrete coatings in the operating conditions of the Republic of Tajikistan. It is considered that the main obstacles to the widespread introduction of cement-concrete coatings in Tajikistan are the high cost of cement, the shortage of technical equipment and the lack of an adapted regulatory framework. The solution to these problems can be the use of modified cements with mineral and chemical additives, as well as the use of local natural and industrial resources. It is shown that the use of modifying additives for various functional purposes, such as wollastonite, fly ash, lignosulfonate and cotton extract, can significantly improve the performance characteristics of cement systems: increase strength, frost resistance, crack resistance and water resistance, as well as reduce cement consumption and the cost of concrete mixtures. It is also considered that modern problems of strength and durability of road concrete are caused by porosity, shrinkage, sulfate aggression and frost cycles. Solving these problems requires a comprehensive approach: optimizing the composition, using effective additives, proper styling technology, and quality control at all stages.

**Keywords:** cement, high-strength concrete, additive, plasticizer, concrete mix, wollastonite, ash, strength, corrosion resistance.

#### 1. Введение

Природно-климатические условия Республики Таджикистан, характеризующиеся резкими перепадами температур, значительным уровнем солнечной радиации, а также обильными

сезонными осадками, существенно влияют на работоспособность традиционных типов дорожных и аэродромных покрытий. На современном этапе развития транспортной системы основной задачей в области дорожного строительства остаётся обеспечение долговечности, ремонтпригодности и устойчивости покрытий к климатическим и эксплуатационным нагрузкам. Цементобетонные покрытия, обладая высокими физико-механическими характеристиками, являются эффективной альтернативой асфальтобетонным покрытиям, широко распространённым в республике. Применение цементобетона в дорожном строительстве позволяет значительно повысить срок службы дорог и аэродромов, снизить частоту ремонтов и обеспечить устойчивость к воздействию агрессивных факторов окружающей среды. Основные преимущества цементобетона включают высокую прочность на сжатие, минимальные усадочные деформации, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, а также отсутствие пластических деформаций при высоких температурах.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1. Техничко-экономическое обоснование применения цементобетона в дорожном строительстве РТ**

В условиях роста автопарка и увеличения интенсивности движения на ключевых автомагистралях страны этот фактор становится решающим при выборе конструктивного решения дорожной одежды. В связи с этим использование цементобетона для устройства дорожных покрытий становится всё более востребованным, так как одним из его существенных преимуществ является высокая устойчивость к воздействию тяжёлых транспортных нагрузок. Кроме того, цементобетон обладает высокой отражательной способностью, что снижает нагрев покрытия в летний период и способствует улучшению видимости в ночное время суток [1–4].

Тем не менее, внедрение цементобетонных технологий в Республике Таджикистан сталкивается с рядом объективных сложностей, включая высокую стоимость портландцемента, дефицит специализированной техники и отсутствие нормативной базы, адаптированной к местным условиям. Одним из путей решения данных проблем является использование модифицированных цементов с добавками минерального и химического происхождения. Это позволяет существенно снизить расход цемента, улучшить реологические свойства бетонной смеси и повысить эксплуатационные характеристики готового покрытия [5–8].

Практический опыт стран с жарким климатом (например, Ближнего Востока, Центральной Азии, а также южных регионов России) подтверждает эффективность цементобетонных покрытий на автомагистралях в условиях интенсивной эксплуатации. Внедрение данных технологий в Таджикистане представляется возможным при условии адаптации рецептур бетона, снижения себестоимости за счёт использования местного минерального сырья и совершенствования организационно-технических условий строительства [9, 10].

Таким образом, внедрение цементобетонных покрытий в дорожную отрасль Таджикистана является перспективным направлением, требующим комплексного научного обоснования, технико-экономической оценки и экспериментальной проверки. Важным условием для реализации данной стратегии является разработка и применение новых составов бетонных смесей на основе модифицированных цементов, адаптированных к природным и экономическим условиям района строительства.

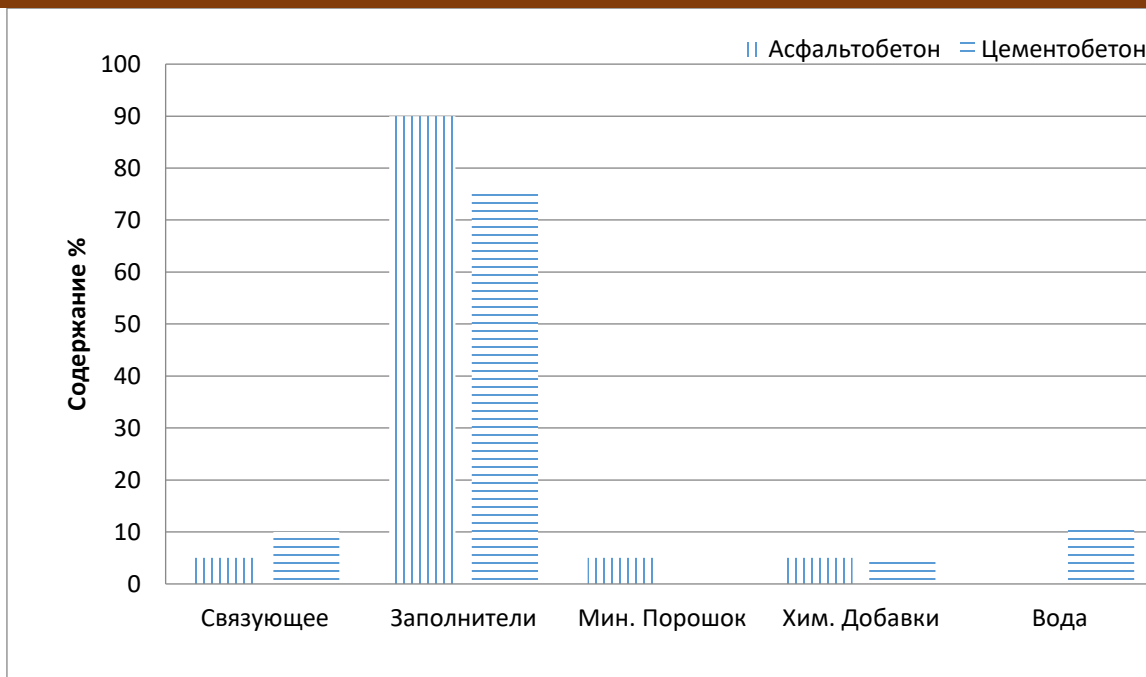


Рисунок 1 – Сравнение состава асфальтобетона и цементобетонного покрытия

Кроме того, важно отметить различия в составе и структуре наиболее распространённых видов дорожных покрытий — асфальтобетонного и цементобетонного. Эти различия напрямую влияют на эксплуатационные характеристики материалов, включая прочность, термостойкость, устойчивость к деформациям и срок службы.

Асфальтобетонное покрытие включает в себя битумное вяжущее, минеральные заполнители (щебень, песок) и минеральный порошок; оно не содержит воды и практически не требует химических добавок. В то же время цементобетон состоит из цемента как основного вяжущего вещества, песка, щебня и воды, а также может включать химические и минеральные добавки для улучшения свойств смеси и затвердевшего бетона.

Для наглядного представления на рисунке 1 приведено сравнение составов двух типов покрытий (в условных процентах).

В 2004 г. в Германии было проведено исследование с целью сравнения состояния и сроков службы автомобильных дорог с различными видами покрытий. Объектом исследования являлись участки дорог, находившиеся в эксплуатации более 22 лет. Исследование показало, что лишь около 5% дорог с цементобетонным покрытием, отслуживших более 28 лет, нуждались в ремонте. В то же время более 80% автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием потребовали ремонта уже после 22 лет.

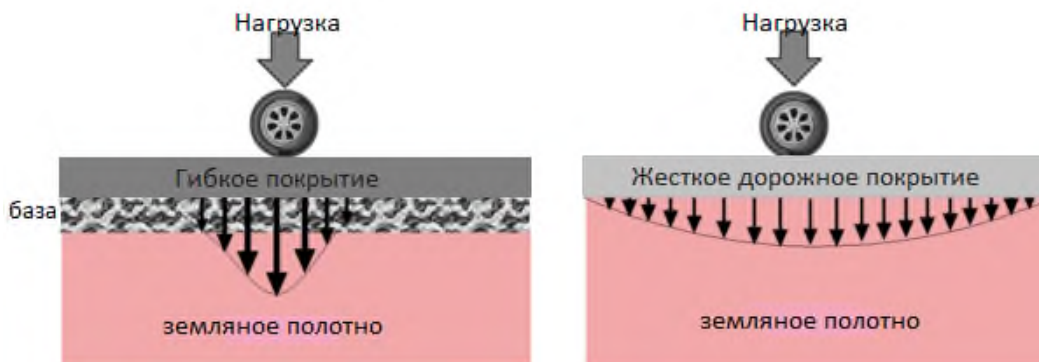


Рисунок 2. - Действия автотранспортной нагрузки на асфальтобетонные и цементобетонные покрытия

Известно, что сроки эксплуатации асфальтобетонных покрытий меньше, чем цементобетонных, поэтому на поверхности асфальта в процессе эксплуатации преждевременно появляются неровности и выбоины. В дождливую погоду они заполняются водой, что создает дополнительную опасность для движения транспортных средств. Было проведено сравнение коэффициентов сцепления шин транспортных средств с асфальтобетоном и цементобетоном [9, 10]. Коэффициент сцепления резины с сухим асфальтом составляет 0,5–0,8, тогда как с мокрым — снижается до 0,25–0,75. Для цементобетона этот показатель при сухом покрытии составляет 0,6–0,85, а при мокром — 0,45–0,75. Отсюда следует, что в сухую погоду показатели коэффициента трения обоих покрытий сопоставимы, однако в дождливых условиях цементобетонные покрытия имеют явное преимущество.

## **2.2. Роль модифицирующих добавок и местных ресурсов в повышении долговечности дорожного бетона**

Одним из приоритетных направлений в современном строительстве, и в частности в дорожной отрасли, является применение модифицирующих добавок для цемента и бетона. Это обусловлено необходимостью не только улучшения эксплуатационных характеристик материала, но и снижения его себестоимости, оптимизации технологических процессов и повышения экологичности производства. В дорожном строительстве использование добавок становится особенно актуальным для условий Таджикистана, где существует потребность в долговечных покрытиях, способных функционировать в условиях экстремального климата и высоких нагрузок.

Модифицирующие добавки классифицируются по природе действия и составу. Основные группы включают минеральные и химические добавки. К минеральным относятся пуццолановые компоненты (зола-унос, доменный гранулированный шлак), активные минеральные наполнители (диатомит, бентонит, трепел, микрокремнезём) и тонкодисперсные порошки природного происхождения (порошок волластонита, мраморная мука и др.). Роль модифицирующих минеральных добавок подробно рассмотрена в исследованиях авторов [18]. По их мнению, минеральные добавки улучшают упаковку частиц в структуре цементного камня, снижают общую пористость и повышают плотность материала, что способствует увеличению его прочности, морозостойкости, а также сопротивлению проникновения влаги и агрессивных агентов. Кроме того, они могут выполнять пуццолановую функцию, способствуя связыванию свободного гидроксида кальция, что увеличивает химическую стойкость материала [18].

К химическим добавкам относятся пластификаторы и суперпластификаторы (лигносульфонаты, поликарбоксилаты), ускорители и замедлители схватывания (нитраты кальция, сульфаты натрия), воздухововлекающие добавки, гидрофобизаторы и комплексные добавки многофункционального действия. По мнению авторов [18, 19], химические добавки обеспечивают регулирование подвижности бетонной смеси, улучшают удобоукладываемость, повышают раннюю прочность и снижают водоцементное отношение, способствуя образованию равномерной и плотной структуры цементного камня. Это особенно важно при укладке в сложных погодных условиях или на объектах с высокими требованиями к срокам схватывания.

Эффективность модифицирующих добавок доказана рядом экспериментальных и промышленных исследований [14–17]. В частности, авторами [12] было установлено, что применение комплексных систем на основе лигносульфоната и тонкодисперсного минерального порошка (например, порошка волластонита до 10%) способствует повышению прочности на сжатие до 25% по сравнению с контрольным составом. При этом повышается морозостойкость до марки F200 и более, снижается водопоглощение и увеличивается трещиностойкость.

В контексте Таджикистана целесообразно использование местных ресурсов и промышленных отходов в качестве активных добавок. Например, угольная зола, образующаяся при сжигании угля на теплоэлектростанциях (ТЭЦ), может эффективно применяться как активная минеральная добавка. Это не только снижает стоимость цементного вяжущего, но и способствует утилизации промышленных отходов [18].

Местные природные материалы, такие как пемза, вулканический туф и полевошпатовые минералы, обладают высокими пуццолановыми свойствами и могут служить дешёвыми и эффективными компонентами цементных композиций [11–13, 18]. Их включение в состав дорожного

цементобетона позволяет значительно снизить расход цемента без потери прочностных и эксплуатационных характеристик.

Также большое внимание уделяется разработке инновационных добавок на органической основе [17–19]. Например, щелочной экстракт хлопчатника, получаемый из отходов текстильной промышленности, может использоваться в качестве природного пластификатора. Он улучшает удобоукладываемость и структурную однородность смеси, снижает водопотребность и оказывает положительное влияние на конечную прочность бетона.

Применение добавок также способствует устойчивому развитию строительной отрасли за счёт уменьшения «углеродного следа», связанного с производством цемента. Снижение объёма используемого клинкера и его частичная замена активными минеральными добавками позволяют сократить выбросы CO<sub>2</sub> и способствуют реализации принципов «зелёного строительства».

При проектировании составов цементобетонных смесей важно учитывать не только эффективность добавок, но и их совместимость, влияние на сроки схватывания, тепловыделение и равномерность распределения в структуре. Проведение предварительных лабораторных исследований и разработка технологических регламентов являются обязательными этапами при внедрении модифицированных составов в производство. Повышение прочности и долговечности дорожного бетона остаётся одной из приоритетных задач современной строительной науки и практики в условиях Республики Таджикистан.

При проектировании составов цементобетонных смесей важно учитывать не только эффективность добавок, но и их совместимость, влияние на время схватывания, тепловыделение, равномерность распределения в структуре. Проведение предварительных лабораторных исследований и технологических регламентов является обязательным этапом при внедрении модифицированных составов в производство.

Повышенная пористость и водопоглощение: эти характеристики способствуют проникновению влаги, солей и агрессивных соединений, что, в свою очередь, ускоряет процессы коррозии арматуры и разрушения цементного камня.

Морозное разрушение: многократное замораживание и оттаивание воды внутри пористой структуры бетона вызывает расширение и трещинообразование. Это особенно актуально для горных регионов страны, где наблюдаются частые перепады температур.

Сульфатная агрессия: в районах с высоким содержанием сульфатов в грунтах или подземных водах происходит разрушение бетона за счёт образования вторичных солей (например, этtringита), вызывающих внутренние напряжения.

Усадка и трещинообразование: недостаточно контролируемое испарение воды и усадочные деформации на ранних сроках твердения вызывают микротрещины, которые становятся очагами будущего разрушения.

Низкая совместимость компонентов: использование неподходящих минеральных и химических добавок может привести к нарушению структуры цементного камня и ухудшению эксплуатационных характеристик бетона.

Литературный обзор по указанным проблемам показывает, что для их решения применяются следующие подходы:

- использование модифицированных цементов с пуццолановыми и тонкодисперсными добавками (микрокремнезём, волластонит, зола-унос), которые снижают пористость и повышают плотность бетона;
- применение современных суперпластификаторов, обеспечивающих высокую прочность при пониженном водоцементном отношении;
- разработка составов с оптимизированной гранулометрией заполнителей и строгим контролем водопотребности;
- введение воздухововлекающих добавок, способствующих формированию замкнутой пористой структуры, повышающей морозостойкость;
- использование армирующих микроволокон для повышения трещиностойкости и перераспределения напряжений.

Повышение прочности и долговечности дорожного бетона остаётся одной из приоритетных задач современной строительной науки и практики. В условиях Республики Таджикистан, где дороги

подвергаются значительным климатическим и механическим воздействиям, устойчивость бетона к внешним факторам становится критически важной.

Современные технологии также включают методы оценки и мониторинга состояния бетона, такие как неразрушающий контроль (ультразвуковые методы, акустическая эмиссия, термография), что позволяет выявлять потенциальные дефекты на ранних стадиях и своевременно их устранять.

### 3. Экспериментальная часть

Повышение долговечности дорожного бетона возможно только при комплексном подходе, включающем оптимизацию состава, применение эффективных добавок, учёт климатических условий региона, а также строгий контроль качества на всех этапах производства и эксплуатации. Следует отметить, что дальнейшее развитие технологии дорожных материалов будет происходить в направлении применения высокодисперсных компонентов. Одной из ключевых задач строительного материаловедения является разработка научно обоснованных способов получения качественных материалов.

С этой целью в лабораторных условиях были проведены эксперименты по изучению влияния добавок из местного сырья на свойства бетона. Для исследований был выбран контрольный состав цементобетона со следующим расходом компонентов на 1 м<sup>3</sup> смеси: цемент — 380 кг; песок (Mкр=2,18) — 640 кг; щебень (фракция 5–10 мм) — 1200 кг; вода — 169 л (В/Ц=0,460).

В качестве минеральных добавок использовались угольная зола (З) и порошок волластонита (ВП). Количество минеральных добавок составляло 15% от массы цемента. Опыты проводились на образцах-кубах размером 10x10x10 см. Для определения прочности бетона на растяжение при изгибе изготавливались балочки квадратного сечения 10x10x40 см по стандартной лабораторной технологии. Для бетонных смесей была принята подвижность марки П2 (осадка конуса 2–3 см). Результаты исследований приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Физико-механические показатели свойств бетона с добавками

| Наименование показателей                           | Значения показателей |      |      |       |
|----------------------------------------------------|----------------------|------|------|-------|
|                                                    | Ц(контрольный)       | З    | ВП   | З+ВП  |
| Прочность на сжатие, Мпа                           | 41.5                 | 47.3 | 45.6 | 48.2  |
| Прочность на изгиб, Мпа                            | 7.3                  | 8.3  | 8.5  | 8.44  |
| Коэффициент трещиностойкости ( $R_{изг}/R_{сж}$ ). | 0.17                 | 0.18 | 0.19 | 0.175 |
| Водопоглощение, %                                  | 7.01                 | 6.41 | 6.31 | 5.86  |
| Водонепроницаемость                                | В4                   | В6   | В5   | В6    |
| Морозостойкость, цикл                              | F100                 | F200 | F200 | F300  |

Из данных табл. 3.1. видно, что комплексное применение добавок значительно улучшает показатели дорожного бетона, которые являются критически важными при его эксплуатации. Например, морозостойкость бетона с добавками достигает 300 циклов, водонепроницаемость соответствует марке W6, а водопоглощение снижается до 5,86%, тогда как у контрольных образцов без добавок этот показатель составляет 7,01%. Практика показывает, что обычный портландцемент не может обеспечить подобные характеристики без введения специальных модификаторов. Для дорожного цементобетона характерно обязательное наличие в составе пластифицирующих и гидрофобных добавок. Также в его состав допускается введение доменного шлака в количестве до 15% от общей массы, при этом содержание трехкальциевого алюмината (С<sub>3</sub>А) должно составлять не более 8%.

В заключение стоит отметить, что использование модифицирующих добавок в дорожных цементобетонных покрытиях открывает широкие возможности для повышения их качества, долговечности и экономичности. Это особенно актуально для условий Республики Таджикистан, где предъявляются высокие требования к устойчивости дорожной инфраструктуры при необходимости рационального использования местных материалов и в условиях ограниченных ресурсов. Цементобетонные покрытия обладают значительными преимуществами по сравнению с асфальтобетонными в условиях эксплуатации Республики Таджикистан. К их числу относятся высокая прочность, устойчивость к климатическим воздействиям, долговечность и низкая потребность в ремонте.

### Выводы

1. Основными препятствиями для широкого внедрения цементобетонных покрытий в Таджикистане являются высокая стоимость цемента, дефицит специализированного технического

оборудования и отсутствие адаптированной нормативной базы. Решением этих проблем может стать использование модифицированных цементов с минеральными и химическими добавками, а также вовлечение в производство местных природных и промышленных ресурсов.

2. Применение модифицирующих добавок различного функционального назначения, таких как волластонит, зола-унос, лигносульфонат и экстракт хлопчатника, позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики цементных систем: повысить прочность, морозостойкость, трещиностойкость и водонепроницаемость, а также снизить расход цемента и себестоимость бетонных смесей.

3. Современные проблемы прочности и долговечности дорожного бетона обусловлены пористостью, усадкой, сульфатной агрессией и морозными циклами. Решение этих проблем требует комплексного подхода: оптимизации состава, применения эффективных добавок, строгого соблюдения технологии укладки и контроля качества на всех этапах.

Таким образом, использование модифицированных цементов с добавками открывает широкие перспективы для повышения надёжности и долговечности дорожной инфраструктуры Таджикистана. Данное направление требует дальнейших экспериментальных исследований, адаптации технологий к местным условиям и их активного внедрения в практику дорожно-строительных организаций.

*Рецензент: Умарзода Улугбек Хуча — Первый заместитель председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан*

### Литература

1. Саканов, Д. Эколого-технологические основы строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями. // -М., 2018. – С. 210.
2. Морозов, Н.М. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства / Н.М. Морозов, В.Г. Хозин [и др.] // Строительные материалы. – 2009. – № 11. – С. 15–17.
3. Шейнин, А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – //М.: Транспорт. –С. 1991. – 151.
4. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. – //М.: Транспорт. –С. 1966. – 500.
5. Якобсон, М.Я. Актуальность и перспективы применения цементобетона в дорожном строительстве / М.Я. Якобсон [и др.] // Системные технологии. – 2016. – Т. 18. – № 1. – С. 132–140.
6. Каменецкий, Л.Б. Эффективность цементобетонных // Автомобильные дороги. – 2014. – № 3. – С. 57–62.
7. Ушаков, В.В. О расширении строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2003. – № 3. – С. 7–25.
8. Радовский, Б.С. Строительство дорог с цементобетонным покрытием в США. Новые тенденции // Дорожная техника. – 2012. – № 2. – С. 62–70.
9. Pistill, M.F. Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and Influence on the Properties of Portland Cement // Cem. Concr. and Aggr. – 1984. – V. 6. – № 1. – P. 33–37.
10. Толмачев, С.Н. Влияние вовлеченного воздуха на свойства дорожных бетонов и фибробетонов / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко // Строительные материалы. – 2017. – № 1-2. – С. 68–72.
11. Назиров, Я.Г. Прочность и деформативность бетонов с добавкой щелочного экстракта стеблей хлопчатника / А. Шарифов, А.А. Акрамов, Я.Г. Назиров, А.К. Муминов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2013. – № 4 (153). – С. 106–112.
12. Назиров, Я.Г. Повышение прочности и коррозионностойкости цементсодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника / А. Шарифов, А.А. Акрамов, Я.Г. Назиров, А.К. Муминов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. – 2016. – № 5-6. – С. 248–252.
13. 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.
14. Зайцев, П.А. О регулировании свойств бетонных смесей и бетонов химическими добавками на основе лигносульфонатов / П.А. Зайцев [и др.] // Строительные конструкции зданий и сооружений дорожного сервиса: сб. науч. тр.-М.: МАДИ (ГТУ). -2004. -С. 68–77.
15. Сайрахмонов, Р.Х. Особенности применения порошковых отходов промышленного производства в составе дорожных материалов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 3 (59). – С. 132–137.
16. Сайрахмонов, Р.Х. Теоретические аспекты и эффективность применения вторичного сырья и побочных продуктов промышленности органического происхождения в дорожном строительстве / Р.Х. Сайрахмонов, Т. Асад // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 3 (59). – С. 138–142.
17. 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.

18. Сайраҳмонов, Р.Х. Цементно-волластонитовые вяжущие с химическими добавками и материалы на их основе. – Душанбе: ТТУ, 2020. – 148 с.

19. Носов, В.П. Причины образования уступов на цементобетонных покрытиях автомобильных дорог / В.П. Носов, А.А. Фотиади // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 3. – С. 20–22.

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

| TJ                                                                                     | RU                                                                  | EN                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Сайраҳмонов Раҳимҷон<br>Хусейнович                                                     | Сайраҳмонов Раҳимҷон<br>Хусейнович                                  | Sayrakhmonov Rahimjon<br>Huseynovich                             |
| н.и.т., дотсент                                                                        | к.т.н., доцент                                                      | candidate of technical sciences<br>associate professor           |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:srivakn@mail.ru">srivakn@mail.ru</a>                           |                                                                     |                                                                  |
| TJ                                                                                     | RU                                                                  | EN                                                               |
| Муминов Абдуҳаким<br>Каримович                                                         | Муминов Абдуҳаким<br>Каримович                                      | Muminov Abduhakim<br>Karimovich                                  |
| н.и.т., муаллими калон                                                                 | к.т.н., ст. преподаватель                                           | candidate of technical sciences<br>senior lecturer               |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:abduhakimmuminov03@gmail.com">abduhakimmuminov03@gmail.com</a> |                                                                     |                                                                  |
| TJ                                                                                     | RU                                                                  | EN                                                               |
| Ҳасан Маҳмадиёр Боқимаҳмад<br>унвонҷу                                                  | Ҳасан Маҳмадиёр Боқимаҳмад<br>соискатель                            | Hasan Mahmadiyor Bokimahamad<br>graduate student                 |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:srivakn@mail.ru">srivakn@mail.ru</a>                           |                                                                     |                                                                  |
| TJ                                                                                     | RU                                                                  | EN                                                               |
| Раҳматзода Алишер Сунат<br>унвонҷу                                                     | Раҳматзода Алишер Сунат<br>соискатель                               | Rakhmatzoda Alisher Sunat<br>graduate student                    |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ                           | Таджикский технический<br>университет имени академика<br>М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:srivakn@mail.ru">srivakn@mail.ru</a>                           |                                                                     |                                                                  |

## ТАШАКУЛЁБИИ МУҲИТИ МЕЪМОРӢ-СОХТМОНИИ ЭНЕРГИЯБОСАМАРИ БИНОҲОИ ШАҲРВАНДӢ

Д.Ф. Қаландаров, Н.Н. Ҳасанов, К.Р. Раҳматзода, С.У. Раҷабов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур қайд мегардад, ки синфбандии энергиясамаранокии биноҳои шаҳрвандӣ, дар қатори дигар намуди биноҳои дар ҳудуди кишвар сохташаванда, ҳанӯз дар марҳилаи аввали лоиҳакашӣ муқаррар гардида, дар марҳилаи дуҷуми раванди сохтмон ба мутобиқати ҳалли тарҳию ҳаҷмӣ ва конструктивӣ бо лоиҳаи тасдиқшуда тавачҷух зоҳир мегардад ва дар истифодабарии онҳо нишондиҳандаҳои воқеии дастрасшуда бо нишондиҳандаҳои меъёриву назарявӣ муқоиса карда мешаванд. Ҳамзамон зикр гардидааст, ки шароитҳои иқлимиву табиӣ маҳали сохтмон яке аз омилҳои калидиест, ки бевосита ба ҳалли меъмориву сохтмонӣ ва сатҳи истеъмоли энергия аз ҷониби биноҳо ва иншоот таъсир мерасонанд.

**Калидвожаҳо:** биноҳо ва иншоот, гармкунӣ, ҳавотозакунӣ, самаранокии энергия, муҳити меъморӣ, табиӣ, истеъмоли энергия, гармимуҳофизӣ.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Д.Ф. Каландаров, Н.Н. Хасанов, К.Р. Рахматзода, С.У.Раджабов

В данной статье отмечается, что классификация энергоэффективности гражданских зданий, наряду с другими видами зданий, возводимых на территории страны, ещё определяется на начальной стадии проектирования, а на второй стадии строительного процесса внимание уделяется соответствию проектных и объёмно-конструктивных решений утверждённому проекту, при этом в эксплуатации фактические показатели сравниваются с нормативными и теоретическими. Одновременно указывается, что климатические и природные условия места строительства являются одним из ключевых факторов, который напрямую влияет на архитектурные и строительные решения, а также на уровень потребления энергии зданиями и сооружениями.

**Ключевые слова:** здания и сооружения, отопление, кондиционирование, энергоэффективность, архитектурная среда, природная среда, энергопотребление, теплоизоляция.

## ORGANIZATION OF ENERGY EFFICIENT ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION ENVIRONMENT OF CIVIL BUILDINGS

D.F. Kalandarov, N.N. Khasanov, K.R. Rahmatzoda, S.U.Rajabov

The article notes that the energy efficiency classification of civil buildings, along with other types of buildings constructed in the country, is still determined at the initial stage of design, while at the second stage of the construction process, attention is paid to the compliance of design, volumetric, and structural solutions with the approved project, and actual operational indicators are compared with normative and theoretical ones. At the same time, it is noted that the climatic and natural conditions of the construction site are one of the key factors that directly affect architectural and construction solutions, as well as the level of energy consumption by buildings and structures.

**Keywords:** buildings and structures, heating, air conditioning, energy efficiency, architectural environment, natural environment, energy consumption, thermal insulation.

### Муқаддима

Дар замони муосири рушди босурати соҳаи шаҳрсозӣ сарфаҷӯӣ ва босамарии он ба яке аз мавзӯҳои муҳиму мубрам табдил ёфтааст. Сол ба сол қоҳиш ёфтани захираҳои энергетикӣ, бо суръати назаррас тағйир ёфтани иқлим ва афзоиши аҳоли дар рӯи замин сабабҳои калидии ба миён омадани мушкилоти номбурда аст. Ҳамзамон, хароҷоти аз ҳад зиёди қувваи барқ, ҷӣ дар фасли сармону ҷӣ дар фасли гармо дар як қатор мамолики пешрафтаи ҷаҳон, аз ҷумлаи кишвари мо барои таъминоти ниёзу эҳтиёҷоти биноҳои шаҳрвандӣ масъалаи мазкурро тезу тунд гардондаанд.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон зиёда аз 65-70 фоизи аҳоли дар деҳотҷойҳо ҳаёту фаъолият дошта, проблемаҳои нокифоягии захираҳои энергетикиро бараъло ҳис намуда истодаанд. Бо сабаби он, ки раванди кӯчидани соқинони мамлакат аз деҳот ба шаҳрҳо сол ба сол афзуда истодааст ва талабот ба лоиҳакашӣ ва бунёди биноҳои бисёру баландошёнаи манзилӣ пайваста мавриди зиёдшавӣ қарор гирифтааст, мушкилоти норасогии захираҳои энергетикӣ дар шаҳрҳо низ ба ҷашм мерасад. Боиси зикр аст, ки зарурати истифодаи захираҳои энергетикӣ барои эҳтиёҷоти комплекси сохтмони кишвар дар зиёда аз се даҳсолаи охир, қариб то ба 25 маротиба афзуда, боз ҳам мубрам гардидани ин проблемаи ҳалталаб зиёдтар гардидааст [2, 3, 6].

Дар қаламрави Осиёи Марказӣ, алалхусус, дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мушкилоти номбурда дар оғози асри XXI аз сабаби шуруъ намудан ба лоиҳакашӣ ва сохтмони биноҳои синҷӣ аз оҳанубетони якпӯхт бо деворҳои бисёрқабатаи берунаи гармимухофиз мавриди амал қарор гирифтааст. Раванди сарфачӯӣ ва самаранокии энергия дар дар солҳои охир ниҳоят муҳиму мубрам гардида, олимону муҳаққиқон ва мутахассисони соҳаро муаззаф гардонидаст, ки ҷиҳати ҳалли он тадқиқотҳои навро бо назардошти талаботи замони муосир, амалӣ намуда, навоариҳои илмии муосирро пешниҳод намоянд. Бо назардошти мубрам будани мушкилоти захираҳои энергетикӣ мамлакат, ниёзу эҳтиёҷоти иқтисодӣ хоҷагии халқ, аз ҷумла барои афзоиш додани сатҳу сифати босамарии энергетикӣ биноҳо ва иншооти таъйиноти гуногундошта, аз ҷониби Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон як қатор ҳуҷҷату қонунҳои мухталифи самти мазкур пайваста ба тасвиб расидаанд.

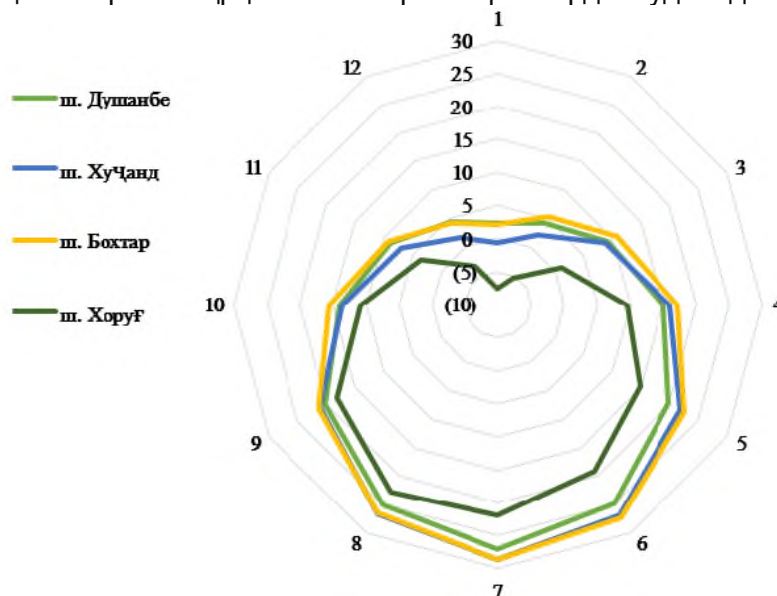
Бевосита дар самти лоиҳакашӣ, сохтмон ва истифодабарии бинуву иншоот барои иҷрои талаботи ҳуҷҷатҳои болозикр, аз тарафи мақомоти ваколатдори соҳаи меъмориву шаҳрсозӣ, Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон як зумра ҳуҷҷатҳои меъёриву техникӣ самти мазкур, ба мисоли МҚС ҚТ 23-02-2021, МҚС ҚТ 23-01-2018 ва ғайра [4, 5, 6] таҳия гардида, ҳоло мавриди истифодабарии истеҳсоли мебошанд.

Боиси зикр аст, ки синфбандии энергиясамаранокии биноҳои шаҳрвандӣ, дар қатори дигар намуди биноҳои дар ҳудуди кишвар сохташаванда, ҳанӯз дар марҳилаи аввали лоиҳакашӣ муқаррар гардида, дар марҳилаи дууми раванди сохтмон ба мутобиқати ҳалли тарҳию ҳаҷмӣ ва конструктивӣ бо лоиҳаи тасдиқшуда таваҷҷуҳ зоҳир гардида, дар истифодабарии онҳо нишондиҳандаҳои воқеии дастрасшуда бо нишондиҳандаҳои меъёриву назарявӣ муқоиса карда мешаванд.

#### Мавод ва усулҳои таҳқиқот

Таъсири омилҳои хусусияти табиӣ ва иқлимидошта ба ташаккули муҳити энергиябосамари меъморӣ-сохтмони биноҳои шаҳрвандӣ. Шароитҳои иқлимиву табиӣ маҳали сохтмон яке аз омилҳои калидиест, ки бевосита ба ҳалли меъмориву сохтмонӣ ва сатҳи истеъмоли энергия аз ҷониби биноҳо ва иншоот таъсир мерасонанд. Ба ҳисобгирии дурусту мусоиди иқлим имкон медиҳад, ки дар фасли сармо талафоти энергия ва дар фасли тобистон гармшавии аз ҳад зиёд коҳиш дода, хароҷотҳоро барои гармкунӣ, ҳавотозакунӣ ва кондинсионеронӣ маҳдуд карда шаванд [1, 8].

Ҷумҳурии Тоҷикистон аз лиҳози маҷеи географии худ, минтақаи ҷанубии Осиёи марказӣ ба ҳисоб рафта, дар миёни 360 40'-410 05' арзи шимолӣ ва 670 31'-750 14' тӯли шарқии он ҷойгир мебошад. Дар расми 1 маълумотҳои меъерии ҳарорати ҳаво барои шаҳрҳои калонтарини ҚТ оварда шудаанд.



Расми 1 - Ҳарорати моҳонаи миёнаи ҳарорати ҳаво, 0С барои шаҳрҳои Душанбе, Хуҷанд, Бохтар ва Хоруғ

Дар ҷадвали 1 нишондиҳандаҳои иқлимии мавсимҳои сармову гармо барои шаҳрҳои Душанбеу Хучанд ва Бохтару Хоруғ оварда шудаанд, ки онҳо тағйирёбии интиҳои ҳарорати солонаи шаҳрҳои калонтарини ҷумҳуриро ифода менамоянд.

Ҷадвали 1 - Нишондиҳандаҳои иқлимии мавсимҳои сармову гармо барои шаҳрҳои Душанбе, Хучанд, Бохтар ва Хоруғ

| Маълумоти ҳисобӣ |         |                                      |                                     |                                                        |                                                      |                                                     |                                      |
|------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| №                | Шаҳр    | Ҳарорати ҳавои шабонарӯзӣ хунуктарин | Ҳарорати ҳавои панҷрӯзаи хунуктарин | Давомнокии давра бо ҳарорати миёнаи камтар аз 8°C, ш/р | Ҳарорати миёнаи балантарини ҳавои моҳи гармтарин, °C | Амплитудаи максималии ҳарорати ҳавои моҳҳои сол, °C | Ҳарорати мутлақи максималии ҳаво, °C |
| 1.               | Душанбе | -13,8                                | -9,5                                | 110                                                    | 27,1                                                 | 25,4                                                | 44                                   |
| 2.               | Хучанд  | -14,8                                | -13,3                               | 122                                                    | 28,6                                                 | 23,8                                                | 46                                   |
| 3.               | Бохтар  | -14                                  | -11,5                               | 100                                                    | 28,7                                                 | 24,9                                                | 46                                   |
| 4.               | Хоруғ   | -19,6                                | -17,1                               | 166                                                    | 22,7                                                 | 21                                                  | 38                                   |

Бояд зикр намуд, ки дар замони муосири рушди босуръати технологияҳои инноватсионии сохтмонӣ, истифодаи конструксияҳои сабуки сохтмонӣ ва танзими микроиқлими дохилаи биноҳо ба воситаи онҳо, бар ивази конструксияҳои намудҳои яклухтрезай оҳанубетонии анъанавӣ бо гармии инертсионии зиёд, ҳар чӣ муҳиму мубрам гардида истодаанд [7, 9].

Ҳадафи асосии лоиҳакашии гармимухофизӣ ва энергиясамаранокии биноҳои дар шароити иқлимиву табиӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бунёдшаванда аз ташаккул додани шароити боҳузру ҳаловат ва микроиқлими мусоид барои ҳаёту фаъолияти истифодабарандагон иборат мебошад. Барои расидан ба ин мақсад, зарур аст, ки беҳбудии системаи гармкунӣ ва ҳавотозакунӣ ва инчунин пешниҳоди ҳалли муфиду мусоиди масъалаҳои шахрсозӣ таъмин карда шаванд [1, 3, 4].

Бо мақсади танзим намудани радиатсияи офтоб ва таъсири мусбат ба он, дар лоиҳакашии биноҳои энергиясамаранок пешбинӣ намудани равшанӣ ба воситаи шишабандиҳо ва воридоти ҷараёни гармӣ ба воситаи онҳо ба назар гирифта шуда, имконпазириҳои истифодаи гармкунии ғайрифаволи офтобӣ ва шишабандиҳо (барои тамоюли ҷанубӣ) бояд таъмин карда шаванд. Ҳамзамон, зарурати пешбинӣ намудани гармимухобизии биноҳо дар фасли тобистон, бо роҳи истифодаи васоити гуногуни офтобмухофизӣ (овезаҳо, жалюза ва пардаҳо, нмоҳои сабз ва ғ.) имконпазир мебошад.

Рутубатнокии ҳаво низ, яке аз омилҳои иқлимии ба сатҳи босамарии энергетикӣ биноҳо таъсиркунанда ба ҳисоб рафта, он бевосита ба интиҳоби масолеҳи сохтмони иҳотадеворҳо (намиустуворӣ, буғногузаронӣ) таъсир мерасонад. Намнокии зиёди ҳавои дохилаи пешбинӣ намудани ҳавотозакунӣ босифатро талаб намуда, имконияти пайдо шудани конденсатро дар ҳоли гармимухофизии нокифоя ба вучуд меоварад. Давомнокии мавсимҳои гармидиҳӣ ва хунуккунӣ ҳаҷми истеъмоли гармии биноҳоро муайян намуда, ба интиҳоби системаҳои муҳандисии гармидиҳӣ, гармимухофизӣ ва ҳавотозакунӣ онҳо таъсири бевосита дорад.

Минтақаи якуми иқлимӣ, пасткуҳҳо ва минтақаҳои ҳамвор (ҷанубу ғарб ва қисман шимол), аз ҷумла шаҳрҳои Душанбеу Бохтар, Турсунзодаву Хучандро дар бар гирифта, дорои иқлими субтропикӣ бо тобистони гарму хушк ва Зимистони мулоим мебошад. Ҳарорати ҳавои минтақа дар тобистон ба +35...+45 °C ва дар Зимистон -2...+5 °C-ро ташкил дода, дорои хусусияти хос, радиатсияи баланди офтоб, рутубатнокии паст ва мавсими кутоҳи гармкунӣ мебошад. Дар минтақаи мазкур дар раванди лоиҳакашӣ роия намудани тавсияҳои зерини меъморӣ, аз қабилӣ: пешбинӣ намудани деворҳои ғафси гармиғунҷоиши баланд (гилӣ, коҳгилӣ), ҳимоя аз гармӣ ба воситаи айвонҳои соябондор, намоҳои ранги сафеду равшандошта, ҳавотозакунӣ табиӣ (шифтҳои баланд, шахтаҳои

ҳавокашӣ), масоҳатҳои маҳдуди шишабандӣ барои намоҳои ҷанубӣ ва ғарбӣ ва инчунин тарҳрезии ҳавлиҳо ва ҳавлиҳои дохила аз манфиат ҳолӣ нест. Минтақаи дигари Ҷумҳурии Тоҷикистон, минтақаи миёнакӯҳӣ, бо баландиҳои 1000-2500 метр аз сатҳи баҳр ба ҳисоб рафта, дар ин минтақа водии Ҳисор, ноҳияҳои Файзободу Рашт ва ҳудуди шаҳру маҳалҳои Ваҳдат шомил мебошанд.

Дар ин минтақа аз нуқтаи назари ҳалҳои меъморӣ тавсия дода мешавад, ки деворҳои беруна, бому фаршҳои биноҳо бо роҳҳои конструксионӣ гармимуҳофизӣ карда шуда, шакли тарҳиву ҳаҷмии бино ихчам бошад. Ҳамзамон, бояд дар сохтори тарҳии биноҳо даромадгоҳу (тамбуру) минтақаи буферӣ пешбинӣ гардад ва тирезаҳо асосан ба тарафи ҷануб рӯоварӣ дошта, коллекторҳои офтобӣ муътадил истифода карда шаванд. Минтақаи сеюми иқлимӣ, баландкӯҳӣ дар баландиҳои зиёда аз 2500 метр аз сатҳи баҳр ҷойгир мешавад. Ба ин минтақа қариб тамоми ҳудуди Вилояти мухтори куҳистони Бадахшон (мурғобу Хоруғ), қисме аз ноҳияи Дарвоз ва инчунин ноҳияи Рӯшон шомил гардидааст. Иқлими минтақаи мазкур хуноки шиддатноки континенталӣ бо ҳарорати тобистонаи +20...+30°C ва Зимистонаи -5...-15°C мебошад. Хусусиятҳои фарқкунандаи минтақа аз ҳароратҳои ниҳоят пасти ҳаво, шамоли саҳт ва фаъолнокии баланди офтобӣ (рӯзҳои офтобии зиёд) иборат аст. Дар ҳулоса бояд қайд намуд, ки лоиҳакашии биноҳои энергиябосамар дар Тоҷикистон назардошти ҳатмии ҷойгиршавии баланд нисбати сатҳи баҳр, ҳарорат, нӯрпошии офтобӣ ва речаи вазиши шамол бояд амалӣ карда шавад. Дар ин самт пайдо намудани ҳалҳои универсалӣ ғайриимкон буда, барои ҳар як минтақа бояд муносибати мутобиқгардонии стратегияи меъморӣ-сохтмониро баҳри афзоиш додани босамарии энергетикӣ пешбинӣ карда шавад (нигар ба ҷадвали 2).

Ҷадвали 2 - Муқоисаи минтақаҳои иқлимӣ ҶТ ва тавсияҳои меъморӣ барои баланд бардоштани энергиябосамарӣ

| №   | Нишондиҳанға                   | Минтақаи пасткӯҳӣ<br>(Душанбе, Хучанд)    | Минтақаи миёнакӯҳӣ<br>(Ҳисор, Ваҳдат)      | Минтақаи<br>баландкӯҳӣ<br>(Хоруғ, Мурғоб)         |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1.  | Иқлим                          | Гарми хушк,<br>Зимистони форам            | Муътадил, пасту<br>баландшавии мавсимӣ     | Ниҳоят хуноқ, хушк                                |
| 2.  | Ҳарорат, °C                    | Тобистон: +35...+45,<br>Зимистон: -2...+5 | Тобистон: +20...+30,<br>Зимистон: -5...-15 | Тобистон: +10...+18,<br>Зимистон: -20...-35       |
| 3.  | Инсолятсия (нӯрпошии<br>офтоб) | Ниҳоят баланд                             | Миёна                                      | Ниҳоят баланд                                     |
| 4.  | Ҳавомнокии гармидиҳӣ           | 2-3 моҳ                                   | 4-6 моҳ                                    | 7-9 моҳ                                           |
| 5.  | Хавфи асосӣ                    | Гармшавӣ, ҳавои хушк                      | Талафоти гармӣ,<br>намнокӣ                 | Сардӣ, шамол,<br>талафоти гармӣ                   |
| 6.  | Шакли бино                     | Тӯлкашиға бо<br>терассаҳо                 | Ихчами тамбурдор                           | Ихчам бо тирезаҳои<br>хурд                        |
| 7.  | Гармимуҳофизӣ                  | Муътадил (бому<br>деворҳо)                | Деворҳо, бому<br>фаршҳо                    | Пурра,<br>ихотадеворҳои<br>ҳавоногузар            |
| 8.  | Тирезаҳо ва рӯоварӣ            | Ба ҷанубу ғарб камтар,<br>ҳимоя аз офтоб  | Рӯоварии ҷанубӣ,<br>андозаҳои миёна        | Тирезаҳои хурд,<br>рӯоварии ҷанубӣ                |
| 9.  | Масолах                        | Кох, гил, бетон                           | Ҳишт+қабати<br>гармимуҳофиз                | Синчи сабук ё блокҳо<br>ба қабати<br>гармимуҳофиз |
| 10. | Иловатан                       | Айвонҳо, ҳаворасӣ                         | Минтақаҳои буферӣ,<br>шамолмуҳофизӣ        | Намоҳои офтобӣ,<br>буғмуҳофизӣ                    |

*Нақши конструксияҳои ихтави беруна дар ташаккулёбии энергиябосамарии биноҳо.* Конструксияҳои ихтави берунаи биноҳо (КИБ) аз девору тирезаҳо, бомҳо ва намоҳои бино дар умум иборат буда, дар ташаккули микроиқлими дохилаи онҳо ва муҳити меъморӣ-фазоии энергиясамаранок нақши калидиро иҷро менамоянд. Онҳо унсурҳои конструктивӣ-сохтмонӣ буда, муҳити дохилаи

биноро аз муҳити атрофи беруна чудо менамоянд ва ҳамзамон, на танҳо вазифаҳои ихтотавӣ доранд, балки барои таъмини ҳузуру ҳаловати гармӣ, босамарии энергетикӣ ва пурдошти биноҳо хизмат мерасонанд.

Вазифаҳои энергетикӣ ихтотадеворҳои берунаро баррасӣ намуда истода, бояд қайд намуд, ки онҳо ҷойҳои асосии талафоти гармӣ дар фасли зимистон ва воридоти ҷараёни гармӣ дар фасли тобистон мебошанд. Тақрибан аз 30 то 50%-и тамоми талафоти гармии биноҳо метавонад ба воситаи девору тиреза ва бомҳои бино амалӣ шавад.

Дар мавриди интиҳоб ва истифодаи масолеҳҳои конструксияҳои ихтотавӣ ба назар гирифтани тавсифоти гармимуҳофизи онҳо муҳим буда, истифодаи масолеҳҳои босифат боиси баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ биноҳо гардад. Конструксияҳои гуногун (аз бетону ҷӯб, сабуки синҷӣ) дорои хусусиятҳои гуногуни гармимуҳофизӣ мебошанд ва онро ҳангоми интиҳоби масолеҳи КИБ бояд ҳатман ба инобат гирифт.

Дар лоиҳакашии КИБ бояд дар назар дошт, ки онҳо бевосита ба истеъмоли энергия таъсир мерасонанд. Талафоти энергетикӣ (гармӣ) ба воситаи девор, тирезаҳо ва боми бино амалӣ гашта, интиҳоби дурусти конструксия ва масолеҳи онҳо метавонад ба тарзи назаррас истемоли энергияро аз ҷониби бинору иншоот паст намояд.

Истифодаи технологияҳои энергиясамаранок ба мисоли тирезаҳои “бошуур” ва системаҳои ҳавотозакунӣ бо коркарди ҳаво низ ба самаранокии КИБ таъсир мерасонанд. Мушкилоти дигар дар лоиҳакашии КИБ энергиясамаранок, ин таъмини устувории онҳо ба таъсири омилҳои беруна ба ҳисоб рафта, онҳо бояд ба таъсири муҳити беруна устувор, пурдошт, зарурати таъмирталабӣ ва иваз намуданро коҳиш дода тавонанд, ки чунин ҳолат бевосита ба хароҷоти энергетикӣ бетаъсир намерасонад.

Истифодабарии манбаъҳои барқароршавандаи энергия дар таъмини энергиясамаранокии умумии биноҳо муҳим буда, дар ҳолатҳои зарурӣ интегратсияи баъзе намудҳои КИБ бо лавҳаҳои офтобӣ ё системаҳои дигар, ки метавонанд босамарии энергетикӣ биноро таъмин намоянд имконпазир мебошад. Ин ҳолат метавонад паст намудани вобастагиро аз манбаъҳои анъанавии энергия таъмин намуда, самаранокии умумии биноҳоро афзояд. Нақши дигари КИБ дар ташаккули фазои меъмории биноҳо муҳим буда, шаклу ғафсӣ ва масолеҳи онҳо бевосита ба намуду симои меъмории бино, дарки визуалии намоҳо, сохтори фазогӣ (ҷойгиршавии тирезаҳо, сурохиҳо, эркерҳо ва ғ.) таъсир мерасонад. Ҳалли оқилонаи пешбинишуда имкон медиҳад, ки ҷабҳаҳои эстетикиву бадеӣ ва таъйиноти биноҳоро бо ҳам пайвандад.

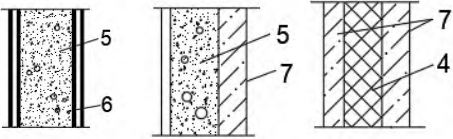
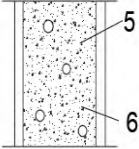
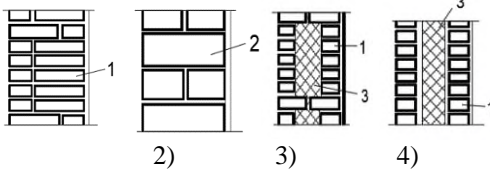
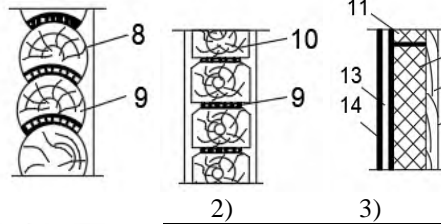
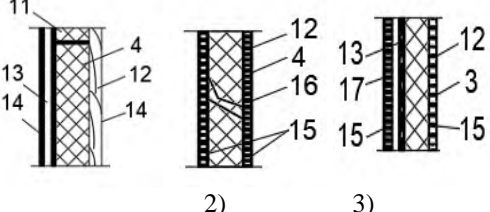
Боиси зикр аст, ки тадқиқи КИБ энергиясамаранок маблағгузориҳои аввалияро талаб намуда, минбаъд онҳо барои ба таври назаррас сарфа намудани маблағҳо барои гармкунӣ ва кондитсионеронӣ метавонанд таъмин намоянд. Дар тамоми мамлики пешрафтаи ҷаҳон, аз ҷумла Ҷумҳурии Тоҷикистон барнома ва маблағгузориҳои гуногуни давлатӣ ҷиҳати дастгирии баланд бардоштани энергиясарфаҷӯӣ дар сохтмон вучуд доранд.

Дурнамои рушди технологияҳо дар самти гармимуҳофизӣ ва сарфаҷӯӣ энергия ҳоло ҳамачониба рӯ ба сӯи тараққӣ дошта, имкониятҳои навинро барои беҳтар намудани хусусиятҳои физикиву техникӣ КИБ пешниҳод менамоянд ва тадқиқоту навоариҳо дар самти масолеҳу конструксияҳо метавонанд сатҳи зарурӣ ва самаранокии онҳоро ҳамачониба таъмин намоянд.

Дар умум, КИБ на танҳо ҳамчун рӯйпӯши берунаи бино мебошад, балки онҳо як системаи фаъоли энергетикиву иқлимӣ бино ба ҳисоб мераванд ва лоиҳакашии оқилонаи конструксияҳои мазкур, метавонад асос барои устуворӣ, ҳузуру ҳаловат ва меъмории сарфаҷӯёна бошад. Дар ҷадвали 3 намунаҳои конструксияҳои

иҳотадеворӣ, ки ҳоло дар биноҳои шаҳрвандӣ мавриди истифодабарӣ қарор мегиранд, оварда шудаанд.

Ҷадвали 3 - Намунаҳои конструкцияҳои иҳотадеворӣ

| №  | Намудҳои девор                                                                   | Анғораи конструкция                                                                                                        | Вазифаи статикӣ      | Истифодабарӣ ҳар деворҳои бино |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1. | Бетонӣ (лавҳавӣ, яклухтрез, васливу яклухт): якқабата                            |  <p>якқабата    дуқабата    сеқабата</p> | Гуногун              | Ошённокӣ гуногун               |
| 2. | Блокҳои қалонандозаи бетонӣ                                                      |                                           | Борбардор, худбардор | Кам, миёна ва баландошён       |
| 3. | Чиниши сангӣ:<br>1 - яклухти хиштӣ<br>2 - аз блокҳои хурд<br>3,4 - бисёрқабата   |  <p>2)    3)    4)</p>                   | Борбардор, худбардор | Кам, миёна ва баландошён       |
| 4. | Чубин:<br>1 - ғулачубҳо<br>2 - ғулачубҳои чортарош<br>3 - синҷӣ, сипарӣ, лавҳавӣ |  <p>2)    3)</p>                        | Борбардор            | Камошён                        |
| 5. | Аз масолеҳҳои ғайрибетонӣ:<br>1 - бесинҷ (сэндвич)<br>2 - синҷӣ<br>3 - фахверкӣ  |  <p>2)    3)</p>                       | Ғайриборбардор       | Гуногуношён                    |

### Натиҷаҳо

Таъмини ихчамии ҳалли тарҳиву ҳаҷмӣ – омили асосии афзоиш додани энергиясамаранокӣ муҳити меъморӣ-сохтмони биноҳо. Дар шароити ҷаҳонӣ гармшавӣ, баланд рафтани арзиши захираҳои энергетикӣ ва даъватҳои экологӣ дар назди илми меъморӣ-сохтмони вазифаи мубрами афзоиш додани босмари энергетикӣ биноҳоро гузоштааст. Дар қатори омилҳои калидии самти меъморӣ, ки таъсири бевосита ба талафоти гармии биноҳо дорад, яке аз ҷойҳои ҳалкунандаро ихчамии ҳалли тарҳиву ҳаҷмӣ ишғол менамояд ва он муайянкунандаи асосии сатҳи гармигузаронии байни муҳити дохилаву беруна мебошад [3, 5].

Дар асоси талаботу муқаррароти мавҷудаи соҳа, ихчамии биноҳо ҳамчун таносуби масоҳати сатҳҳои иҳотавию беруна ва ҳаҷм ё масоҳати дохилаи бино муаррифӣ карда шудааст. Ҷӣ қадаре, ки масоҳати сатҳи иҳотавии бино нисбати ҳаҷми он хурдтар бошад, ҳамон қадар дар бино талафоти гармӣ камтар мегардад.

Шакли ихчами ҳалли тарҳиву ҳаҷмии биноҳо бо роҳи кам кардани масоҳати сатҳҳои гармигузаронанда дастрас шуда, барои паҳншавии баробари гармӣ ва коҳиш додани инфилтратсияи ҳавои хунук мусоидат менамояд. Масалан, муқоисаи шакли доира (куррашакл) ва шакли росткунҷаи тӯлкашида, ки ҳаҷми яхела доранд, нишон медиҳад, ки бинои шакли росткунҷаи тӯлкашида тақрибан то 15-25% зиёдтар энергияи гармиро талаф медиҳад. Бешубҳа, шакли меъморӣ биноҳо ба босамарии энергетикӣ он таъсири назаррас дорад. Шаклҳои содда ба монанди шакли мукааб (куб), курра ва призма аз лиҳози нишондиҳандаҳои геометрии худ, дорои таносуби камтарини сатҳу ҳаҷм буда, гармкунӣ ва ҳавоногузар кардани онҳо осон аст ва инчунин дар онҳо бандҳои пайвастшавӣ, яъне ҷойҳои имконпазири хунукигузар камтар мебошад. Шаклҳои мураккаби тарҳии биноҳо (Г-, П-, Н-, Ш-шакл ва ғ.) бошанд, сатҳи рӯйпуши берунаи биноро меафзоянд, тавсифоти гармимухофизиро бадтар ва ҳалҳои конструктивии мураккабро талаб менамояд [10].

### Хулосаҳо

Ҳамбастагии ҳалли ихчамӣ бо нафосату фасоҳати меъморӣ яке аз рӯкҳои лоиҳакашии дурусти биноҳои энергиясамаранок буда, босамарии энергетикӣ биноҳо бояд бе расонидани зарар ба масъалаҳои эстетикиву зебогии биноҳо таъмин гардад. Бо ин мақсад, пешбинӣ намудани унсурҳои меъморӣ анъанавӣ (айвону соябоҳо), тарҳрезии ҳавлиҳои дарунсохт барои таъмини равшаниву ҳавотозакунӣ ва инчунин, истифодаи масолеҳу технологияҳои муосир, ки мураккабии шаклҳоро метавонад ҷуброн намояд, аз манфиат холӣ намебошад.

*Муқаррир: Давлатов Д.Н. - н.и.т., мудири қабедраи "Соҳтмони гидротехникӣ ва фанҳои умумитехникӣ" - Донишҷодаи энергетикӣи ТҶОқиқистон*

### Адабиёт

1. Амирзода О.Х. Баланд бардоштани энергиясамаранокии биноҳо бо усулҳои меъморӣ-тарҳрезӣ / Амирзода О.Х., Ҳасанов Н.Н., Каримов Н.М., Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ- ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 4. С. 80-87.
2. Амирзода О.Х. Масолеҳҳои муосири сохтмонӣ-конструксионии энергиясамаранок / Амирзода О.Х., Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ - ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 2. С. 91-99.
3. Архитектурная физика / под ред. Н.Ф. Оболенского. – М. : Стройиздат, 2005. – 443 с.
4. Ҳасанов Н.Н. Таъсири ҳалли ҳаҷмиву тарҳии биноҳо ба энергиясамаранокии онҳо / Ҳасанов Н.Н., Ҳасанов Ф.Н. Паёми политехникӣ (бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ) – №4(64),– Душанбе: Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, 2023. - 147 с. – С. 128-133, ISSN 2520-2227.
5. Гулямов Б.А. Пути повышения энергоэффективности наружных конструкций зданий / Гулямов Б.А., Ҳасанов Ф.Н., Иноятов Б.А. / Материалы республиканской научно-практической конференции «Перспектива развития производства строительных материалов в РТ» г.Душанбе, 2023г. – с.24-28.
6. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975. – 278 с.
7. Каримов, Н.М. Влияние объемно-планировочных решений на энергоэффективность зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. –Душанбе, 2022. №3 (59). - С. 115-119.
8. Ҳасанов Н.Н. Инженерный метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях жаркого климата / Н.Н. Ҳасанов, Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. –№3 (53). - С. 115-118.
9. Ҳасанов Ф.Н. Тартиби лоиҳасозии гармимухофизии биноҳо / Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ - ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 2. С. 91-99.

10. Хужаев П.С. Конструксияҳои каммасрафи ихтавии биноҳо бо хусусиятҳои баланди гармимуҳофизӣ / Хужаев П.С., Исмагуллозода Д. И., Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ - ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 3. С. 109-118.

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

| TJ                                                                          | RU                                                       | EN                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Қаландаров Диловаршох<br>Файзуддинович                                      | Қаландаров Диловаршох<br>Файзуддинович                   | Dilovarshoh Fayzuddinovich<br>Kalandarov                 |
| докторант                                                                   | докторант                                                | Doctor PhD                                               |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи ак.<br>М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет им. ак. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| Email: <a href="mailto:dkalandarov48@gmail.com">dkalandarov48@gmail.com</a> |                                                          |                                                          |
| TJ                                                                          | RU                                                       | EN                                                       |
| Ҳасанов Нозимшо<br>Назокатшоевич                                            | Хасанов Нозимшо Назокатшоевич                            | Hasanov Nozimsho<br>Nazokatshoevich                      |
| Доктори меъморӣ, профессор                                                  | Доктор арх., профессор                                   | Dr. Arch., Professor                                     |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи ак.<br>М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет им. ак. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| Email: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>               |                                                          |                                                          |
| TJ                                                                          | RU                                                       | EN                                                       |
| Раҳматзода Комрон<br>Раҳматович                                             | Раҳматзода Комрон<br>Раҳматович                          | Rahmatzoda Komron<br>Rahmatovich                         |
| Докт. PhD, муалл. калон                                                     | Докт. PhD, старший преп.                                 | Doctor. PhD, Senior Lecturer                             |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи ак.<br>М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет им. ак. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| Email: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>               |                                                          |                                                          |
| TJ                                                                          | RU                                                       | EN                                                       |
| Раҷабов Соҳибҷон Умаралиевич                                                | Раджабов Соҳибҷон Умаралиевич                            | Radjabov Sohijon Umaralievich                            |
| магистрант                                                                  | магистрант                                               | Master degree                                            |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи ак.<br>М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет им. ак. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| Email: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>               |                                                          |                                                          |

## ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕНТОЧНО-СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЗА СЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОПРЕССОВКИ ГРУНТА

Д.Н. Давлатов, К.Р. Рахматзода, А.О. Якубов, Марзбоншохи С.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена переустройству ленточно-свайных фундаментов в более надежные комбинированные конструкции. Исследуются ключевые аспекты: от обоснования необходимости такого усиления до подробного описания этапов работ с применением опрессовки и цементации. Особое внимание уделено тому, как усиленные элементы начинают взаимодействовать с грунтовым основанием. Предварительная опрессовка выступает как метод активного уплотнения прилегающего и нижележащего грунта, создавая “предварительно нагруженную подушку” под лентой и увеличивая силы трения по боковой поверхности свай. Дополнительное применение цементации направлено на стабилизацию и повышение прочности критических зон или слабых прослоек. Исследование детально описывает, как контролируемая опрессовка, часто совмещаемая с инъекционными методами (цементацией) для стабилизации слабых прослоек, приводит к перераспределению напряжений и увеличению модулей деформации в критической зоне.

**Ключевые слова:** усиление фундаментов, комбинированные основания, опрессовка, цементация грунтов, реконструкция, несущая способность.

## БАЛАНД БАРДОШТАНИ ҚОБИЛИЯТИ БОРБАРДОРИИ ТАҲҚУРСИҶОИ ТАСМАҒИ-МЕХСУТУНӢ ТАВАССУТИ ЗИЧКУНИИ ПЕШАКИИ ХОК

Д.Н. Давлатов, К.Р. Рахматзода, А.О. Якубов, Марзбоншохи С.

Мақола ба таҷдиди таҳқурсиҷои тасмағи-мехсутунӣ бо бозъитимодии конструкцияҳои омехта баҳшида шудааст. Дар он ҷанбаҳои калидӣ баррасӣ карда мешаванд, аз қабилӣ асосноккунии ин гуна усули мустаҳкамкунӣ то тавсифи муфассали марҳилаҳои кор бо истифода аз зичкунии пешакӣ ва сементкунонӣ. Диққати махсус ба он равона карда мешавад, ки чӣ гуна унсурҳои мустаҳкамшуда бо хоки асос кор мекунад. Зичкунии пешакӣ ҳамчун усули фаъоли фишурдани хокҳои ҳамшафат ва зеризаминӣ амал карда, дар зери тасма “болишти пешакӣ боршуда” қувваҳои соишро дар атрофи сатҳи паҳлуии мехсутунҳо зиёд мекунад. Истифодаи иловагии сементкунонӣ барои барқарорсозӣ ва баланд бардоштани мустаҳкамии минтақаҳои хоки сусти қабатҳои сусти равона шудааст. Таҳқиқот муфассал шарҳ медиҳад, ки аксар вақт зичкунии пешакӣ дар якҷоягӣ бо усулҳои инъексионӣ (сементкунонӣ) барои барқарорсозии қабатҳои ноустувор, боиси аз нав тақсим шудани шиддатҳо ва афзоиши модули деформатсия дар қисмати хоки сусти мегардад.

**Калимаҳои калидӣ:** мустаҳкамкунии таҳқурсиҷо, асосҳои омехта, зичкунӣ, сементкунонии хок, азнавсозӣ, қобилияти борбардорӣ.

## INCREASING THE BEARING CAPACITY OF STRIP-PILE FOUNDATIONS BY PRELIMINARY SOIL COMPRESSING

D.N. Davlatov, K.R. Rakhmatzoda, A.O. Yakubov, Marzbonshohi S.

The article is devoted to the conversion of strip-pile foundations into more reliable combined structures. Key aspects are explored, from the rationale for such reinforcement to a detailed description of the stages of work involving pressure testing and grouting. Particular attention is paid to how the reinforced elements interact with the subgrade. Preliminary pressure testing acts as a method of actively compacting the adjacent and underlying soil, creating a "preloaded cushion" under the strip foundation and increasing friction forces along the lateral surfaces of the piles. The additional use of grouting is aimed at stabilizing and increasing the strength of critical zones or weak interlayers. The study describes in detail how controlled pressure testing, often combined with injection methods (cementation) to stabilize weak interlayers, leads to stress redistribution and an increase in deformation moduli in the critical zone.

**Keywords:** foundation reinforcement, combined foundations, pressure testing, soil grouting, reconstruction, bearing capacity.

### Введение

Эксплуатация зданий часто приводит к увеличению проектных нагрузок на фундамент — например, из-за надстройки дополнительных этажей, монтажа тяжелого оборудования или смены назначения объекта. В таких случаях существующие ленточные или свайные фундаменты зачастую перестают соответствовать требованиям по несущей способности и устойчивости [6, 7].

Для повышения несущей способности оснований предлагается эффективный метод: переустройство существующих ленточных или свайных фундаментов в комбинированные системы с дополнительным укреплением грунта через опрессовку и цементацию. Ключевое преимущество данного подхода заключается в том, что он позволяет усилить конструкцию, сохраняя при этом старые элементы и обеспечивая непрерывность работы здания.

**Материалы и методы исследования****Общие сведения о комбинированных фундаментах**

Применение комбинированной ленточно-свайной схемы позволяет более эффективно управлять нагрузками от здания, передавая их одновременно на грунт под лентой и на свайное поле. Благодаря этому механизму достигается более гомогенное распределение усилий, существенно снижается величина осадок и повышается общая эксплуатационная устойчивость конструкции.

Преимущество комбинированных систем перед классическими схемами заключается в их способности эффективно использовать механизмы как поверхностного опирания, так и глубинного восприятия приложенных нагрузок.

Основные причины выполнения переустройства:

- а) увеличение расчетных нагрузок при реконструкции или надстройке;
- б) развитие неравномерных осадок ленточного фундамента;
- в) повреждения ростверков или свайных элементов;
- г) ослабление свойств грунта из-за переувлажнения, вымывания или замораживания;
- д) появление трещин и деформаций стен, вызванных неравномерной работой основания.

**Технология усиления фундаментов**

Усиление заключается в объединении существующего фундамента с новыми элементами и повышении несущей способности грунта с помощью инъекционных технологий.

Этапы выполнения работ:

- Геотехническое обследование основания;
- Определение мест ослабления и планирование буровых точек;
- Выполнение цементации (инъекционного закрепления) грунта под подошвой;
- Проведение опрессовки (контроль и уплотнение) цементируемого массива;
- Устройство дополнительных свай и объединение их с лентой;
- Монолитная заливка объединяющего ростверка.
- Цементация основания

Цементация — метод упрочнения грунтов, при котором под давлением через инъекторы (пакеры) в грунт вводят цементные или цементно-химические растворы. После твердения раствор заполняет поры и трещины, образуя прочный искусственный массив [1, 3, 10].

Преимущества метода:

- повышение плотности и несущей способности основания;
- снижение водопроницаемости грунтов;
- восстановление несущей способности под существующим фундаментом;
- возможность локального усиления без вскрытия всей конструкции.

Типичные параметры цементации:

- давление нагнетания: 0,2–0,6 МПа;
- расход раствора: 50–150 л/м<sup>3</sup> грунта;
- радиус пропитки: 0,3–0,8 м в зависимости от типа грунта.

**Опрессовка основания**

Опрессовка выполняется после цементации для проверки качества закрепления грунта и его дополнительного уплотнения. Сущность метода заключается в кратковременном повышении давления в инъекционных скважинах с целью «до уплотнения» цементного раствора в порах грунта [2,4,5].

Эффект от опрессовки:

- ✓ повышение модуля деформации основания на 20–40%;
- ✓ снижение осадки фундамента;
- ✓ повышение равномерности работы основания под нагрузкой.

Комплексное переустройство в комбинированный фундамент

После инъекционного упрочнения грунта и опрессовки выполняется устройство дополнительных буронабивных свай под существующими ленточными участками. Новые сваи объединяются с существующим фундаментом через армированную железобетонную обойму или ростверк, обеспечивая совместную работу системы.

**Результаты исследования****Цель исследования**

Целью эксперимента являлась оценка эффективности усиления существующего ленточного фундамента путём переустройства его в комбинированный ленточно-свайный с применением технологий цементации и опрессовки основания [5, 8, 9].

Задачами эксперимента были:

- ✓ определение изменения несущей способности основания после цементации;
- ✓ оценка уменьшения осадок и деформаций фундамента;
- ✓ анализ равномерности распределения нагрузок после переустройства в комбинированную схему.

#### Методика проведения эксперимента

Исследование проводилось на опытном участке существующего здания с ленточным железобетонным фундаментом глубиной заложения 1,8 м.

Исходное состояние:

- плотность грунта основания — 1,83 т/м<sup>3</sup>;
- модуль деформации — 14,5 МПа;
- средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м — 12,4 мм.

Усиление основания:

- выполнена цементация грунта под подошвой фундамента на глубину 3,0 м;
- использовался цементный раствор марки М400 с водоцементным отношением 0,8;
- давление нагнетания — 0,4–0,6 МПа;
- средний расход раствора — 120 л/м<sup>3</sup> грунта.

Опрессовка:

После окончания цементации выполнялась опрессовка скважин повторным нагнетанием раствора под давлением до 0,8 МПа для дополнительного уплотнения цементного массива.

Переустройство фундамента:

- пробурены буронабивные сваи Ø300 мм на глубину 5 м с шагом 1,5 м;
- выполнено объединение свай и существующей ленты новым железобетонным ростверком.

Таблица 1- Результаты измерения при усилении

| Показатель                                   | До усиления | После цементации | После опрессовки и устройства свай |
|----------------------------------------------|-------------|------------------|------------------------------------|
| Плотность грунта, т/м <sup>3</sup>           | 1,83        | 1,94             | 2,00                               |
| Модуль деформации, МПа                       | 14,5        | 19,7             | 24,8                               |
| Средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м, мм    | 12,4        | 8,3              | 5,7                                |
| Расчётная несущая способность основания, кПа | 210         | 270              | 320                                |

#### Анализ результатов

Результаты испытаний показали, что применение цементации и последующей опрессовки значительно увеличивает жёсткость и несущую способность грунтового массива.

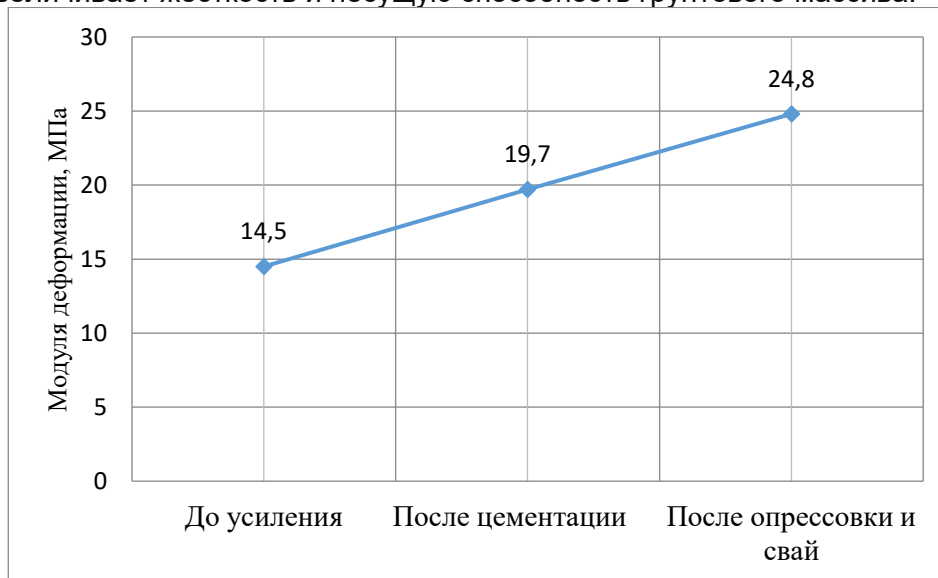


Рисунок 1 - График изменения модуля деформации от этапа усиления

После цементации модуль деформации вырос с 14,5 до 19,7 МПа, а после опрессовки и переустройства в комбинированный фундамент до 24,8 МПа. Увеличение составило около 72% от исходного значения.

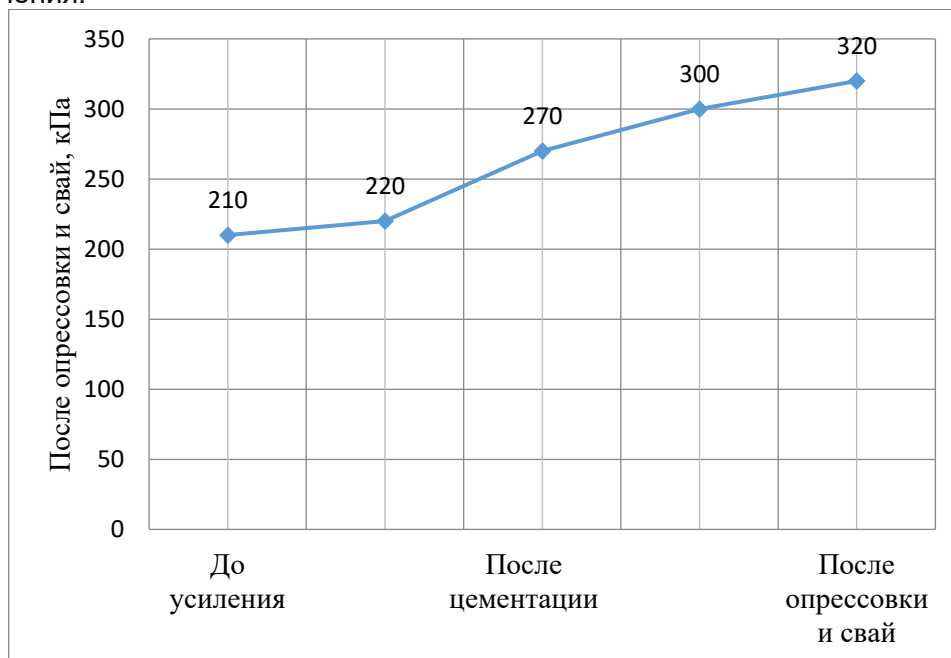


Рисунок 2 - График изменения несущей способности основания

Несущая способность основания возросла с 210 до 320 кПа, что соответствует приросту примерно на 52%.

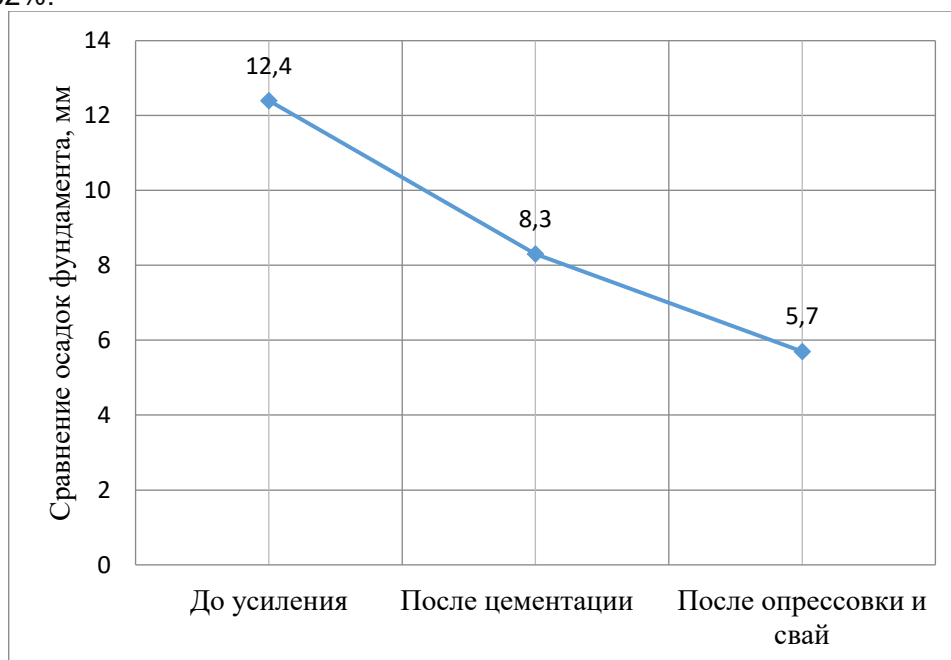


Рисунок 3 - График сравнение осадок фундамента

Средняя осадка под нагрузкой 150 кН/м снизилась с 12,4 мм до 5,7 мм, что говорит о снижении деформаций более чем в два раза.

После устройства буронабивных свай и объединения их с лентой наблюдалось равномерное распределение деформаций. Деформационные швы здания стабилизировались, трещинообразование прекратилось.

### Практическая оценка эффективности

На основании полученных данных установлено, что комбинированное усиление ленточного фундамента с применением цементации и опрессовки обеспечивает:

- ✓ повышение несущей способности основания на 45–60%;
- ✓ снижение неравномерных осадок до 1,5 мм;
- ✓ увеличение срока безопасной эксплуатации фундамента не менее чем на 30 лет.

Таким образом, эксперимент подтвердил высокую эффективность технологии опрессовки и цементации при переустройстве фундаментов в комбинированные системы.

### Итоговая оценка эффективности

Увеличение плотности грунта: на 9–10%

Повышение модуля деформации: на 72%

Увеличение несущей способности: на 50–55%

Снижение осадок: в 2,2 раза

Устранение деформаций и трещинообразования в стенах

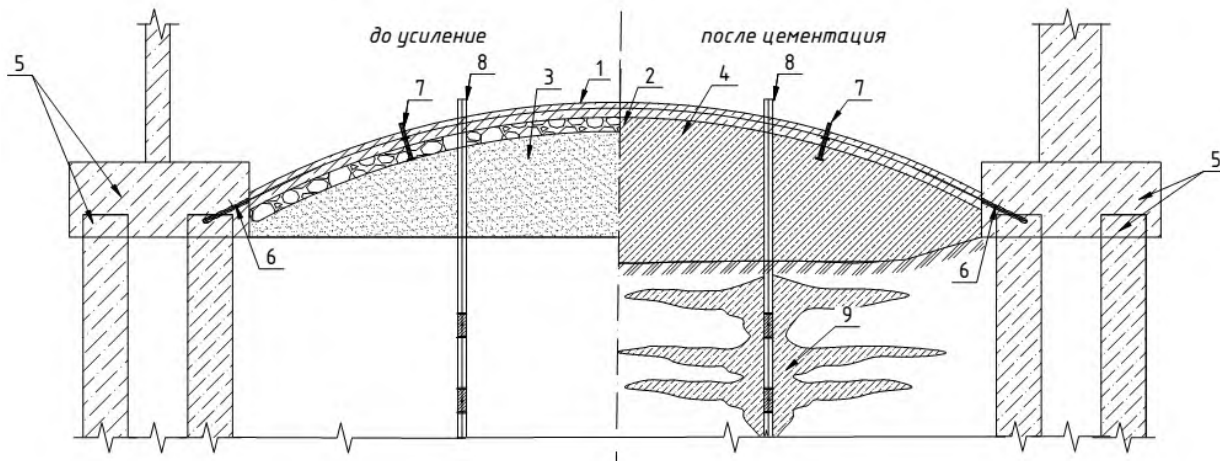


Рисунок 4 - Схема усиления ленточных свайных фундаментов

1 – система усиления фундамента состоит из несущих железобетонных оболочек; 2 – устроенных по спланированной поверхности из щебня; 3 – песка; 4 – профилированной мембраны; 5 – существующий ростверк со сваями; 6 – опорные части оболочек соединяются с существующими ростверками через анкера; закачивание под давлением высокоподвижного гидрофобного раствора происходит через инъекторы 7 в подоболочечное пространство и через инъекторы 8 в грунтовой массив на глубину до 7,8 м с образованием гидроразрывов 9.

### Выводы

Современный и эффективный подход к укреплению зданий заключается в переустройстве ленточных и свайных фундаментов в комбинированные конструкции, осуществляемом посредством опрессовки и цементации нижележащего основания. Данные технологии обеспечивают значительное повышение надежности, позволяют восстанавливать или наращивать несущую способность без проведения дорогостоящих демонтажных работ, а также минимизируют последующие деформации, продлевая тем самым срок службы объекта.

*Рецензент: Обиджони Ш.К. — к.т.н., проректор по науке, инновациям и международным отношениям Института энергетики Таджикистана*

### Литература

1. Давлатов Д.Н. Усиление ленточных свайных фундаментов переустройством в комбинированный с опрессовкой и цементацией основания: дис.канд. техн. наук. наук: 05.23.02. - Тюмень, 2020. – 127 с.
2. Корольков В.П. Реконструкция и усиление строительных конструкций. - М.: АСВ, 2018. – 312с
3. Гончаров А.С. Инъекционные технологии в строительстве. - М.: Академия, 2019. – 144 с.

4. Пронозин Я. А. Взаимодействие системы усиления свайных фундаментов с предварительно опрессованным грунтовым основанием эксплуатируемого сооружения / Я. А. Пронозин, М. А. Степанов, А. Н. Шуваев, Д. Н. Давлатов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 42–53.

5. Пронозин Я. А. Усиление свайных фундаментов путем переустройства их в комбинированный фундамент с опрессовкой и цементацией грунтового основания / Я. А. Пронозин, Р. В. Мельников, Н. Д. Корсун, Д. Н. Давлатов // Геотехника. – 2017. – № 4. – С. 36–44.

6. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* / Минрегион России. – М.: Стандартинформ, 2017. – 224 с.

7. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 130 с.

8. Рабиев К.Р. Обеспечение прочности зданий и сооружений на просадочных грунтах / К.Р. Рабиев // Политехнический вестник (серия Инженерные исследования) – №3(55),– Душанбе: Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, 2021. - 127 с. – С. 85-88, ISSN 2520-2227

9. Pronozin Y. A. Laboratory Investigation on Interaction of the Pile Foundation Strengthening System with the Rebuilt Solid Pile-Slab Foundation / Y. A. Pronozin, M. A. Stepanov, D. V. Rachkov, V. M. Chikishev, D. N. Davlatov // Civil Engineering Journal. – 2020. – Vol. 6. – No. 2. – P.258–264.

10. Ter-Martirosyan Z. G. Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds / Z. G. Ter-Martirosyan, Ya. A. Pronozin, M. A. Stepanov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2012. – Vol. 49, No. 4. – P. 119–123. – DOI: 10.1007/s11204-012-9178-4.

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

| TJ                                                                                      | RU                               | EN                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|
| Давлатов Далер Назуллоевич                                                              | Давлатов Далер Назуллоевич       | Davlatov Daler Nazulloevich                          |
| н.и.т.                                                                                  | к.т.н.                           | Candidate of technical sciences, associate professor |
| Донишкадаи энергетикии Тоҷикистон                                                       | Институт энергетикии Тоҷикистана | Institute of Energy of Tajikistan                    |
| Email: <a href="mailto:davlatov.daler.91@mail.ru">davlatov.daler.91@mail.ru</a>         |                                  |                                                      |
| TJ                                                                                      | RU                               | EN                                                   |
| Раҳматзода Комрон Раҳмат                                                                | Раҳматзода Комрон Раҳмат         | Rahmatzoda Komron Rahmat                             |
| н.и.т.                                                                                  | к.т.н.                           | Candidate of technical sciences                      |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ                                                         | ТТУ имени академика М.С. Осими   | TTU named after Academician M.S. Osimi               |
| Email: <a href="mailto:rabiev.1995@mail.ru">rabiev.1995@mail.ru</a>                     |                                  |                                                      |
| <a href="https://orcid.org/0000-0003-1091-8862">ORCID ID: 0000-0003-1091-8862</a>       |                                  |                                                      |
| TJ                                                                                      | RU                               | EN                                                   |
| Якубов Алиҷон Ойҳамадович                                                               | Якубов Алиҷон Ойҳамадович        | Yakubov Alijon Oyhamadovich                          |
| н.и.т.                                                                                  | к.т.н.                           | Candidate of technical sciences, associate professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ                                                         | ТТУ имени академика М.С. Осими   | TTU named after Academician M.S. Osimi               |
| TJ                                                                                      | RU                               | EN                                                   |
| Марзбоншоҳи Саидахмад                                                                   | Марзбоншоҳи Саидахмад            | Marzbonshohi Saidahmad                               |
| Унвонҷӯ                                                                                 | Соискатель                       | Postgraduate student                                 |
| Донишкадаи энергетикии Тоҷикистон                                                       | Институт энергетикии Тоҷикистана | Institute of Energy of Tajikistan                    |
| Email: <a href="mailto:davlatov.marbonsho.93@mail.ru">davlatov.marbonsho.93@mail.ru</a> |                                  |                                                      |

## СЕЛЬСКИЕ И ГОРНЫЕ ТЕРРИТОРИИ КАК ОСОБЫЙ ОБЪЕКТ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

(на примере Таджикистана и других стран)

Н.Н. Хасанов, Ш.И. Рахматуллозода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Формирование устойчивых и эффективных форм расселения в сельских и горных районах представляет собой одну из важнейших задач градостроительной науки и практики, особенно в условиях развивающихся стран, к числу которых относится и Таджикистан. Актуальность проблемы определяется не только необходимостью обеспечения пространственной устойчивости и доступности инфраструктуры, но и стремлением сохранить региональную идентичность.

**Ключевые слова:** градостроительство, расселение, сельские, горные, поселения, пространственная, доступность, инфраструктура.

## ДЕҶОТ ВА МИНТАҚАҶОИ КҶҲӢ ҲАМЧУН ОБЪЕКТИ МАҲСУСИ ТАҲЛИЛИ ШАҲРСОӢӢ (дар мисоли Тоҷикистон ва кишварҳои дигар)

Н.Н. Ҳасанов, Ш.И. Раҳматуллозода

Ташаккули шаклҳои устувор ва самараноки маскуншавӣ дар минтақаҳои деҳот ва кӯҳӣ яке аз вазифаҳои муҳими илми шаҳрсозӣ ва амалияи меъморӣ, баҳусус дар кишварҳои рӯ ба инкишоф ба монанди Тоҷикистон мебошад. Аҳамияти ин мушкилот на танҳо бо зарурати таъмини устувории фазой ва дастрасии инфрасохтор, балки бо талошу кӯшиши ҳифзи хувияти минтақаӣ низ муайян карда мешавад.

**Калидвожаҳо:** шаҳрсозӣ, ҷойгиршавии аҳоли, деҳот, ҳудудҳои кӯҳӣ, маҳалҳои аҳолинишин, фазо, дастрасӣ, инфрасохтор.

## RURAL AND MOUNTAIN TERRITORIES AS A SPECIAL OBJECT OF URBAN PLANNING ANALYSIS (on the Example of Tajikistan and Other Countries)

N.N. Khasanov, Sh.I. Rahmatullozoda

The formation of sustainable and efficient settlement patterns in rural and mountain areas is one of the key objectives of urban planning theory and practice, especially in developing countries, including the Republic of Tajikistan. The relevance of this issue is determined not only by the need to ensure spatial sustainability and infrastructure accessibility, but also by the need to preserve regional identity and adapt international models to local conditions.

**Keywords:** urban planning, settlement, rural, mountain, territories, spatial accessibility, infrastructure.

### Введение

Адаптации международных моделей территориального развития к местным условиям, а также преодолению вызовов, связанным с демографическими, социальными и природно-географическими особенностями территорий. Общепринятые формы расселения - это сельская и городская, но в данной статье применение горной формы расселения конкретизирует объект исследования Республики Таджикистан, где преобладание горных и предгорных территорий (более 90% площади страны, рис.1 а).

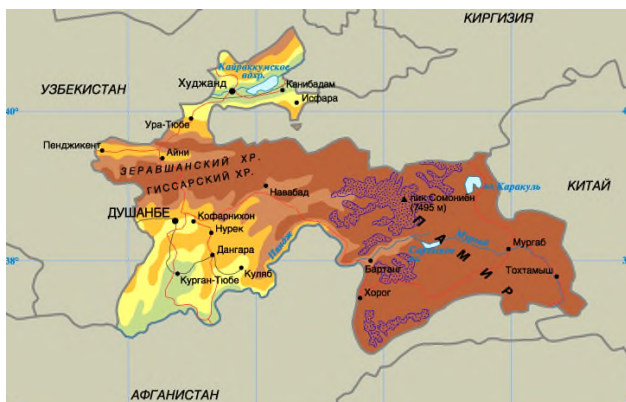


Рисунок 1 – а) карта Республики Таджикистан расположенная в предгорьях Памира. Столица — Душанбе. Площадь: 143,1 тыс. км<sup>2</sup>. б) сельское расселение горных районов Таджикистана

Современные градостроительные теории расселения основываются на принципах устойчивого развития, интеграции ландшафтных и социальных факторов, оптимизации территориальной организации населения и инфраструктуры. В условиях горных районов эти подходы требуют особой адаптации. Где плотность населения является главным показателем, отражающим размещение населения (таблица 1). Территория численности населения по регионам Республики Таджикистан на 2022г., территория и плотность населения, в том числе и города Душанбе.

Таблица 1- Аналитические и исследованные данные Агентства по статистике на 2022г. Сравнительный анализ составлен авторами

| Страна, области, город, РРП. | Территория тыс. км <sup>2</sup> | в % к общей площади | Численность постоянного населения, тыс. человек | в % к общему населению | Плотность населения чел. на 1 км <sup>2</sup> |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|
| РТ                           | 141400                          | 100.0               | 10000                                           | 100.0                  | 70ч./км <sup>2</sup>                          |
| ГБАО                         | 64100                           | 44,5                | 230.0                                           | 2.5                    | 4 ч./км <sup>2</sup>                          |
| Согдийская обл.              | 25200                           | 17.8                | 2658,0                                          | 29.2                   | 106ч./км <sup>2</sup>                         |
| Хатлонская обл.              | 24700                           | 17.5                | 3275,0                                          | 35.8                   | 133ч./км <sup>2</sup>                         |
| г. Душанбе                   | 127                             | 0.1                 | 1201.692                                        | 9.3                    | 9443ч./км <sup>2</sup>                        |
| РРП                          | 28500                           | 20.1                | 2120,2                                          | 23,2                   | 74ч./км <sup>2</sup>                          |

### Методы и результаты исследования

В условиях Таджикистана, как горного региона, следует больше считаться с вертикальными природно - климатическими изменениями [7]. Сочетание высоких горных хребтов и низменностей определило необычайную контрастность и вертикальную горную природно - климатическую зональность. Это своеобразие вертикального изменения климата и орографии сельских и горных территорий обуславливает особое районирование планировочной структуры. Исходя из особенностей расселения республики выделяются несколько зон, каждая из которых имеет свой тип расселения, характеризующийся неодинаковой плотностью населения, различной формой функционально - планировочной организации населенных мест. Сельские поселения располагаются в предгорных зонах, выступая переходным звеном между равнинными и высокогорными районами.

В системе расселения Таджикистана сельские территории характеризуются высокой долей населения, аграрным сектором экономики и устойчивыми традиционными формами пространственной организации. Исследование территорий районов показывает, что крупные кишлаки расположены в нижней части долин, а по мере подъема долины становятся меньше населенных пунктов, густота поселений и их людность, - где и плотность населения колеблется в пределах от 50-100 чел./кв.км.

Как правило планировочная структура сельских поселений зависит от природо-климатических условий, разряженной структуры улично-дорожной сети, скученности приусадебной застройки, где функциональные процессы объединены в единую систему. Развитие сельских территорий имеет ряд противоречивых направлений. С одной стороны, укрупнение плотности застройки с соответствующими элементами городской инфраструктуры, с другой, нарушается инженерная инфраструктура, ограниченная доступность транспортных и социальных услуг населённых пунктов. Такие условия требуют новых решений к планированию сельских поселений с комплексными моделями и пространственного развития.

### Обсуждение

Зарубежный опыт, в том числе исследования в странах с аналогичным рельефом — Непале, Перу, Афганистане — показывает, что успешные модели расселения в горных условиях строятся на принципах кластерной компактности, доступности базовой инфраструктуры, а также устойчивой связи между поселениями разного уровня [1-2]. Жители Непала называют страну («вертикальной» страной («Nepal is a vertical country») – несмотря на небольшие размеры страны (в среднем, длина

около 1000км, ширина – 150км), высота над уровнем моря здесь колеблется от 70 до 8850 м, причем более 85% площади страны занимают хребты Гималайской горной системы, и это первая в мире страна по количеству самых высоких гор-восьмитысячников (рис. 2 - 3), [9].



Рисунок 2- а) географическое положение государства Южной Азии центральной части Гималаев Непал столица Катманду, б) страна самых высоких гор-восьмитысячников [9]

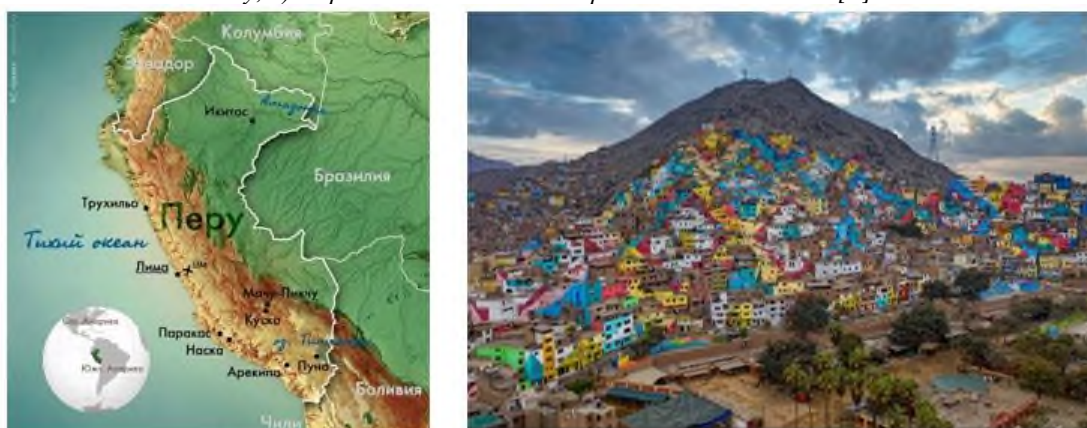


Рисунок 3- а) географическая положение Республики Перу, государство Южной Америки, б) Лима Перу, архивное фото, © iStock.com / Jan-Schneckenhaus [9]

Одним из современных направлений в теории расселения выступает концепция полицентризма, в урбанистике - это вместо одного центра образуется несколько узлов. Она предполагает развитие сети взаимосвязанных центров (опорных пунктов роста) в пределах региона, каждый из которых выполняет свою функциональную роль. Применительно к горным районам Таджикистана, такая модель может обеспечить сбалансированное развитие труднодоступных территорий, снизить миграционную напряжённость и повышение доступности социальных услуг. Полицентрическая структура позволяет интегрировать как исторически сложившиеся поселения, так и новые точки роста в единую систему, основанную на устойчивой логистике и транспортной доступности [3, 4].

Серьёзное внимание в современных теориях уделяется также понятию «адаптивного расселения», когда формы застройки и инфраструктурные решения проектируются с учётом изменчивости климата, угроз селей, оползней и других природных рисков. Особенно это актуально для высокогорных регионов ГБАО и центральной части страны. Адаптивные принципы включают использование террасных схем освоения склонов, сейсмостойких конструктивных решений, распределённой инфраструктуры и автономных источников водоснабжения и энергии [5-6].

В отечественной научной традиции вопросы формирования расселения и территориальной организации населённых пунктов учитывается пространственная и экологическая специфика региона при разработке моделей расселения, особенно в части планировки селитебных зон и организации социальной инфраструктуры [7]. На примере локального планирования выделяются ключевые градоформирующие факторы: топографические ограничения, климат, транспортная связанность, водные ресурсы и исторически сложившаяся структура землепользования.

Сложившиеся формы расселения в сельских и горных районах Таджикистана, как показывает анализ, обладают многослойной структурой: от традиционных кишлачных систем с выраженной общинной самоорганизацией до более современных центров, развивавшихся в

советский период. В последние десятилетия в условиях рыночной экономики и активной трудовой миграции наблюдаются новые тенденции, в частности фрагментация населённых пунктов, концентрация населения в опорных центрах, а также появление неформальной застройки, особенно в пригородах крупных городов и в предгорьях [8].

Таким образом, современное формирование систем расселения в горных и сельских районах требует комплексного подхода, сочетающего международные теории устойчивого развития с локальной спецификой. Исследования позволяют адаптировать общие принципы к реалиям в контексте географических и социальных условий республики, учитывая как физико-географические, так и культурно-исторические предпосылки. Это создаёт основу для выработки новых градостроительных моделей, способных обеспечить равномерное и идентичное развитие территории, что особенно важно в условиях модернизации региональной инфраструктуры.

## Заключение

Сельские и горные территории Республики Таджикистан представляют собой разные типы расселения: сложно организованную, взаимосвязанную пространственную систему, образованную под влиянием природно-географических, историко-культурных и социально-экономических факторов. Взаимодействие долинных сельских поселений и высокогорных районов не могут рассматриваться изолированно, которые определяют характер расселения, миграционные потоки, занятость населения и доступность инфраструктуры.

*Рецензент: Джураҳонзода С.Ш. - кандидат архитектуры. Ректор Государственного искусства и дизайна Таджикистана*

## Литература

1. Мецгер Д. Градостроительство в условиях высокогорья: стратегии и модели. — Берн: ETH Zürich, 2018.
2. Sharma A., Banskota K. Mountain Urbanization: Challenges and Opportunities. — Kathmandu: ICIMOD, 2021.
3. Халилов И.И. Основы полицентрического расселения в горных регионах. — М.: Архитектура-С, 2019.
4. Saiedov A.M. Planning Issues in Mountainous Regions of Central Asia// Urban Science Journal-2020. - №2.- 45-53.
5. UN-Habitat. Planning for Climate Resilient Mountain Settlements. — Nairobi, 2022.
6. Хамидов Ф.У. Адаптивные формы сельской застройки в условиях сейсмической опасности. — Душанбе: Ирфон, 2016.
7. Акбаров А.А. Формирование поселков АПК в условиях горного региона. Душанбе: «Ирфон», 1988.
8. Рахматуллоева Ш.И. Градостроительное развитие горных и предгорных территорий Таджикистана: планировочные принципы и региональные особенности. — Душанбе: Ирфон, 2012.
9. Jan-Schneckenhaus. Изображение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: iStock.com. – Дата обращения: 21.02.2026.

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

| RU                                                                    | TJ                                                        | EN                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Хасанов Нозимшо Назокатшоевич                                         | Хасанов Нозимшо Назокатшоевич                             | Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich                              |
| Доктор архитектуры, профессор                                         | Доктори меъморӣ, профессор                                | Doctor of architecture, professor                              |
| Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими             | Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi. |
| E- mail: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>       |                                                           |                                                                |
| RU                                                                    | TJ                                                        | EN                                                             |
| Рахматуллозода Шахноз Ибодулло                                        | Раҳматуллозода Шахноз Ибодулло                            | Rahmatullozoda Shahnoz Ibodullo                                |
| Кандидат архитектуры, и.о. доцента                                    | Номзади меъморӣ, и.в. дотсент                             | Candidate of architecture, associate professor                 |
| Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими             | Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ | Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi  |
| E- mail: <a href="mailto:Sh.rahm75@gmail.com">Sh.rahm75@gmail.com</a> |                                                           |                                                                |

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И УСТОЙЧИВЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ПАССИВНОГО ДОМА

Ш.З. Усмонов

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими в г. Худжанде

В данной работе рассматриваются подходы к энергоэффективному и устойчивому проектированию жилых зданий в условиях различных климатических зон Таджикистана на основе концепции пассивного дома. Приводится анализ климатических особенностей страны и их влияние на требования к теплозащите зданий. Описаны архитектурно-конструктивные решения пассивного дома: усиленная теплоизоляция ограждающих конструкций, устранение тепловых мостов, оптимальная ориентация и компактная форма здания, применение энергосберегающих окон и систем солнечного затенения. Рассмотрены инженерные системы пассивного дома – сбалансированная вентиляция с рекуперацией тепла, использование альтернативных источников энергии– и их адаптация к местным условиям. Особое внимание уделено возможности применения местных строительных материалов для снижения углеродного следа и повышения устойчивости строительства. Проведен технико-экономический сравнительный анализ пассивных домов и традиционных зданий: показано, что пассивные дома способны снизить потребление энергии на отопление до 70–90 % при умеренном увеличении начальных затрат. Приводятся примеры реализованных проектов энергоэффективного жилья в Таджикистане и соседних странах Центральной Азии. Результаты исследования демонстрируют, что концепция пассивного дома, адаптированная к экстремальным климатическим условиям Таджикистана, позволяет значительно повысить энергоэффективность и устойчивость жилищного строительства, обеспечивая комфортный микроклимат при минимальном потреблении энергии.

**Ключевые слова:** пассивный дом, энергоэффективность, устойчивое строительство, жилые здания, теплозащита, вентиляция с рекуперацией, Таджикистан.

## ЛОИҲАКАШИИ БИНОҲОИ ИСТИҚОМАТИИ ЭНЕРГИЯСАМАРАНOK ВА УСТУВОР ДАР ТОҶИКИСТОН БО ИСТИФОДАИ ПРИНЦИПҲОИ БИНОҲОИ ҒАЙРИҒАЪОЛ

Ш.З. Усмонов

Дар кори мазкур равишҳои тарҳрезии энергиясамаранок ва устувори биноҳои истиқоматӣ дар шароити минтақаҳои гуногуни иқлимии Тоҷикистон бар асоси консепсияи бинои ғайриғаъол мавриди баррасӣ қарор мегирад. Таҳлили хусусиятҳои иқлимии кишвар ва таъсири онҳо ба талаботи ҳифзи гармӣ дар бино оварда мешавад. Ҳалҳои мӯсоӣ ва конструктиви бинои ғайриғаъол аз ҷумла: пурқувват намудани гармимаҳдудкуни конструкцияҳои ихотаӣ, бартарарфозии “пулҳои гармигузар”, самтгирии оптималӣ ва шакли ихчамии бино истифодаи тирезаҳои каммасраф ва системаҳои сояфкории офтобӣ тавсиф ёфтаанд. Системаҳои муҳандисии бинои ғайриғаъол — ҳавовазкунии мутавозин бо рекуператсияи гармӣ, истифодаи манбаъҳои алтернативии энергия — ва мутобиқшавии онҳо ба шароити маҳаллӣ низ мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Ба масъалаи истифодаи масолеҳҳои сохтмони маҳаллӣ барои коҳиш додани изи карбон ва баланд бардоштани устувори сохтмон таваҷҷуҳи махсус дода шудааст. Таҳлили муқоисавии техникаи иқтисодии байни биноҳои ғайриғаъол ва анъанавӣ нишон медиҳад, ки бинои ғайриғаъол метавонанд истеъмоли энергияро барои гармидиҳӣ то 70–90 % коҳиш диҳанд, дар ҳоле ки хароҷоти аввалия танҳо ба таври мӯътадил афзоиш меёбад. Намунаҳои лоиҳаҳои амалишуда дар самти сохтмони энергиясамаранокӣ дар Тоҷикистон ва кишварҳои ҳамсояи Осиёи Марказӣ оварда шудаанд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки консепсияи бинои ғайриғаъол, ки ба шароити иқлимии экстремалии Тоҷикистон мутобиқ карда шудааст, имкон медиҳад самаранокии энергия ва устувори сохтмони манзил ба таври назаррас баланд бардошта шуда, микроиқлими мусоид бо истеъмоли ҳадди ақали энергия таъмин карда шавад.

**Калимаҳои калидӣ:** бинои ғайриғаъол, энергиясамаранок, сохтмони устувор, биноҳои истиқоматӣ, муҳофизати гармӣ, вентилятсия бо барқароркунии гармӣ, Тоҷикистон.

## DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT AND SUSTAINABLE RESIDENTIAL BUILDINGS IN TAJIKISTAN USING PASSIVE HOUSE PRINCIPLES

Sh.Z. Usmonov

This study examines approaches to energy-efficient and sustainable design of residential buildings in various climatic zones of Tajikistan based on the Passive House concept. The analysis of the country’s climatic characteristics and their impact on thermal protection requirements for buildings is presented. Architectural and structural solutions of a Passive House are described, including enhanced insulation of building envelopes, elimination of thermal bridges, optimal orientation and compact form of the building, as well as the use of energy-efficient windows and solar-shading systems. Engineering systems of a Passive House — balanced ventilation with heat recovery and the use of alternative energy sources — and their adaptation to local conditions are also explored. Special attention is given to the use of local construction materials to reduce the carbon footprint and improve the sustainability of building practices. A techno-economic comparative analysis between Passive Houses and conventional buildings

shows that Passive Houses can reduce heating energy consumption by 70–90 %, while requiring only a moderate increase in initial investment. Examples of implemented energy-efficient housing projects in Tajikistan and neighboring Central Asian countries are provided. The results of the study demonstrate that the Passive House concept, when adapted to the extreme climatic conditions of Tajikistan, can significantly improve the energy efficiency and sustainability of residential construction, ensuring a comfortable indoor environment with minimal energy consumption.

**Keywords:** *passive house, energy efficiency, sustainable construction, residential buildings, thermal protection, heat-recovery ventilation, Tajikistan*

## Введение

Таджикистан характеризуется резкой контрастностью климатических условий между регионами. Низменности юго-запада и севера страны (Хатлонская и Согдийская области) имеют жаркое продолжительное лето со средней температурой июля около +30 °С (абсолютный максимум достигает +43...+48 °С), при почти полном отсутствии осадков в летние месяцы (летняя засуха) [1]. Зима в этих районах короткая и относительно мягкая: средние температуры января составляют около -2...+2 °С [1]. Напротив, высокогорные районы Памира отличаются экстремально континентальным климатом: очень суровая долгая зима и очень короткое прохладное лето [1]. Например, в Мургабе (Восточный Памир, ~3600 м н.у.м.) средняя температура января около -17,6 °С, а абсолютный минимум достигал -63 °С (на оз. Булункуль) [1]. Осадков на Восточном Памире выпадает крайне мало (около 70 мм в год), снежный покров неустойчив и часто отсутствует [1]. Таким образом, климатические условия Таджикистана варьируются от сухого субтропического в долинах до сурового высокогорного на Памире, что предъявляет разные требования к проектированию жилых домов.

Экстремальные климатические факторы обуславливают высокие затраты энергии на обеспечение комфортного микроклимата в зданиях. В северных районах (например, Согдийская область) зимой наблюдаются значительные морозы, а летом – сильная жара и сухость, что создает повышенную нагрузку на системы отопления и охлаждения зданий [2]. Одновременно Республика Таджикистан испытывает недостаток доступных энергоресурсов, особенно в зимний период, когда в ряде регионов ощущается дефицит электрической энергии и тепла [2]. По оценкам, зимой домохозяйства Таджикистана тратят до 20–25 % своего месячного бюджета на энергообеспечение жилища [3]. В сельских районах многие вынуждены использовать дрова и другие твёрдые виды топлива, что ведет к вырубке лесов, ухудшению экологии, а также создает трудовую нагрузку (сбор топлива) и проблемы здоровья из-за задымления жилищ [3]. Таким образом, повышение энергоэффективности жилых зданий является насущной задачей для Таджикистана – это важно как с социально-экономической точки зрения (снижение расходов населения, повышение комфорта), так и с экологической (сокращение выбросов и сохранение природных ресурсов).

Одним из наиболее перспективных подходов к решению этой задачи является концепция пассивного дома. Пассивный дом – это стандарт проектирования зданий, при котором достигается сверхнизкое энергопотребление без ущерба для комфорта за счет применения пассивных мер энергосбережения и высокоэффективных технологий [6]. В таком доме архитектурными и инженерными средствами сводятся к минимуму теплопотери и потребность в отоплении: здание тщательно утепляется, делается герметичным, эффективно использует солнечную энергию и внутренние тепловыделения, а система вентиляции с рекуперацией тепла возвращает большую часть тепла уходящего воздуха [6]. Жилое здание, спроектированное по этому стандарту, отличается чрезвычайно низким удельным энергопотреблением. Для отопления пассивного дома требуется не более ~15 кВт·ч энергии на 1 м<sup>2</sup> в год, тогда как в обычном доме этот показатель в несколько раз выше [4]. Иными словами, пассивный дом потребляет на отопление до 90 % меньше энергии, чем типичные здания старых конструкций [4]. Такой радикальный прирост энергоэффективности способен существенно сократить эксплуатационные расходы и повысить энергетическую независимость жилища.

## Материалы и методы исследования

Применен метод сравнительного аналитического обзора: собран и проанализирован опыт проектирования пассивных домов и энергоэффективных зданий в условиях континентального и

горного климата, в том числе в Центральной Азии. Проведен сравнительный анализ теплотехнических расчетов для пассивного дома и для типового традиционного здания аналогичной площади в климатических условиях Таджикистана. Расчеты выполнены с опорой на критерии стандарта Passivhaus: удельная тепловая нагрузка на отопление  $\leq 15$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год, суммарное первичное энергопотребление  $\leq 120$  кВт·ч/м<sup>2</sup>·год [6]. Эти показатели приняты целевыми ориентирами энергоэффективности при моделировании. Анализировались тепловые потери через ограждающие конструкции (стены, крышу, пол, окна) при различных уровнях утепления, а также тепловые приобретения от солнечной инсоляции и внутренних источников, с учетом разных климатических зон – условно: а) тёплая сухая низменность (юго-запад, Хатлон), б) умеренно-холодная долина (север, Согд), в) холодные высокогорья (Горно-Бадахшан, Памир). Кроме того, рассмотрены характеристики и КПД инженерных систем: эффективность рекуперации тепла вентиляционных установок, производительность солнечных гелиоколлекторов и фотоэлектрических модулей, коэффициент преобразования тепловых насосов и др. Для оценки экономической эффективности сравнивались ориентировочные капитальные затраты на строительство пассивного дома (с учетом стоимости дополнительной теплоизоляции, специальных окон, вентиляционного оборудования) и традиционного дома, а также рассчитывалась потенциальная экономия энергии в денежном выражении. В анализе учтены данные о том, что строительство пассивных домов в среднем на ~10 % дороже обычного [7]. Эта разница сопоставлялась с ежегодной экономией на отоплении, чтобы оценить сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий.

Исследование носит комплексный характер и сочетает количественные расчеты (теплотехнические и экономические) с качественным обзором лучших практик.

### Результаты исследования

Анализ климатических данных подтверждает, что различные регионы Таджикистана требуют дифференцированного подхода к проектированию жилых зданий. В жарких низменных районах (до 500–1000 м над ур. моря, например, долины реки Вахш в Хатлоне, предгорья на севере Согда) ключевой проблемой является перегрев летом. Здесь летний период очень продолжительный и засушливый: максимальные температуры воздуха могут достигать +45 °С и выше, осадки летом практически отсутствуют [1]. Зимой же в этих районах относительно мягко (около 0 °С в среднем), хотя возможны кратковременные вторжения арктического воздуха с понижением температуры ниже -10 °С [1]. Таким образом, в тёплой климатической зоне основными задачами являются защита здания от избыточной солнечной радиации летом (пассивное охлаждение) и умеренная теплозащита для сокращения теплопотерь в короткий зимний период. Требуется предотвращать перегрев за счёт архитектурных решений (ориентация, солнцезащита) и обеспечить достаточную, хотя и не экстремальную, изоляцию на случай холодных ночей зимой.

В умеренно холодных предгорных и горных районах (например, районы на высотах 1000–2000 м, в том числе многие населенные пункты Согдийской области) климат более прохладный: лето не столь жаркое, зато зимой устойчивые морозы. По данным наблюдений, города северного Таджикистана отличаются сочетанием низких зимних температур (средняя температура января порядка -5...-10 °С, в холодные ночи может опускаться ниже -20 °С) и довольно жаркого, сухого лета (температура июля часто превышает +30 °С в дневные часы) [2]. Для таких условий здание должно обладать универсальной климатической адаптацией: очень высокой теплоизоляцией – чтобы пережить морозные зимы с минимальным отоплением, – и одновременно иметь средства предотвращения перегрева летом (затенения, вентиляции и теплоаккумулирования). Именно в этих регионах (например, г. Худжанд и прилегающие территории) особенно остро ощущается необходимость энергосбережения, так как нагрузка на системы отопления зимой и на кондиционирование летом чрезвычайно высока [2]. Наш анализ показал, что для северных районов республики критично обеспечить коэффициент теплопередачи наружных стен не хуже, чем  $U \approx 0,2$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), что требует толстой теплоизоляции ( $\approx 15$ –20 см современного утеплителя) либо эквивалентной многослойной конструкции стен. В существующих же зданиях этой зоны теплотехнические характеристики значительно хуже: ограждения старых пятиэтажек имеют приведенное сопротивление теплопередаче в 2–3 раза ниже современных норм [2], из-за чего

здания теряют много тепла зимой и перегреваются летом. Следовательно, повышение теплозащиты – первоочередная задача при реконструкции и проектировании жилья в таком климате.

В экстремально холодной высокогорной зоне (Памир, высоты 2500–4000 м и выше, например, Горно-Бадахшанская автономная область) требования к зданию наиболее жесткие. Здесь большую часть года преобладают отрицательные температуры: зимы длительные, многомесячные, с температурами ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в высокогорьях часто  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже), летом же прохладно (в июле около  $+10\dots+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [1]. Отопительный сезон очень продолжительный (до 9–10 месяцев в году), и без качественной теплоизоляции обеспечить комфорт практически невозможно. Расчеты показывают, что для Памира необходимо стремиться к стандартам пассивного дома в наибольшей степени – теплопотери должны быть сведены к минимально возможным. Желательно довести сопротивление теплопередаче стен и крыши до  $R\approx 8\text{--}10\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$ , что эквивалентно слою утеплителя толщиной 30–40 см (например, минеральной ваты) либо применять традиционные материалы (кирпич, глина) в сочетании с эффективной теплоизоляцией. Наш анализ подтвердил, что правильно спроектированный пассивный дом в условиях Памира способен поддерживать внутренние  $+18\dots20\text{ }^{\circ}\text{C}$  при наружных  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже, используя лишь минимальный подогрев воздуха в системе вентиляции. Таким образом, даже в экстремальном климате пассивный подход позволяет обеспечить комфорт, хотя в наиболее холодные периоды, вероятно, потребуется резервный источник тепла.

Для достижения стандартов пассивного дома в условиях Таджикистана необходимо существенно улучшить теплозащитные свойства ограждающих конструкций и применить специальные архитектурные приемы. Ключевые конструктивные решения включают:

1. Высокоэффективная теплоизоляция всех наружных ограждений. Стены, крыша и пол должны иметь слой утеплителя достаточной толщины, чтобы снизить теплопотери до минимальных уровней. В практике пассивных домов сопротивление теплопередаче ограждений достигает  $6\text{--}10\text{ (м}^2\cdot^{\circ}\text{C)/Вт}$ , что требует применения 200–300 мм современных теплоизоляционных материалов (минваты, пенополиуретана, эковаты и т.п.) [5]. В условиях Таджикистана целесообразно использовать комбинированные конструкции: например, несущие стены из местного материала (кирпича, камня, самана) с наружным слоем теплоизоляции. Такой подход позволяет сохранять традиционные конструкции (важно для сейсмостойкости и инерционности строения) и одновременно довести их теплозащитные характеристики до необходимых значений. Устранение “мостиков холода” – обязательное требование: все стыки, углы, перемычки должны быть спроектированы так, чтобы через них не происходило локальных утечек тепла [5]. Для этого применяются специальные узлы крепления балконов, оконных рам в слой утепления, терморазрывы в местах контакта железобетонных элементов и др.

2. Энергосберегающие окна и остекление. Окна – один из самых уязвимых с точки зрения теплопотерь элементов здания. В пассивном доме используются окна с тройным остеклением и заполнением инертным газом, с низкоэмиссионными покрытиями, что позволяет снизить коэффициент теплопередачи окна до  $U\approx 0,7\text{--}1,0\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  против  $2,5\text{--}3,0\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$  у стандартных окон [5]. В сочетании с теплоизолированными рамами и качественным монтажом (без щелей и мостиков холода) такие окна значительно сокращают теплопотери через светопрозрачные конструкции. Кроме того, важно правильно распределить площадь остекления по фасадам: оптимально, когда большая часть окон ориентирована на юг для максимального получения солнечного тепла зимой, тогда как на северной стороне окон должно быть минимум [5]. Наше моделирование подтвердило, что при ориентации основного остекления на юг годовой баланс тепла улучшается: зимой до 20–30 % потребности в отоплении может покрываться солнечными теплопоступлениями, тогда как избыточного перегрева летом удастся избежать при наличии навесов или жалюзи (см. ниже про солнцезащиту).

3. Компактная форма и продуманная планировка здания. Чем более компактно здание (минимальное отношение площади ограждений к отапливаемому объему), тем ниже удельные потери тепла. Пассивный дом обычно имеет простую форму (близкую к кубу), без выступающих эркеров и бесполезных с точки зрения теплотехники элементов [5]. Внутренняя планировка зонирована так, чтобы помещения, требовательные к теплу (гостиная, детская), были

сгруппированы и ориентированы в сторону солнца, а буферные зоны (кладовые, коридоры) – к северным и холодным стенам [5]. Такой подход уменьшает нагрузку на отопление и создает градиент температур, комфортный для жильцов. В условиях Таджикистана, где нередко в одном доме проживают многопоколенческие семьи, планировочные решения могут также включать изолированные блоки для разных поколений – важно, чтобы при этом не усложнялась тепловая схема здания и сохранялась общая компактность формы [2].

4. Пассивная солнечная архитектура. Проектируя пассивный дом, архитекторы активно учитывают движение солнца по сезону. В Таджикистане зимой солнечные лучи падают под низким углом, и их нужно "ловить": поэтому хорошо работают большие окна на южном фасаде, солнечные помещения (например, веранда или зимний сад) с южной стороны, которые могут служить тепловыми буферами [5]. Летом же солнце стоит высоко – здесь на помощь приходят козырьки и навесы над окнами, которые затевают остекление от прямых лучей в полуденные часы [5]. Правильно рассчитанный навес может закрывать окно от палящего летнего солнца, но пропускать низкое зимнее солнце. Дополнительно используются солнцезащитные устройства: жалюзи, ставни, отражающие экраны. Они особенно актуальны для юго-западных окон, через которые в послеобеденное время летом поступает избыточное тепло. Наши расчеты показали, что применение навесов и внешних жалюзи на солнечных окнах может снизить внутреннюю температуру летом на 3–5 °С и практически устранить необходимость кондиционирования, сохраняя при этом зимние теплопоступления.

5. Теплоаккумулирующие элементы. В суточном цикле климат Таджикистана (особенно в горах) характеризуется большими колебаниями температуры: очень теплый день – холодная ночь. Поэтому важно, чтобы дом обладал определенной тепловой инерцией. Для этого в конструкции пассивного дома предусматриваются материалы с большой теплоемкостью (например, толстая внутренняя стена из кирпича или камня, бетонный пол с хорошей тепловой связью с помещением). Эти массы днем накапливают избыточное тепло, а ночью отдают его, сглаживая перепады. В традиционных домах региона подобную роль часто играла глинобитная печь или толстые глиняные стены. В современном пассивном доме можно сочетать старые принципы с новыми технологиями: например, керамические утепленные панели для стен, которые объединяют теплоизоляционный слой и тяжелую внутреннюю часть, или фазопереходные материалы (парафиновые вставки в конструкции), аккумулирующие тепло при плавлении. Эти решения позволяют поддерживать более стабильную внутреннюю температуру и комфорт.

Таким образом, архитектурно-конструктивная концепция пассивного дома для Таджикистана сводится к максимальному снижению теплопотерь и перегревов за счет конструкций здания. Наши расчеты подтверждают, что реализация перечисленных мер способна уменьшить теплопотери жилья радикально. Например, суммарные утечки тепла через стены, крышу, пол и окна в модернизированном пассивном доме расчетно составят порядка 10–15 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год, тогда как для типичного существующего дома в тех же условиях этот показатель составляет 100–130 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год [4]. Иными словами, правильно утеплив и спроектировав здание, можно ~в 8–10 раз сократить потребность в отоплении [4]. В цифрах для среднего жилого дома (~100 м<sup>2</sup> отапливаемой площади) это означает снижение годового расхода дров или угля с ~5–6 тонн в эквиваленте до менее 1 тонны, либо экономию электроэнергии на отопление с ~20 тыс. кВт·ч до ~2 тыс. кВт·ч в год. Такой эффект чрезвычайно значим для регионов с дефицитом энергоносителей.

Отдельно следует упомянуть вопрос влаго- и пароизоляции утепленных конструкций. В условиях большого диапазона температур и влажности важно избежать накопления влаги в стенах. Проектируя многослойные стены пассивного дома, предусматривают пароизоляционный слой со стороны внутреннего теплого помещения, а наружные отделочные материалы выбирают паропроницаемыми, чтобы влага могла выходить. Это предотвращает сырость, развитие грибка и снижение эффективности утеплителя. Также при утеплении существующих домов из кирпича или глины важно учитывать, что материалы должны быть совместимы – например, нельзя снаружи покрывать глиняную стену абсолютно паронепроницаемой пленкой, иначе стена "запрет" влагу. Современные системы утепления (например, штукатурные фасады по минераловатным плитам) при правильном исполнении решают эту проблему, обеспечивая дыхание конструкции.

Одной лишь пассивной теплозащиты недостаточно для полного соответствия концепции пассивного дома – необходима также современная инженерная начинка, позволяющая эффективно обеспечивать здание свежим воздухом, теплом и прохладой при минимальных энергозатратах. Основными системами, применяемыми в пассивном доме, являются: приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла, высокоэффективные устройства отопления/охлаждения (при необходимости) и интеграция возобновляемых источников энергии.

Вентиляция с рекуперацией тепла. Поскольку пассивный дом отличается высокой герметичностью, естественная инфильтрация воздуха через щели сведена к нулю. Для обеспечения санитарных норм необходима принудительная вентиляция. В пассивных зданиях применяется система приточно-вытяжной вентиляции с установкой рекуперации – это сердце инженерных решений пассивного дома. Рекуператор представляет собой теплообменник, в котором тёплый вытяжной воздух из помещений передает большую часть своего тепла свежему приточному воздуху с улицы [6]. Благодаря этому до 80–90 % тепловой энергии, которая обычно выбрасывалась бы наружу при проветривании, возвращается обратно в дом [6]. Наш расчетный пример: при температуре на улице  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  внутри, обычная вентиляция  $100\text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха потребовала бы  $\sim 1,2\text{ кВт}$  тепла на подогрев притока. С рекуператором (КПД  $\sim 85\%$ ) фактические потери на вентиляцию составят лишь  $\sim 0,18\text{ кВт}$ , то есть в 6–7 раз меньше. В летний период та же установка может работать в обход теплообменника (ночной проветриватель) либо даже использоваться для рекуперации холода при наличии кондиционирования. В условиях жаркого климата юга Таджикистана это тоже актуально: холодный воздух кондиционера будет передавать прохладу приточному потоку, экономя электроэнергию.

Таким образом, приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией – обязательный элемент пассивного дома, гарантирующий постоянный приток свежего воздуха без теплотерь и сквозняков [6]. Это отличает пассивный дом и от традиционных строений (где либо душно при заклеенных окнах, либо тепло уходит через форточки), и от простых энергосберегающих домов без рекуперации.

Отопление и охлаждение. Идеология пассивного дома предполагает минимизацию или полное исключение классических систем отопления (радиаторов, печей). В оптимальном случае тепло поступает пассивно – от солнца и бытовых источников, а также возвращается рекуператором. Однако в реальных условиях дополнительные источники тепла все же требуются, особенно в самые холодные зимние дни или в высокогорном климате. Пассивный дом предпочитает возобновляемые и высокоэффективные системы для этих целей. Вместо традиционного угольного котла или электрообогревателей устанавливаются, к примеру, тепловые насосы – устройства, которые перекачивают тепло из внешней среды (воздуха, грунта) внутрь дома с коэффициентом преобразования 3–5 и выше. То есть, затратив  $1\text{ кВт}$  электроэнергии, тепловой насос может дать 3–5 кВт тепла для отопления. Это особенно выгодно в странах, где электроэнергия ценна – КПД по первичной энергии выходит гораздо выше, чем у прямых электронагревателей. В Таджикистане перспективно использование грунтовых тепловых насосов (геотермальных): даже на Памире на глубине 5–10 м температура грунта существенно выше зимних температур воздуха, и тепловой насос сможет эффективно извлекать это тепло. Альтернативой могут служить совмещенные системы отопления/вентиляции: например, в приточную вентиляцию встраивается небольшой электрический нагреватель или калорифер, который подогревает приточный воздух на несколько градусов в самые холодные часы. Благодаря малым теплотерям пассивного дома, мощности такого подогревателя (порядка  $1\text{--}2\text{ кВт}$  на дом) достаточно, чтобы поддерживать комфорт, и он включается лишь эпизодически. Таким образом, вместо радиаторов в каждой комнате – один компактный нагреватель на притоке, работающий по мере необходимости.

Что касается охлаждения летом, в правильно спроектированном пассивном доме активное кондиционирование может не понадобиться: комбинация теневого устройств, ночной вентиляции и теплоинерционных конструкций должна обеспечивать приемлемые температуры. Однако в наиболее жаркие периоды (особенно в южном Таджикистане, где в июле-августе  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в тени) может потребоваться и активное охлаждение. Здесь вновь на помощь приходят тепловые насосы, только работающие в режиме холода, либо компактные высокоэффективные кондиционеры-инверторы. Потребная холодопроизводительность сильно снижается благодаря теплоизоляции и

тому же рекуператору (который летом не выпускает жару), поэтому даже небольшой кондиционер способен охладить весь дом. Некоторые модели тепловых насосов позволяют организовать пассивное охлаждение: циркулируя холодный теплоноситель из грунтового контура напрямую через фанкойлы, можно охлаждать дом с минимальными энергозатратами (тратится лишь энергия насосов). Такие решения уже применяются, например, в горных энергоэффективных домах в соседнем Казахстане и показывают хорошие результаты.

Альтернативные источники энергии. В концепции пассивного дома приветствуется максимальная автономность и использование возобновляемой энергии. Кровля и фасады здания могут служить площадками для размещения солнечных коллекторов (для нагрева воды) и солнечных батарей (для выработки электроэнергии). Таджикистан обладает очень высоким солнечным потенциалом – число солнечных дней в году велико, особенно в южных районах и на Памире. Поэтому установка даже относительно простых гелиоколлекторов для горячего водоснабжения крайне эффективна: летом они могут практически полностью покрыть потребности семьи в горячей воде, а в переходные месяцы – существенно подогревать воду, экономя топливо. В пассивном доме возможно интегрировать солнечные коллекторы в систему отопления: например, нагревать теплоаккумуляционный бак днем, а ночью через теплообменник отдавать тепло в систему приточной вентиляции или в теплый пол. Также актуальна установка фотоэлектрических панелей (PV). Рассчитанная нами потенциальная выработка с 1 кВт пиковой мощности солнечных панелей в условиях Душанбе – около 1500 кВт·ч в год. Это значит, что массив панелей на крыше площадью ~20 м<sup>2</sup> (мощность ~3 кВт) способен генерировать ~4500 кВт·ч ежегодно, что покрывает значительную часть бытового электропотребления пассивного дома. Современные демонстрационные проекты уже достигли уровня, когда дом производит столько же энергии, сколько потребляет за год. В частности, в Узбекистане в 2022 году построен первый экспериментальный дом с практически нулевым энергопотреблением: на крыше установлены солнечные батареи, вырабатывающие около 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год – этого достаточно для обеспечения всех потребностей дома в электричестве, причем избыточная энергия в летние месяцы передается в сеть [8]. Этот дом оснащен также тепловым насосом и солнечными коллекторами, благодаря чему расчетное годовое потребление энергии составляет всего ~60 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что примерно в 6 раз меньше, чем у стандартного дома в Узбекистане [8]. Опыт этого проекта демонстрирует, что даже в условиях жаркого климата можно добиться баланса энергопотребления и генерации на уровне дома.

В контексте Таджикистана подобные технологии могут иметь огромное значение для отдаленных районов, где централизованные энергосети слабы. Энергоавтономный пассивный дом с солнечными панелями и батареей накопителя мог бы обеспечивать себя электроэнергией даже в случае отключений сети, а хорошая теплоизоляция и солнечное отопление снизили бы зависимость от привозного угля или дров. Конечно, первоначальные инвестиции в оборудование (панели, инверторы, аккумуляторы) достаточно высоки, но их стоимость постепенно снижается, а в сочетании с уже низким энергопотреблением пассивного здания требуемая мощность возобновляемых источников невелика. Например, для пассивного дома отопительной площадью 100 м<sup>2</sup> расчетное годовое потребление электроэнергии (на вентиляцию, насосы, возможно — тепловой насос) может составлять порядка 3000–4000 кВт·ч, что эквивалентно мощности солнечных батарей ~2,5–3 кВт. Такой массив панелей сейчас стоит относительно недорого и может окупиться за счет экономии на оплате электроэнергии за 7–10 лет, особенно если тарифы растут.

Система горячего водоснабжения в пассивном доме также интегрируется с концепцией устойчивости. Обычно ставится высокоэффективный водонагреватель (например, тепловой насос "воздух–вода" или конденсационный газовый котел при наличии газоснабжения) в комбинации с солнечными коллекторами. В солнечные месяцы львиная доля горячей воды обеспечивается солнцем, в пасмурные и зимние – используется экономичный догрев. За счет низких теплопотерь дома, доля энергии на ГВС в общем балансе становится заметной (иногда до 50%), поэтому ее сокращение напрямую влияет на общий энергопрофиль здания.

Подчеркнем, что в пассивном доме все системы работают в комплексе (рис.1). Например, рассмотрим зимний день: через южные окна солнце нагрело комнаты, излишек тепла вентиляция с рекуперацией перераспределила по дому, часть тепла запаслась в массивных стенах, под вечер

тепловой насос чуть подогрел приток, чтобы компенсировать ночное остывание, – и жильцы пережили морозную ночь, затратив минимум энергии. Утром автоматическое управление закрывает жалюзи, чтобы раннее солнце не вызывало перегрева, и цикл продолжается. Таким образом, инженерные системы пассивного дома дополняют архитектурные решения, создавая сбалансированную, саморегулирующуюся среду. По нашим расчетам, суммарное годовое потребление всех инженерных систем (вентиляция, насосы, возможно небольшой электрический подогрев) в пассивном доме площадью 150 м<sup>2</sup> может составлять всего ~2000–2500 кВт·ч электроэнергии. Для сравнения, только одна сплит-система кондиционирования в обычном доме за жаркое лето может потребить более 1000 кВт·ч, а обогреватели – тысячи киловатт-часов за зиму. Пассивный дом благодаря описанному комплексу мер принципиально сокращает эту потребность.

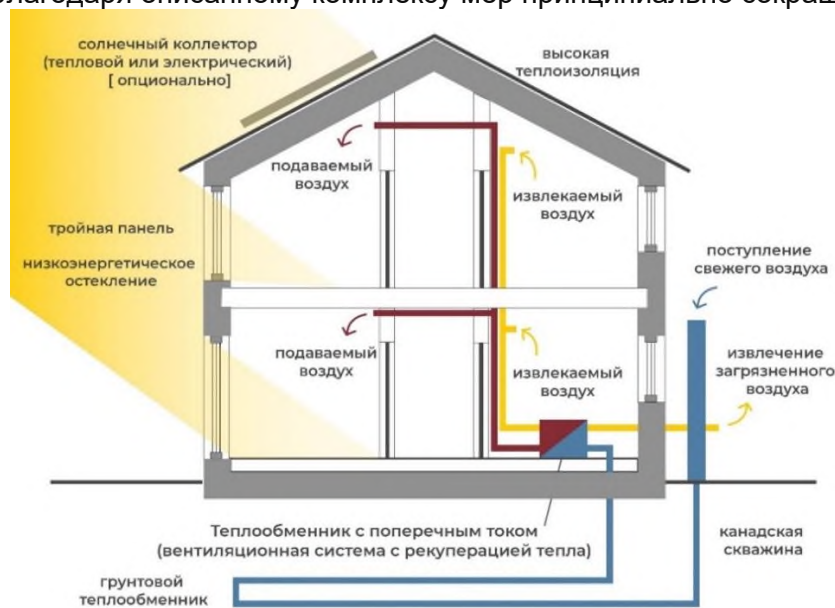


Рисунок 1- Схема пассивного дома

Концепция устойчивого (экологически и экономически рационального) строительства предполагает максимальное привлечение местных материалов и технологий. В Таджикистане с его ограниченными финансовыми ресурсами и труднодоступностью некоторых районов это особенно актуально. Пассивный дом, несмотря на высокотехнологичный имидж, вовсе не обязателен к строительству из дорогих импортных материалов – напротив, многие принципы пассивного дизайна могут быть реализованы на базе традиционных и местных ресурсов, адаптированных к современным требованиям.

Традиционные материалы региона – это глина (лессовые грунты), сырцовый кирпич (саман), камень, древесина и др. Исторически в сельской местности Таджикистана строили глинобитные дома с толстыми стенами, которые как раз обеспечивали неплохую теплоизоляцию зимой и прохладу летом за счет большой тепловой инерции. Однако одиночный материал не может дать одновременно прочность, теплоизоляцию и удобство – современные технологии пассивного дома позволяют комбинировать материалы, беря от каждого лучшее качество. Например, в каркасном доме можно использовать местный пиломатериал для несущего каркаса, пустоты заполнить эффективным утеплителем (минватой), снаружи обшить глиняными или известковыми плитками (для защиты и красоты), а внутри – обмазать традиционной глиняной штукатуркой для создания регулятора влажности. Такой дом сочетает местные возобновляемые материалы и соответствует стандартам энергосбережения [5].

Еще один пример – применение кирпича и камня. Эти материалы хорошо аккумулируют тепло, но проводят холод, если использовать их без утепления. Решение: строим двухслойную стену – внутренний слой из местного камня (например, в горных селах ГБАО камень доступен бесплатно), который обеспечивает прочность и тепловую массу, а наружный слой – теплоизоляция

(может быть привозной минеральной ватой или даже местным матом, обработанным против горения). Снаружи можно снова защитить каменной кладкой в полкирпича или штукатуркой. В итоге, внешний вид - традиционный каменный дом, а по теплосбережению – современный пассивный.

Соломенные маты – перспективный местный утеплитель. В низовьях рек (например, в южном Таджикистане) произрастают камыш, которые могут использоваться для изготовления щитовых утеплительных матов. При прессовании и соответствующей обработке (антипиренами) камышовые маты толщиной 30–40 см имеют коэффициент теплопроводности порядка 0,05 Вт/(м·К), что сопоставимо с древесной стружкой или легким бетоном. Их можно применять как заполнение каркаса стен или перекрытий, получая полностью био-разлагаемый, местный утеплитель. Подобные технологии уже используются в экодумах Центральной Азии [5]. Главное – убедиться в защите от огня и влаги. Обычно маты штукатурят глиной либо помещают между негорючими обшивками.

Глинобитные технологии тоже могут найти место в пассивном доме. Глина обладает уникальным свойством регулировать влажность: она впитывает избыточную влагу из воздуха и отдаёт, когда воздух сухой. Использование глины во внутренних отделках пассивного дома (например, глинопесчаная штукатурка по стенам) создаёт здоровый микроклимат и снижает потребность в энергозатратах на осушение или увлажнение воздуха. Кроме того, глина местная и дешёвая. В некоторых проектах в качестве теплоизоляции полов применяют лёгкий глинобетон с добавками соломы или опилок – при высыхании образуется достаточно прочный, но пористый слой. Он, конечно, уступает по характеристикам пенополистиролу, но полностью местного происхождения и паропроницаем.

Древесина – локальный ресурс горных районов (хотя лесов мало, но есть древесные насаждения в Фанских горах, на Памире – арча и др.). Древесину можно эффективно использовать в оконных рамах пассивного дома: современные окна с трехслойным остеклением часто делают в деревянных рамах со специальными уплотнениями. Если рамы изготовить на месте из качественной сухой древесины (сосны или местного платана) с соблюдением технологии, то они будут не хуже пластиковых, а углеродный след – меньше. Также дерево идёт на малые архитектурные формы – навесы, ставни, вентиляционные короба и т.д. Важна обработка против гниения и вредителей, но для этого можно использовать безопасные пропитки.

С точки зрения устойчивости, важно и сокращение углеродного следа строительства. Здесь использование местных материалов играет положительную роль: уменьшаются перевозки, поддерживаются местные производители, часто традиционные материалы имеют низкую энергоёмкость производства (например, сырцовый кирпич сушится на солнце, в отличие от обжига красного кирпича, требующего топлива). В пассивном доме рекомендуется применять материалы с низким воплощенным энергопотреблением – древесину, камень, известковые штукатурки вместо цементных (кроме того, известь лучше для климата помещения), натуральную изоляцию (овечью шерсть, льняные маты и т.п.). В центральноазиатском контексте перспективно возрождение традиционных приёмов строительства с новыми функциями.

Одним из ключевых вопросов является: насколько экономически целесообразно строительство пассивных домов в Таджикистане по сравнению с традиционными зданиями? Для ответа необходимо сопоставить дополнительные капитальные затраты на энергосберегающие меры с экономией, достигаемой в процессе эксплуатации.

Энергопотребление и экономия энергии. Как было показано выше, пассивный дом способен сокращать расход тепловой энергии на отопление до 10–15 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в год, в то время как для большинства существующих домов Таджикистана этот показатель находится в диапазоне 100–150 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год и более [4]. То есть потенциальная экономия тепловой энергии может достигать 85–90 % [4]. Даже по сравнению с новым домом, построенным просто по действующим теплотехническим нормам, пассивный дом экономичнее примерно на 50–70 %. Например, согласно нашим расчетам, типовой одноэтажный дом площадью 100 м<sup>2</sup> в климате Согда потребляет около 12 000 кВт·ч энергии на отопление за сезон (если отапливается электрообогревателями, это ~3000 сомони расходов при тарифах 2025 г.), тогда как аналогичный по размеру пассивный дом – порядка 1500–2000 кВт·ч (расход ~400–500 сомони). Экономия ~2500 сомони (примерно \$230) за год на одном доме. Если рассматривать срок службы здания 30–50 лет, совокупная экономия

энергии и средств гигантская. Причем это прямые затраты жильцов, не говоря об опосредованных выгодах (меньше нагрузка на электросети зимой, меньше выбросов от сжигания угля и т.д.).

Следует учесть, что в традиционных зданиях помимо отопления возникают расходы на летнее охлаждение. В жарком климате пассивный дом, за счет описанных мер, снижает необходимость в кондиционировании: по нашим оценкам, в Душанбе пассивный дом может совсем обходиться без кондиционера, внутренние температуры не будут превышать +27...+28 °С даже в пик жары, в то время как в обычной квартире они достигают +35 °С и жильцы вынуждены пользоваться кондиционером. Если условно принять, что традиционный дом тратит 500–600 кВт·ч на летнее кондиционирование, то пассивный – почти 0 кВт·ч (только вентиляторы потребляют, что мало). Таким образом, экономия проявляется круглый год.

Капитальные затраты. За счет чего достигаются столь низкие энергопотери в пассивном доме? За счет дополнительных инвестиций в материалы и оборудование: толстый утеплитель, высококачественные окна, вентиляционная установка с рекуперацией, возможно солнечные панели и пр. Это увеличивает стоимость строительства. По имеющимся данным, возведение пассивного дома обходится примерно на 10–15 % дороже стандартного дома такой же площади [7]. Удорожание связано с ценой теплоизоляционных материалов, специальных окон, а также затратами на более тщательное проектирование и строительство (требуется высокая квалификация для обеспечения герметичности и устранения мостиков холода) [7]. Например, квадратный метр минеральной ваты толщиной 20 см – это порядка 80–100 сомони дополнительных затрат по материалу, тройной стеклопакет вместо двойного – удорожание окна на 30–40 %, система рекуперации – еще несколько тысяч сомони на весь дом. В сумме на среднем доме может набегать эквивалент ~\$5 000–10 000 сверх базовой стоимости.

Однако важно отметить, что энергосберегающие инвестиции окупаются. Согласно ряду оценок, в странах Центральной Азии дополнительная стоимость пассивных домов окупается экономией на коммунальных платежах в среднем за 5–10 лет [7]. В Таджикистане срок окупаемости может быть больше из-за относительно низких тарифов на электроэнергию и тепло, но даже здесь тенденция такова, что топливо и энергия дорожают, а выгоды от экономии растут. Если учесть не только прямую экономию хозяев, но и общественную (меньшая нагрузка на энергетическую инфраструктуру, уменьшение субсидий на электроэнергию и т.д.), пассивные дома весьма выгодны государству.

Чтобы конкретизировать: предположим, обычный дом стоит 200 000 сомони, а пассивный – на 20 000 сомони дороже (+10%). Экономия на энергоресурсах – скажем, 3 000 сомони в год. Тогда окупаемость ~7 лет. Далее – чистая выгода для владельцев. Причем по мере возможного роста цен на энергоносители экономия в денежном выражении будет только увеличиваться, сокращая срок окупаемости.

Сравнение на уровне страны. Если бы все новые дома в Таджикистане строились по стандарту пассивного, страна получила бы огромный макроэкономический эффект. По некоторым оценкам, на отопление жилищ уходит до 40% всего конечного энергопотребления республики. Снизив его в 5–10 раз, можно было бы высвободить значительные объемы электроэнергии для промышленности или экспорта, либо сократить импорт угля. Снижение вырубки лесов (меньше потребность в дровах) – сохранение экосистем, что тоже имеет экономический эквивалент (лес – это защита от селей, это туризм, это углеродный поглотитель). Уменьшение выбросов CO<sub>2</sub> и выполнение международных обязательств по климату могут открыть доступ к "зеленому" финансированию и грантам.

В целом, сравнение показывает: пассивные дома несколько дороже на этапе строительства, но гораздо дешевле в эксплуатации, и эта разница делает их экономически выгодными уже в среднесрочной перспективе. При грамотной господдержке и увеличении масштабов строительства пассивные технологии могут стать массовыми, что приведет к снижению их стоимости (эффект масштаба) и еще большей экономической привлекательности.

Наши вычисления и рассмотренные примеры подтверждают, что окупаемость мер пассивного дома составляет порядка нескольких лет, после чего собственник получает чистую экономию. Более того, учитывая тренды климатической политики, в будущем энергоэффективное жилье может получить премию в цене на рынке недвижимости (т.е. пассивный дом будет стоить

дороже при продаже благодаря низким коммунальным платежам). Это дополнительный аргумент в пользу внедрения данных принципов в широкую практику.

Несмотря на относительную новизну концепции пассивного дома для региона, уже есть успешные примеры энергоэффективных и устойчивых домов, построенных или реконструированных в Таджикистане и соседних странах.

**Таджикистан.** В республике реализовано несколько пилотных проектов в сельской местности. Один из заметных примеров – проект организации Ge ges (Франция) в 2011–2013 гг., направленный на улучшение условий жизни в сельских районах Согда [9]. В рамках этого проекта было построено 250 энергоэффективных домов с использованием пассивных солнечных технологий и утепления [9]. Эти биоклиматические дома оснащены солнечными тепловыми коллекторами (для обогрева теплиц и хозяйственных нужд), улучшенной изоляцией стен и крыш, а также вентиляционными решениями, адаптированными к местному климату. В результате семьи, проживающие в таких домах, смогли значительно снизить расход топлива зимой – по отзывам, потребность в дровах сократилась почти вдвое, температура внутри даже в мороз оставалась на уровне +15...+18 °С, тогда как в соседних обычных домах опускалась до +5...+10 °С. Этот проект продемонстрировал эффективность сочетания традиционных сельских построек с элементами пассивного дома. Интересно, что конструктивно дома остались глинобитными, но их стены были снаружи утеплены и оштукатурены, окна уплотнены, а с южной стороны пристроены солнечные комнаты – застекленные веранды, работающие как тепловые ловушки зимой. Также внедрялись улучшенные печи с повышенным КПД. Успех проекта подтверждается тем, что местные общины продолжили применять эти решения и после завершения программы, распространяя опыт по принципу "равный обучает равного".

Другой пример в Таджикистане – экспериментальные энергоэффективные дома, построенные при содействии Агентства Ага Хана. В Горно-Бадахшанской автономной области (Памир) в нескольких высокогорных селениях были построены демонстрационные сельские дома с усиленной теплоизоляцией и сейсмостойким каркасом [5]. Они сочетали местный камень (в стенах) и импортный утеплитель, а также имели солнечные коллекторы и улучшенную вентиляцию. Эти дома показали, что даже при -25 °С за окном внутри можно поддерживать +20 °С, расходуя в разы меньше кизяка/дров, чем обычно. Кроме того, сейсмокаркас защитил строения при нескольких землетрясениях, тогда как традиционные глинобитные дома в тех же селениях получили повреждения. Это пример успешной интеграции требований энергоэффективности и безопасности.

**Узбекистан.** Наиболее яркий случай – уже упомянутый демонстрационный дом с почти нулевым энергопотреблением в г. Нурафшан (Ташкентская область), заверченный в 2022 году [8]. Он спроектирован по стандарту *nearly Zero Energy Building* (nZEB) с ориентацией на максимальное использование солнечной энергии. Дом двухэтажный, ~164 м<sup>2</sup>, построен из керамических блоков с толстым слоем теплоизоляции внешних стен, энергоэффективными окнами и полным набором пассивных мер (ориентация, затенение, герметичность) [8]. На крыше смонтирована солнечная электростанция мощностью 8 кВт, которая генерирует около 12 тыс. кВт·ч в год – этого достаточно, чтобы покрыть все нужды семьи в электричестве и даже отдать избыток в сеть [8]. Дом оборудован двумя тепловыми насосами: один воздушный для отопления/охлаждения, второй – для горячего водоснабжения, плюс солнечные коллекторы на крыше подогревают воду [8]. В итоге, по замерам, такой дом потребляет около 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год первичной энергии, включая бытовое электричество, что в 6 раз меньше, чем средний показатель по обычным домам Узбекистана (320–390 кВт·ч/м<sup>2</sup>) [8].

Опыт узбекского проекта показывает важность государственной инициативы – когда типовые решения утверждены и частично субсидируются, застройщики охотнее их применяют. Теперь в новых кварталах видно дома с солнечными водонагревателями на крышах и утепленными фасадами – еще несколько лет назад это была редкость.

**Казахстан.** В Казахстане климат местами схож с таджикским (жаркий юг, холодный континентальный север). Там также предпринимаются шаги к строительству пассивных и низкоэнергетических домов. Например, в Алматы была построена первая экспериментальная вилла по стандарту пассивного дома частным инвестором: дом получил сертификат Passivhaus Institute, подтвердивший потребление тепла ~14 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год (при норме ≤15). В Астане (Нур-Султане) планировалось строительство демонстрационного пассивного офисного здания к ЭКСПО-

2017, и, хотя полностью пассивным оно не стало, были реализованы передовые теплоизоляционные и вентиляционные решения. Также несколько компаний (Pollio, KZ Solar, др.) предлагают проекты пассивных коттеджей и малоквартирных домов [6]. Пока их мало, но интерес постепенно растет на фоне суровых зим и удорожания энергии в Казахстане.

**Кыргызстан.** В Кыргызстане предпринимаются инициативы по утеплению традиционных домов (особенно важны в горных районах Нарына, Иссы-Куля). Есть примеры, когда местные жители под руководством архитекторов-энтузиастов переоборудовали старые кирпичные дома в подобие пассивных: утеплили фасады войлоком и пенопластом, установили рекуперативные проветриватели, сделали пристройки-солярии. Такие самодельные проекты значительно улучшили условия – температура зимой повысилась с +14 до +20 °С при том же количестве топлива, влажность стала комфортнее. Появляются и новые постройки: например, в предместьях Бишкека один частный застройщик возвел несколько коттеджей с 20-см утеплением, пятикамерными окнами и солнечными батареями, позиционируя их как "энергосберегающие дома" для рынка.

Для Таджикистана крайне ценным будет изучение этих пилотных проектов и масштабирование успешных практик. Например, на основе узбекских типовых энергоэффективных проектов можно разработать аналогичные проекты для таджикских условий, с учетом сейсмики. Активность международных организаций (ПРООН, ГЭФ, ЕБРР) уже есть: реализованы проекты по утеплению школ, больниц. Следующий шаг – энергоэффективные жилые кварталы. В перспективе появление хотя бы одного сертифицированного пассивного дома (например, демонстрационного особняка в Душанбе, открытого для посетителей) могло бы послужить отличной образовательной площадкой и стимулом для профессионалов перенимать опыт.

Таким образом, реальный опыт Центральной Азии показывает: пассивные и близкие к ним дома могут успешно строиться и функционировать даже в нашем регионе с суровым климатом и ограниченными ресурсами. Они доказали свою эффективность, а накопленные данные (по энергосбережению, удовлетворенности жителей, окупаемости) служат сильным аргументом в пользу дальнейшего развития этого направления.

## Обсуждение

Результаты проведенного анализа свидетельствуют о высокой потенциальной эффективности концепции пассивного дома для условий Таджикистана. Тем не менее, на пути широкого внедрения этой концепции существует ряд технических, экономических и организационных вызовов, которые необходимо обсуждать и решать.

Адаптация пассивного дома к экстремальному климату. Хотя пассивный дом изначально разработан в Европе для умеренного климата, практика (например, скандинавские страны, Альпы, Канада) показала жизнеспособность этого стандарта и в холодных регионах. Для таджикского климата наиболее экстремальны сочетания: сухая жара плюс пыль (юг) и высокая солнечная радиация плюс сильные морозы (Памир). Наш анализ подтвердил, что базовые принципы – усиленная изоляция, рекуперация, солнцезащита – одинаково хорошо работают и там, и там. Однако есть тонкости: пыльные бури требуют более частой смены фильтров вентиляции, большая высота над уровнем моря (Памир) влияет на эффективность теплообмена (разреженный воздух понижает КПД конвективных систем – пришлось бы закладывать чуть больше поверхности у радиаторов, коллекторов). Кроме того, высокое ультрафиолетовое излучение в горах ускоряет старение некоторых материалов (пластиковых оконных уплотнителей, солнечных панелей) – значит, нужно выбирать морозо- и UV-стойкие версии. Все эти факторы нужно учитывать при адаптации проектов пассивных домов: возможно, критерии Passivhaus следует корректировать (скажем, допускается немного больший показатель отопительной нагрузки, если экстрим-климат; сам PHI вводил категории "warm" и "cold" для разных климатов). Тем не менее, эти нюансы не являются непреодолимым барьером – скорее, требуют локализации стандартов. В идеале, национальные строительные нормы и стандарты Таджикистана могли бы включить класс энергоэффективности, аналогичный пассивному дому, с учётом местной специфики (например, требуемое сопротивление теплопередаче для разных климатических подзон страны).

Локальные нормативы и сертификация. В идеале стоило бы внедрить национальную систему сертификации энергоэффективных домов, аналогичную международным (Passive House, LEED,

EDGE). Например, сертификат "Энергоэффективный дом Таджикистана – класс А" мог бы выдаваться домам, потребляющим  $\leq 30 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  на отопление. Это стимулировало бы здоровую конкуренцию: застройщики стремились бы рекламировать свои дома классом А, В и т.д. Пассивный дом – это фактически класс А++ в такой системе. Пока у нас такого нет, но в будущем это логичный шаг.

Сейсмическая надежность и пассивный дом. Это важный вопрос для Таджикистана – мы живем в сейсмоопасной зоне. Добавление тяжелых материалов (бетона, камня) повышает нагрузку, а толстые стены могут быть уязвимы. Однако пассивный дом не противоречит сейсмостойкости. Нужно лишь соблюдать строительные нормы: арматура, каркасы, правильная анкеровка утеплителя, чтобы при толчках не отвалился фасад. Большая часть пассивных домов одно-двухэтажные, для них сейсмические требования проще обеспечить. В многоэтажном доме тоже можно применить пассивный стандарт – есть примеры 9-этажных пассивных домов (в Германии, Китае). В Душанбе потенциально можно строить энергоэффективные многоэтажки: основной каркас – ж/б, а фасад делать навесным вентилируемым с утеплителем. Это даст эффект почти пассивного дома. Некоторые новые ЖК уже идут в эту сторону, хотя не называют это так.

Подводя итог обсуждению: внедрение пассивных домов в Таджикистане технически осуществимо и экономически оправдано, но требует комплексных усилий. Необходимо совершенствовать нормативную базу, стимулировать материально застройщиков и граждан, повышать компетенции специалистов, локализовать производство материалов и оборудования, а также активно информировать население о преимуществах энергоэффективного жилья. Международное сотрудничество и обмен опытом с соседями помогут избежать "изобретения велосипеда" – можно учесть и повторить лучшие практики. При условии поступательного движения в этом направлении, уже в ближайшие 5–10 лет можно ожидать появления значительного числа домов, построенных или модернизированных по стандартам пассивного дома, особенно в новых коттеджных посёлках, социальном жилищном строительстве, а также при реконструкции городских кварталов.

Конечно, пассивный дом – не панацея от всех проблем ЖКХ. Параллельно стоит развивать и другие меры: модернизацию централизованных котельных с повышением КПД, внедрение smart-сетей, обучение населения энергосбережению. Но пассивный дом задаёт вектор на будущее: в идеале, к середине века все новое строительство должно быть энергонезависимым и климатически нейтральным. Таджикистан, несмотря на бедность, имеет шанс "перепрыгнуть" через ступени неэффективной урбанизации и сразу строить устойчиво – в долгосрочной перспективе это оправдано.

## Выводы

Проведенное исследование подтверждает, что концепция пассивного дома обладает большим потенциалом для повышения энергоэффективности и устойчивости жилого строительства в Таджикистане. Ниже сформулированы основные выводы:

В заключении отмечаем, что пассивный дом в Таджикистане – это не утопия, а реальный путь модернизации жилищного фонда, повышающий качество жизни людей и устойчивость экономики. Уже в ближайшие годы целесообразно реализовать пилотные проекты пассивных домов в различных климатических зонах страны (Памир, Хатлон, Согд) с целью адаптации технологии и демонстрации ее преимуществ. Полученные в настоящем исследовании данные и обобщенные рекомендации могут служить методической основой для таких проектов. В долгосрочной перспективе, распространение пассивного домостроения внесет вклад в энергетическую безопасность Таджикистана, снижение воздействия на окружающую среду и выполнение международных обязательств по климату. Учитывая все рассмотренные факторы, можно сделать главный вывод: энергоэффективное и устойчивое проектирование жилых зданий на принципах пассивного дома является перспективным и оправданным направлением развития строительной отрасли Таджикистана, и его активное внедрение принесет значительные выгоды стране и ее народу.

*Рецензент: Хасанзода Н.Н. — Доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектуры зданий и сооружений» ТИЭКУ имени академика М.С. Осими.*

## Литература

1. Климат Таджикистана // Информационный портал развития Таджикистана (Tajik Development Gateway). URL: <http://www.tajik-gateway.org/wp/geography/klimat-tadzhikistana/> (дата обращения: 30.10.2025).
2. Усмонов Ш. З. *Учет климатических и демографических условий Таджикистана при реконструкции жилых зданий для повышения их энергетических показателей*: дис. ... канд. техн. наук. – М.: НИИСФ РААСН, 2015. – 183 с.

3. Basel Agency for Sustainable Energy (BASE). *Pilot Sustainable Housing Solutions for Scale-up in Tajikistan* (проект «Устойчивые жилищные решения в Таджикистане»). URL: <https://energy-base.org/projects/sustainable-housing-solutions-in-tajikistan/> (дата обращения: 30.10.2025).

4. ЗАО «IDR-Group». *Энергосберегающий дом: классификация и рекомендации* [Электронный ресурс] // Сайт IDR-Group, 2021. URL: <https://idr-group.ru/energoeffektivnost-doma/> (дата обращения: 30.10.2025).

5. Aga Khan Agency for Habitat (АКАН). *Безопасное и устойчивое строительство* [Электронный ресурс] // АКДН – Aga Khan Development Network, 2022. URL: <https://the.akdn/ru/kak-my-rabotaem/nashi-agentstva/agentstvo-aga-hana-habitat/bezopasnoe-i-ustoychivoe-stroitelstvo> (дата обращения: 30.10.2025).

6. Романова О. *Пассивный дом: почему технология все еще мало востребована* // Блог PlanRadar. – 15.04.2022. URL: <https://www.planradar.com/cis/passivnyj-dom-pochemu-tehnologiya-vse-eshche-malo-vostrebovana/> (дата обращения: 30.10.2025).

7. *Что такое пассивный дом? Разбираемся в энергоэффективном строительстве* [Электронный ресурс] // CHUMBLEY EcoHouse. – 2021. URL: <https://chumbley.ru/ecohouse> (дата обращения: 30.10.2025).

8. *В Узбекистане построен первый дом с практически нулевым энергопотреблением* // Информационный портал Kup.uz. – 25.11.2022. URL: <https://kup.uz/ru/news/2022/11/25/v-uzbekistane-postroyen-pervyy-dom-s-prakticheski-nulevym-energotrebleniyem> (дата обращения: 30.10.2025).

9. Geres (Group for the Environment, Renewable Energy and Solidarity). *Bioclimatic houses and support for agricultural development in Tajikistan* (Project description, 2011–2013). URL: <https://www.geres.eu/en/our-actions/our-projects/bioclimatic-houses-agricultural-development-tajikistan/> (дата обращения: 30.10.2025).

#### МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-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                                                                        |
| Донишқадаи политехникии<br>Донишгоҳи техникӣ<br>Тоҷикистон<br>ба номи академик М.С. Осимӣ<br>дар ш. Хучанд | Политехнический институт<br>Таджикского технического<br>университета имени академика<br>М.С. Осими в г. Худжанде | Khujand Polytechnic institute of<br>Tajik Technical University<br>named after<br>academician M.S.Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:usmonov.shuhrat@gmail.com">usmonov.shuhrat@gmail.com</a>                           |                                                                                                                  |                                                                                                        |

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ И АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ГОРОДА ФАЙЗАБАД

Ш.И. Рахматуллозода, Д.Ш. Мирзокаримов, М.Р. Гиёсов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются особенности архитектурно-градостроительного формирования городов и районов республиканского подчинения на примере города Файзабад. Анализируются влияние исторического развития и природно-климатических условий на формирование застройки, а также вопросы сохранения культурного наследия и интеграции традиционных архитектурных приёмов в современную градостроительную практику.

**Ключевые слова:** архитектура, градостроительство, планировочная структура, Файзабадский район, климатические условия, культурное наследие.

## ХУСУСИЯТҲОИ СОҲТОРИ БАНАҚШАГИРӢ ВА СИМОИ МЕЪМОРИИ ШАҲРИ ФАЙЗОБОД Ш.И.Рахматуллозода, Д.Ш.Мирзокаримов, М.Р.Гиёсов

Дар мақола хусусиятҳои соҳтори банақшагирӣ ва симои меъморӣ шаҳрҳо ва ноҳияҳои тобеи ҷумҳурӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бо мисоли ноҳияи Файзобод баррасӣ мешаванд. Таъсири рушди таърихӣ ва шароити табиӣ-иқлимӣ ба ташаккули муҳити бинокорӣ, инчунин масъалаҳои ҳифзи мероси фарҳангӣ ва ҳамгироии усулҳои анъанавии меъморӣ дар таҷрибаи муосири шаҳрсозӣ таҳлил мегарданд.

**Калимаҳои калидӣ:** меъморӣ, шаҳрсозӣ, соҳтори банақшагирӣ, ноҳияи Файзобод, шароити иқлимӣ, мероси фарҳангӣ.

## FEATURES OF THE PLANNING STRUCTURE AND ARCHITECTURAL CHARACTER OF THE CITY OF FAYZABAD

Sh.I.Rakhmatullozoda, D.Sh.Mirzokarimov, M.R.Giyosov

The article examines the features of the planning structure and architectural character of cities and districts of republican subordination in the Republic of Tajikistan, using the Fayzabad district as a case study. The influence of historical development and natural-climatic conditions on the formation of the built environment is analyzed, as well as issues of preserving cultural heritage and integrating traditional architectural techniques into contemporary urban planning practice.

**Keywords:** architecture, urban planning, planning structure, Fayzabad district, climatic conditions, cultural heritage.

### Введение

Формирование системы городов республиканского подчинения Таджикистана занимает особое место в территориально-пространственной организации республики. Эти административные образования, как правило, формировались на базе центров расселения региона. Территории районов республиканского подчинения в значительной степени соответствуют зонам древнего и средневекового расселения, связанным с формированием ранних городских центров региона. В этом контексте город Файзабад представляет интерес в плане формирования планировочной структуры данной территории в условиях горного ландшафта.

### Материал и метод исследования

Район расположен в восточной части Республики Таджикистан на территории Гиссарской низкогорной зоны, составляет 0,6% от общей территории, площадью около 874,1 км<sup>2</sup>, протяжённостью 80 км на 92,4% состоящий из гор и имеет население порядка 100 тысяч человек, является аграрным районом [1]. Административным центром района является посёлок городского типа Файзабад, который находится примерно в 51 км к востоку от Душанбе. На основе нового Генерального плана, разработанного ООО «Шахрофар» (от 30.04.12г.№186) рис.1, осуществляются размещение жилых и общественных объектов, благоустройство территории. Основные функциональные зоны включают административный центр, жилые кварталы, торгово-общественные учреждения и сельскохозяйственные участки.



*Рисунок 1 – Новый Генеральный план, разработанный ООО «Шахрофар» (от 30.04.12г.№186), функциональное зонирование района включает административный центр, жилые кварталы, приусадебные участки, торгово-общественные учреждения и сельскохозяйственные участки.*

Географическое расположение и природно-климатические условия района оказывают значительное влияние на архитектурно-градостроительное развитие и формирование городской среды.

Город Файзабад, согласно архивным источникам, имеет 3000-летнюю историю, корни которой уходят к античному, средневековому городу Вашгирду (Wēškird), известному с VI–VII веков нашей эры. Важным аспектом градостроительного развития Файзабада является сохранение планировочной структуры самого города и исторических городищ, что представляет собой значимый ресурс для дальнейшего развития района.

Современный Файзабад был официально образован в 1931 году, а в 1969 году стал центром района, получил название Файзабад и статус района республиканского подчинения. В 2000 году Файзабад получил статус посёлка городского типа. Административная территория Файзабада делится на сельские джамоаты и представляет собой важный социально-экономический и культурный центр.

### **Методика**

Исследовать градостроительные условия города и районы республиканского подчинения, где наиболее интересным районом оказался город Файзабад. Внимание привлекло географическое, климатическое и социально-экономическое положение. Основным направлением представилось выявить исторические и современные факторы, происходившие в формировании образа города, и перспективы дальнейшего развития. Для развития города необходимо привести инфраструктуру района в соответствие с современными требованиями, использовать потенциал экономического развития района. Создание благоприятного климата и деловой среды, улучшение и развитие условий жизни людей с доступной развитой социальной инфраструктурой.

Район находится в Гиссарском низкогорье, граничит с Вахдатским районом, на востоке с Нурукским районом Хатлонской области, административным центром района является посёлок городского типа Файзабад, рис.2.



Рисунок 2 – а) карта с местоположением Файзабадского района республиканского подчинения относительно граничащих городов, б) граница района республиканского подчинения с указанием расположения города Файзабад, граничащего на севере и западе с городом Вахдат.

### Социально-экономические и демографические факторы района

Наблюдается умеренный рост численности населения с основным видом занятости — сельское хозяйство и малый бизнес. Существуют проблемы с трудовой миграцией и нехваткой рабочих мест, что влияет на демографическую структуру и развитие инфраструктуры. Тем не менее, наличие природных ресурсов, культурного потенциала и близость к столице создают предпосылки для устойчивого развития [8].

Важным фактором градостроительного развития Файзабада является сохранение существующей планировочной структуры и дальнейшего развития его в системе города. В настоящее время Файзабадский район получил название Файзабад и статус района республиканского подчинения. В 2000 году Файзабад получил статус посёлка городского типа с населением на 2022г. – около 111.700 т. чел., который представляет собой важный социально-экономический, культурный и исторический центр района. (см.таблицы1,2)

Таблица 1- численность населения, в том числе городское Файзабадского района

| Численность населения Файзабадского района |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2003                                       | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2019   | 2021   | 2022   |
| 73800                                      | 75400 | 76700 | 78100 | 79700 | 81500 | 83600 | 101400 | 109600 | 111700 |

Таблица 2- Прогнозные показатели роста населения Файзабадского района в течение 2016-2020гг.(тысяч человек)

| Показатели                           | 2014 | 2015 | Прогнозные параметры |       |       |       |       | 2020г. по сравнению с 2014г. в % |
|--------------------------------------|------|------|----------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|
|                                      |      |      | 2016                 | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  |                                  |
| Среднегодовая численность, тыс. чел. | 97.5 | 99.5 | 104                  | 107,9 | 111,2 | 115,8 | 119,4 | 122,4                            |
| городское                            | 10,0 | 10,3 | 10,7                 | 11,2  | 11,8  | 12,5  | 13,2  | 132,0                            |
| сельское                             | 87.5 | 89,2 | 93,3                 | 96,7  | 99,4  | 103,3 | 106,2 | 121,3                            |

В работе использовались методы сравнительного и картографического анализа, проведены натурные наблюдения планировочной структуры города. Проведены исследования климатических и природно-географических факторов, которые влияют на формирование планировочной структуры населённых пунктов.

**Проведённый архитектурно-планировочный анализ показал, что** Файзабадский район расположен в низкогорной зоне Гиссарской долины, на отметке 1200–1500 м над уровнем моря вертикально-поясных зон. Погода с тёплым сухим летом и холодной зимой, сейсмическая

активность требуют особого внимания и требуют индивидуальных проектных решений с рациональным использованием территории.

### Планировочная структура города

Линейно-протяжённая структура посёлка Файзабад ориентирована вдоль главной транспортной артерии - по дороге Душанбе – Вахдат - Файзабад на рис.3.

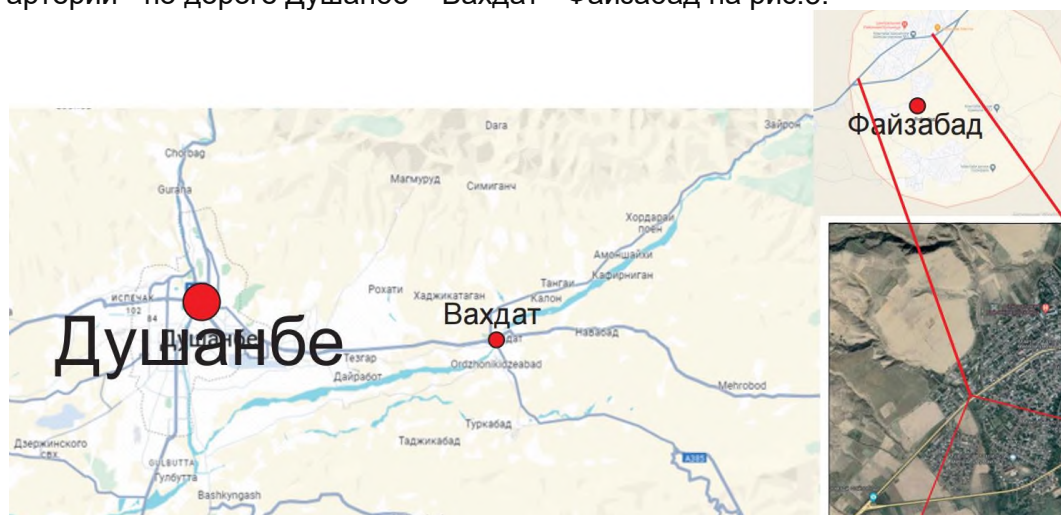


Рисунок 3 – схема Душанбе – Вахдат - Файзабад, линейно-протяжённая структура, расположение района от столицы

### Архитектура и типология застройки

Архитектурный облик города отражает синтез традиционных таджикских строительных приёмов и элементов современной архитектуры (рис. 4,5 а-г.). Анализ планировочной структуры и архитектурный облик Файзабадского района позволяет выявить закономерности трансформации традиционной среды в условиях современных градостроительных процессов. Планировочная структура посёлка городского типа (пгт) Файзабад в период советской системы градообразования формировалась как линейная система. Застройка посёлка жилыми и общественными зданиями сформировалась как малоэтажная, состоящая в основном из одно-двухэтажных зданий вдоль главной дороги посёлка. В современном состоянии всё больше имеет приоритет в увеличении потребности жилищного строительства, формировании административно-делового центра, где предлагаются разрабатывать проекты детальной планировки (ПДП) с отдельными участками средней и многоэтажной застройки, рис.4,5.



Рисунок 4 – а) предлагаемая концепция проекта детальной планировки с размещением многоэтажных, среднеэтажных, жилых и общественных объектов инфраструктуры б) предлагаемые жилые и общественные комплексы обслуживания

Современное строительство медленно развивается, однако имеет потенциал к росту при условии правильного градостроительного планирования. На данный момент функционируют 58 школ, 40 средних, 7 основных, 11 начальных и 2 детских сада. Центральная районная больница на 175 коек, 2 участковые больницы, 27 медицинских пунктов и т.д. Учитывая изменения демографической ситуации района и высокий темп роста населения до 2020 года, возникает необходимость создания 4900 новых ученических мест в основных школах, 2300 ученических мест в дошкольных учреждениях, строительства и сдачи в эксплуатацию 99,0 тыс.м<sup>2</sup> жилых домов и создания 8,7 тысяч новых рабочих мест [9].



Рисунок 5 – а) предлагаемая концепция проекта детальной планировки с размещением многоэтажных, среднеэтажных, жилых и общественных зданий в разрезе, б) административное здание, в) 9-ти-этажный жилой дом, г) проект жилого дома со встроенным торговым и общественным центром, д) входные ворота центрального рынка Файзабад

### Перспективы развития планировочной структуры города

Важнейшими направлениями градостроительного развития Файзабада являются: комплексное развитие генерального плана с учётом рельефа и климатических условий; сохранение и адаптация существующих территорий и улучшение качества городской среды в современной градостроительной концепции; развитие транспортной и социальной инфраструктуры с улучшенными условиями городской среды.

### Заключение

В рамках статьи можно представить структуру формирования планировочных особенностей города Файзабад, где исследуется уникальное сочетание: архитектурно-планировочное развитие города, которое тесно связано с географическим положением; историческое прошлое; современные социально-экономические реалии. Для обеспечения устойчивого и сбалансированного развития необходима интеграция существующей планировочной структуры с современными градостроительными подходами. А для формирования образа архитектурной среды необходима единая концепция. Разработка и развитие программ по сохранению существующих территорий и улучшению качества городской среды, что является ключевым аспектом целостного формирования планировочной структуры города Файзабад. В результате, могут быть использованы сохранённые сложившиеся структуры города и его элементы с постепенным переходом к новому быту и важность формирования функциональной структуры делового центра и жилой среды.

*Рецензент: Джурахонозода С.Ш. - канд. архитектуры, Ректор Государственного института изобразительного искусства и дизайна Таджикистана*

### Литература

1. Акбаров А.А. Особенности планировки и застройки сельского посёлка в условиях Таджикистана. Д-2021, учебное пособие
2. Мукимов Р.С. Развитие архитектура и градостроительства Таджикистана в год независимости. — Душанбе: Ирфон, 2015.

3. Закон Республики Таджикистан «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности». — Душанбе, 2008.
4. История таджикского народа. — Душанбе: Дониш, 2012.
5. Статистический ежегодник Республики Таджикистан. — Агентство по статистике при Президенте РТ, 2023.
6. Алимардонов Ф. Археологические памятники Файзабада // Культурное наследие, №2, 2021.
7. Топографическая карта Файзабадского района. — Госгеокадастр Таджикистана, 2020.
8. Рахматуллозода, Ш. И. Вопросы стратегического градостроительно-ландшафтного планирования и жизнестойкости городов и районов Таджикистана / Ш. И. Рахматуллозода, Н. И. Рахматуллаева // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 1(65). – С. 184-189. – EDN AUSTIP.
9. Программа социально-экономического развития Файзабадского района на 2016-2020гг. Ф-2015.РТ  
Исполнительный орган Государственной власти Файзабадского района

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

| RU                                                                   | TJ                                                | EN                                                     |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Рахматуллозода Шахноз Ибодулло                                       | Рахматуллозода Шахноз Ибодулло                    | Rahmatullozoda Shahnoz Ibodullo                        |
| кандид. арх., и.о. доцента                                           | Номзоди меъморӣ..и.в. дотсент                     | Candidate of architecture, associate professor         |
| Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими               | Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М. С. Осимӣ | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:Sh.rahm75@gmail.com">Sh.rahm75@gmail.com</a> |                                                   |                                                        |
| RU                                                                   | TJ                                                | EN                                                     |
| Мирзокаримов Давлатшо Шодиевич                                       | Мирзокаримов Давлатшо Шодиевич                    | Mirzokarimov Davlatsho Shodievich                      |
| Магистрант 2 курса                                                   | Магистратони 2 курс                               | 2nd year Master's student                              |
| Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими               | Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М. С. Осимӣ | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| RU                                                                   | TJ                                                | EN                                                     |
| Гиёсов Мехрубон Рахматуллоевич                                       | Гиёсов Мехрубон Рахматуллоевич                    | Giyosov Mehrubon Rahmatulloevich                       |
| Докторант PhD                                                        | Докторанти PhD                                    | PhD Doctorant                                          |
| Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими               | Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М. С. Осимӣ | Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:IGiesov@mail.ru">IGiesov@mail.ru</a>         |                                                   |                                                        |

## СИНТЕЗ ИСКУССТВ В АРХИТЕКТУРЕ ТАДЖИКИСТАНА ПЕРИОДОВ РАЗВИТОГО И ПОЗДНЕГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Д.Ш. Ганизода

Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими

В данной статье рассматривается эпоха Саманидов (IX–X вв.) - одна из самых ярких страниц истории Центральной Азии, которая стала мощным импульсом в формировании и развитии искусства в архитектуре. Далее развитое и позднее средневековье в зодчестве региона (XI–XVII вв.) рассматривается через призму трех важных этапов, где с XI по начало XIII веков определяется как классический статус для архитектуры Таджикистана. Ярким примером синтеза искусств в архитектуре на территории республики служит мавзолей Хазрати Пошо (Мир – Хамза) в джамоате (сельской общине) Чоркух Исфаринского района Согдийской области. Его уникальность заключается в сложной деревянной конструкции, возведенной без применения гвоздя и украшенной художественной резьбой. В эпоху развитого средневековья изобразительное искусство (настенная живопись, скульптура) являлось неотъемлемой частью архитектурных ансамблей и духовной жизни предков таджиков. Подчеркивается, что здания того времени, такие как мавзолеи, дворцы и мечети, отличались монументальностью и гармоничными пропорциями. Статья акцентирует внимание на богатое разнообразие декоративных элементов, включая мозаики, резной кирпич, штукатурку и роспись, органично вписывающиеся в общую композицию зданий, формируя основу творческого подхода зодчих региона к применению традиций прошлого.

**Ключевые слова:** *изобразительное искусство, зодчество, интерьер, монументальность, фасад, декоративные купола, мечеть, орнамент, кундаль, настенная живопись.*

## СИНТЕЗИ САНЪАТ ДАР МЕЪМОРИИ ТОЧИКИСТОН ДАР ДАВРАҶОИ АСРҶОИ МИЁНАИ МУТАРАҚҶИ ВА ПАСИН

Д.Ш. Ганизода

Дар ин мақола давраи ҳукмронии сулолаи Сомониён (асрҳои IX–X) – яке аз саҳифаҳои барҷастатарини таърихи Осиёи Марказӣ, ки тақони тавоно дар ташаккул ва рушди санъати меъмории гардид, баррасӣ мешавад. Давраи минбаъда, асрҳои миёнаи мутараққӣ ва пасин (асрҳои XI–XVII) дар меъмории санъати минтақа тавассути призмаи се марҳилаи рушд баррасӣ шуда, давраи аз асри XI то ибтидои асри XIII барои меъмории Тоҷикистон сазовори унвони классикӣ муайян карда мешавад. Намунаҳои синтези санъат дар меъмории дар ҷамоати деҳоти Чоркухи ноҳияи Исфараи вилояти Суғд мебошад. Хусусияти он дар сохти мураккаби ҷубини он аст, ки бе меҳ қомат рост карда, бо қандақориҳои доимии бадеӣ оро дода шудааст. Тамоми қисматҳои мақбара бо қандақорӣ пушонда шудаанд. Дар давраҳои асрҳои миёнаи мутараққӣ санъати тасвирӣ (расми девор, ҳайкалтарошӣ) ҷузъи ҷудонашавандаи маҷмааҳои меъмории ва ҳаёти маънавии ниёгони тоҷик буд. Таъкид мешавад, ки биноҳои он замон, аз қабилҳои мақбараҳо, қасрҳо ва масҷидҳо бо муҷассама ва таносуби мутаносибӣ худ фарқ мекарданд. Дар мақола навъҳои гуногуни унсурҳои ороишӣ, аз ҷумла қошинқорӣ (мозаика), хишти ороишӣ, гач ва наққошӣ, ки дар таркиби умумии иншоотҳо ба таври бефосила омехта шуда, заминаи муносибати эҷодии меъмории минтақаро ба амалисозии ҷашну анъанаҳои гузашта ташкил медиҳанд, таъкид шудааст.

**Калидвожаҳо:** *санъати тасвирӣ, меъмории, ороиши дохили бино, муҷаммасозӣ, намо, гунбазҳои ороишӣ, масҷид, ороиш, кундал, деворнигораҳо.*

## SYNTHESIS OF ARTS IN THE ARCHITECTURE OF TAJIKISTAN IN THE PERIODS OF THE HIGH AND LATE MIDDLE AGES

J.Sh. Ghanizoda

This article examines the Samanid era (9th–10th centuries) – one of the most striking pages in the history of Central Asia, which became a powerful impetus in the formation and development of art in architecture. Further, the developed and late Middle Ages in the architecture of the region (11th–17th centuries) are considered through the prism of three important stages, where the period from the 11th to the beginning of the 13th century is defined as classical for the architecture of Tajikistan. A striking example of the synthesis of arts in architecture in the republic is the Hazrati Posho (Mir Hamza) mausoleum in the Chorkukh jamoat (rural community) of the Isfara district of the Sughd region. Its uniqueness lies in its complex wooden structure, erected without the use of nails and decorated with artistic carvings. In the early Middle Ages, fine arts (wall painting, sculpture) were an integral part of architectural ensembles in the spiritual life of the ancestors of the Tajiks. It is emphasized that buildings of that time, such as mausoleums, palaces and mosques, were distinguished by their monumentality and harmonious proportions. The article highlights the rich diversity of decorative elements, including mosaics, carved brick, plaster, and painting, which blend seamlessly into the overall composition of the buildings, forming the basis for the creative approach of the region's architects to the application of past traditions.

**Keywords:** *fine arts, architecture, interior, monumentality, facade, decorative domes, mosque, ornament, kundal, wall painting.*

### Введение

Период правления династии Саманидов (IX – X вв.) – один из самых ярких страниц истории таджикской культуры. В это время таджикское зодчество достигло расцвета благодаря синтезу

архитектурных форм и декора, что позволило создать неповторимые и уникальные художественные образы.

Зодчество эпохи Саманидов служит достоверным источником информации о той эпохе. Этот период характеризовался мощным творческим подъемом, который, несмотря на смену династий в XI веке, продолжил развитие культуры вплоть до монгольских нашествий XIII века.

### **Методы и результаты исследования**

В те времена шло активное развитие городских центров (Бухара, Самарканд, Балх, Мерв и др.), где возводились дворцы, торговые ряды и культовые сооружения, в том числе главные пятничные мечети [6]. Вокруг мечетей и базаров строились караван-сарай. Начиная с XI века, общественные центры украшались мавзолеями с высокими кирпичными куполами и минаретами, что оживляло художественный облик городов [7].

Развитие культуры Центральной Азии (XI - XVII вв.) прошло через три этапа – домонгольский, тимуридский и период позднего средневековья. В эти времена практиковался широкий взаимообмен мастерами художественных профессий, в частности, приглашение порой издалека снискавших добрую славу зодчих. Миграция мастеров способствовала формированию единого архитектурного стиля при сохранении уникальных местных художественных традиций.

Эпоха развития (или классическая) охватывает XI - начало XIII веков. В это время даже рядовые строения достигли совершенства за счет идеального баланса между инженерной логикой и эстетикой, что ярко проявлялось в облике общественных и культовых зданий.

Архитектурный комплекс Ходжа Машад в Кабодиёне Хатлонской области на юге Таджикистана - это уникальный памятник XI-XII веков, известный своим богатым декоративным убранством. Объект включает в себя два здания (мавзолей и медресе), соединенные сводчатым проходом, и отражает культурное и эстетическое наследие региона [3].

Минарет Калян (Манори Калон), возведенный в Бухаре в 1127 году зодчим Бако, служит выдающимся памятником архитектуры XI-XII вв. Это 50-ти-метровое сооружение отличается сужающейся кверху формой и богатым декором из чередующихся поясов орнаментальной кладки и терракотовой резьбы, завершается арочным фонарем с куполом (рис.1) [7].



*Рисунок 1 – Минарет Калян*

В Зеравшанском регионе Согдийской области сохранились уникальные шедевры зодчества XI-XII веков. Один из них мавзолей-мечеть Мухаммада Бошаро в селении Мазори Шариф под Пенджикентом. Изначально это было купольное сооружение с угловыми комнатами, но в 1332 году был пристроен портал, украшенный резной терракотой и цветными глазурованными плитками. Другой редчайший памятник того периода находится в селении Чоркух Исфариийского района Согдийской области – мавзолей Хазрати Бобо (Мир Хамза). Как отмечает исследователь Рузиев М.А., его уникальность заключается в деревянном айване, который собран без единого гвоздя. Весь резной декор выполнен исключительно по дереву [2; 5].

Таким образом, дизайн мавзолея в Чоркухе свидетельствует о глубоких культурных связях между горной долиной Исфары и Пенджикента. В местной резьбе по дереву прослеживаются пережитки доисламской идеологии, здесь уцелели мифологические зооморфные образы. В частности, консоли длиной около 80 см удивительно напоминают зеравшанский почерк. Однако мастера Исфары придали им большую декоративность. Если в Мазори Шарифе такие детали сохраняли явное сходство с головой быка, то в Чоркухе они почти полностью скрыты под плотным растительным и геометрическим орнаментом, лишь изредка повторяя архаичные формы [6; 2;].

В развитой средневековой культуре предков таджиков произошла существенная трансформация художественного языка. Настенная живопись, скульптура были неотъемлемой частью архитектурных ансамблей в духовной жизни и эти виды пластических искусств сошли на нет. Выдвинулись вперед отделочные работы. Пластика и монументально-декоративная живопись исключилась из обихода. Скульптуру заменил плоский орнамент, а живопись, хотя и некоторым образом сохраняла интерес к сюжетам придворной жизни, испытывала сильное воздействие прикладных искусств, и в них образ человека и животного мира растворялись чаще в орнаменте. Следовательно, потеря синтеза архитектуры с изобразительным искусством была восполнена орнаментом, как средство художественного обогащения интерьера архитектурных сооружений. Творчество мастеров было направлено на развитие систем сводов и куполов, отработку техники фигурных и резных облицовок, совершенствование орнаментальной резьбы по дереву, ганчу и общепринятые на всем Среднем Востоке стилизованные растительные узоры или «ислими» [6; 8; 10].

Таким образом, архитектурные наследия того времени (мавзолеи, дворцы и мечети), характеризующиеся строгой монументальностью и выверенными пропорциями, демонстрируют богатое разнообразие декоративных элементов. Мозаика, резной кирпич, штукатурка и роспись выступали не просто украшением, а структурным компонентом, дополнявшим художественную целостность зданий и сооружений.

Вторжение монголов в XIII веке привело к разрушению оросительных систем в Центральной Азии из-за гибели оседлого населения, которое поддерживало эти системы. В результате, плодородные земли были превращены в полупустыни, и только к концу XIII века стабилизация хозяйственной жизни позволила возобновить строительство. «Роль таджиков в Центрально-Азиатском регионе, несмотря на правление регионом арабами, тюрками, а затем монголами, не только как основных оседлых земледельцев, но и создателей научных, культурных и художественных (в том числе и архитектурных) ценностей была во все века велика» [7].

Следует отметить, что архитектура этого периода не только отражала религиозные и культурные ценности, но и демонстрировала высокое мастерство и художественный вкус местных зодчих и ремесленников. Синтез искусств в архитектуре XIII века стал важной частью культурного наследия региона, оказав влияние на последующие архитектурные стили.

## Обсуждения

Архитектура XIV-XV веков на территории современного Таджикистана не была представлена исключительно крупными ансамблями, а скорее сочетала крупные ансамбли с более мелкими постройками. Действительно, в отличие от некоторых других была характерна умеренность в использовании излишне сложных декоративных элементов, однако архитектурные стили того периода отличались высоким уровнем мастерства в области украшения зданий.

К середине XV века относится постройка мавзолеев «Ишратхана» и «Ак-Сарай» в Самарканде, которые являются выдающимися образцами тимуридской архитектуры. Оба

сооружения имеют сложную пространственную структуру, основанную на центральных объемах с подчиненными им боковыми помещениями, а их богатое декоративное оформление сочетается с продуманной системой пропорций. Растительный, или по-другому исламский орнамент оказал значительное влияние на Тимуридскую эпоху формы декоративного искусства, особенно на украшение интерьеров. Главный декоративный эффект достигался благодаря использованию золотой росписи в технике «кундаль» [7; 8;10].

После падения Тимуридской династии и возвышения Шейбанидов в конце XV - начале XVI веков в архитектуре и искусстве региона произошел переход от тимуридского величия к новым, но менее заметным тенденциям. Зодчество XVI века ознаменовано качественной эволюцией инженерно-конструктивных решений, в основе которой лежало совершенствование сводчато - купольных систем. Ключевыми инновациями данного периода стали отказ от внешней оболочки купола и углубленное развитие системы пересекающихся арок в сочетании с щитовидными парусами, генезис которых восходит к архитектурным традициям XV века.

К числу значимых архитектурных памятников XVI столетия, сохранившихся на территории современного Таджикистана, относится мечеть Султана Абдуллатифа (Кок-Гумбаз) в Истаравшане (ранее Ура-Тюбе). Ее отличительные черты – величественный портал и высокий голубой купол, расположенный на барабане. Крупные формы и двухслойный купол, популярные в тимуридской архитектуре для достижения большей высоты и монументальности, а также для улучшения акустики. Внутреннее убранство включает майоликовую панель в центральном зале и сложный сталактитовый декор михраба. Также к памятникам этого периода относятся двухкамерные мавзолеи Сари Мазор и мечеть Бобо-Таго, мавзолей Махдumi Азам в Гиссаре и Шайха Муслихиддина в Худжанде, мечеть - намозгох в селении Навгилем близ Исфары и другие [6;9;10].

Архитектурный ландшафт региона XVII века характеризуется сохранением монументальных традиций в столичных центрах. К наиболее значимым памятникам Бухары следует отнести мадраса Абдулазиз-хана (1651-1652 гг.), художественное решение которого отличается богато декорированное мозаикой, кое-где рельефной, в майоликах интересны изобразительные сюжеты, а в интерьере мечети и аудитории - пышно разработанные декоративные росписи, а также настенные панно с пейзажной живописью.

На территории Таджикистана в XVII - XVIII вв. архитектурный процесс протекал в условиях децентрализации, что привело к упрощению декоративных форм в провинциальном строительстве. Показательным примером является мавзолей Хол Бойкаро (г. Вахдате), где лаконичность оформления и использование фигурной кирпичной кладки свидетельствуют о характерном приеме архитектуры XI - XII вв. [4]. Тем не менее, сохранились и монументальные тенденции, выраженные в строительстве медресе Мирраджаб Додхо в Канибадаме (1660 г.) и формировании архитектурного облика Гиссарской площади. Ансамбль крепости Гиссара, включающий медресе Кухна (старый) и Нав (новый), чуть позднее - каравансарай Хиштин, а еще позднее - монументальные ворота (Арк) отражает преемственность в развитии средневековой среды.

## Заключение

Синтез искусств в архитектуре Таджикистана прошел долгий путь, результатом которого стал самобытный народный стиль. Благодаря сочетанию традиционной преемственности и новаторских инженерных решений, это наследие успешно интегрировано в современную дизайнерскую среду.

*Рецензент: Исмаилов М — кандидат архитектуры, ст. преподаватель кафедры «Архитектура и градостроительство» ИИИИИ им. академика М.С.Осими.*

## Литература

1. Всеобщая история архитектуры, в 12 - ти томах, т.1. [Текст] // Под ред. О.Х. Халпахчяна. - М.: Стройиздат, 1970. -512 с., ил.
2. Рузиев, М.А. Резное дерево Чорку [Текст] / М.А. Рузиев. - Душанбе: Изд. «Ирфон», 1975. – 62 с., ил.
3. Хмельницкий, С. Г. Мадраса Ходжа Машад. [Текст] / С.Г. Хмельницкий // В кн.: По следам древних культур Таджикистана. - Душанбе: Ирфон, 1978. - С. 117 - 142, ил.
4. Мамаджанова, С. М. Энциклопедия памятников средневекового зодчества Таджикистана [Текст] // С. М. Мамаджанова, Р.С. Мукимов. - Душанбе: Мерос, 1993. - 244 с.
5. Рузиев, М. А. Декоративно-прикладное искусство таджиков. - Душанбе: 2003. -185 с.
6. Мамаджанова, С. Синтез искусств и архитектуры Таджикистана (проблемы развития, взаимодействия и

преемственности). [Текст] // С. Мамаджанова, Р.С. Мукимов, Д.Ганиев. – Душанбе, 2006. - 187 с. ил.

7. Мамадназаров, М. Памятники зодчества Таджикистана [Текст] // М. Мамадназаров. - М.: Прогресс-Традиция, 2015. - 496 с., ил.

8. Ганизода, Ҷ.Ш. Масъалаҳои омӯзиши таърихи ташаккул ва рушди санъати амалии ороиши Тоҷикистон. / Ҷ.Ш. Ганизода, С. Ақобиров // Маҷаллаи “Фарҳанг ва санъат” Донишқадаи давлатии фарҳанг ва санъати Тоҷикистон ба номи М. Турсунзода .№4 – Душанбе, 2018. – С. 53-57. ISSN 2616- 8944.

9. Ганизода, Д.Ш. Вопросы преемственности традиций в архитектуре и искусстве Центральной Азии. / Д. Ш.Ганизода, С.Р. Хаитова, Ф.Н. Турдиева // Политехнический вестник. (серия: инженерные исследования). № 3 (47) - Душанбе: Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими, 2019. - С. 121-126. ISSN 2520 –2227

10. Ганизода, Ҷ.Ш., Наққошӣ (китоби дарсӣ) / Ганизода Ҷ.Ш., Ақобиров С., Рақибов М.// Бо қарори Шӯрои методии Донишқадаи давлатии санъати тасвирӣ ва дизайни Тоҷикистон (ДДСТДТ) (суратчаласаи №5, аз 26 майи соли 2022) тасдиқ ва барои ҷоп тавсия шудааст. - Душанбе, 2024. - 141 с.

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

| TJ                                                       | RU                                                           | EN                                                        |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ғанизода Ҷамшед Шучоат<br>унвонҷӯӣ                       | Ғанизода Ҷамшед Шуджоат<br>соискатель                        | Ganizoda Jamshed Shujoat<br>applicant                     |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи<br>М.С. Осимӣ   | Таджикский технический<br>университет им. акад.<br>М.С.Осими | Tajik Technical University named<br>after acad. M.S.Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:jamna@mail.ru">jamna@mail.ru</a> |                                                              |                                                           |

## ЗАВИСИМОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА ОТ ЕГО СТРУКТУРЫ

А.А. Акрамов

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Работы, выявляющие зависимость активности клинкера от степени измельчения и минералогического состава, свидетельствуют, что при постоянных режимах обжига и охлаждения на данной производственной линии в течение установленного периода времени структура материала может быть приближённо принята за стабильную. В рамках данного исследования проанализировано влияние структурных особенностей портландцементного клинкера на его активность, данные о которых были получены в ходе изучения ключевых клинкерных минералов. Анализ шести полиморфных форм алита с определением параметров кристаллической решётки позволил выявить характерные фрагменты рентгенограмм, позволяющие распознавать различные полиморфные модификации этого минерала.

**Ключевые слова:** алит, клинкер, минералогический состав, рентгеновский фазовый анализ, метод петрографического анализа, минералообразование, кристаллообразование.

## ВОБАСТАГИИ ФАЪОЛИЯТИ ГИДРАВЛИКИИ КЛИНКЕРИ ПОРЛАНДСЕМЕНТ АЗ СОХТОРИ ОН

А.А. Акрамов

Корхое, ки вобастагии фаъолияти клинкерро аз дараҷаи суфташавӣ ва таркиби минералогӣ ошкор мекунад, нишон медиҳанд, ки дар ҳолати доимии оташзанӣ ва хунуккуни дар хати истехсоли дар муддати муайян сохтори маводро тақрибан устувор қабул кардан мумкин аст. Дар ин тадқиқот таъсири хусусиятҳои структуравии клинкери портландсементи ба фаъолияти он таҳлил карда шудаанд, ки маълумот дар бораи онҳо ҳангоми омузиши маъданҳои асосии клинкер ба даст оварда шудааст. Таҳлили шаш шакли полиморфии алит бо муайян намудани параметрҳои торҳои кристаллӣ имкон доданд, ки порчаҳои характерноки шаклҳои дифраксияи рентгенӣ муайян карда шаванд, ки барои шинохтани модификасияҳои гуногуни полиморфии ин минерал имкон медиҳанд.

**Калидвожаҳо:** алит, клинкер, таркиби минералогӣ, таҳлили фазаҳои рентгенӣ, усули таҳлили петрографӣ, ҳосилшавии минералҳо, кристаллҳо.

## DEPENDENCE OF THE HYDRAULIC ACTIVITY OF PORTLAND CEMENT CLINKER ON ITS STRUCTURE

A.A. Akramov

Works revealing the dependence of clinker activity on the degree of grinding and mineralogical composition indicate that with constant firing and cooling conditions on a given production line for a specified period of time, the structure of the material can be approximately accepted as stable. This study analyzed the influence of the structural features of Portland cement clinker on its activity, data on which were obtained during the study of key clinker minerals. Analysis of six polymorphic forms of alite with determination of crystal lattice parameters made it possible to identify characteristic fragments of X-ray diffraction patterns that make it possible to recognize various polymorphic modifications of this mineral.

**Keywords:** alite, clinker, mineralogical composition, X-ray diffraction analysis, petrographic analysis, mineralization, crystal formation.

### Введение

Из одного и того же сырьевого материала с оптимальным химическим составом при изменении режимов обжига и последующего охлаждения клинкера можно получить продукцию с различным минералогическим составом, а также отличающуюся по макроструктуре и микроструктуре [1].

Активность портландцементного клинкера обусловлена множеством факторов, среди которых наиболее значимой является удельная поверхность, фактические количественные доли минералов и общая структура материала. Соотношение между активностью клинкера, степенью измельчения и его минералогическим составом носит сложный характер, поскольку структурные особенности могут значительно отличаться.

Научные исследования, анализирующие зависимость активности клинкера от степени помола и минерального состава, демонстрируют, что при постоянных условиях обжига и охлаждения на данном оборудовании производственной линии в течение некоторого периода времени структура клинкера может быть приблизительно принята за стационарную. Однако на практике поддержание стабильности технологического цикла обжига на заводе представляет собой значительную задачу.

С другой стороны, принимая во внимание прямое влияние процессов обжига клинкера на его структуру и минералогический состав, достижение стабильности этих процессов и их автоматизация становятся реальными при постоянном контроле и поддержании критических показателей на оптимальном уровне [10, 15].

В рамках настоящего исследования проведён анализ влияния отдельной черты структуры портландцементного клинкера на его активность, основанный на результатах изучения ключевых клинкерных минералов.

Исследование характерных свойств проводилось с использованием рентгеновского фазового анализа и петрографических методик [11-14]. Лабораторные испытания проводились на аппаратуре от компании Bruker (Германия): рентгеновском флуоресцентном спектрометре S8 TIGER и дифрактометре D8 ENDEAVOR. Детально проанализированы структурные особенности мелкодисперсной микроструктуры образцов клинкерных минералов и их композитов [5, 9]. Большинство научных работ посвящено влиянию отклонений стехиометрии в силикатных системах на их внутреннее строение. Значительно меньшее количество исследований направлено на выявление связи между изменением химического состава, деформацией кристаллической решётки и способностью минералов к гидратации [2, 3, 6, 7].

Исследование шести полиморфных форм алита методом анализа параметров кристаллической решётки позволило обнаружить специфические участки рентгеновских спектров, отличающихся устойчивыми характеристиками, что обеспечивает возможность разделения различных модификаций данного соединения.

Согласно оценкам А. Гинье и М. Регура, дифракционный пик в диапазоне углов  $2\theta = 51-52^\circ$  при низкой интенсивности характеризуется минимальной вероятностью перекрытия другими отражениями, что делает этот интервал наилучшим выбором для определения алитового состава и его полиморфных разновидностей.

Исследование воздействия полиморфизма на химическую активность  $\text{CaSiO}_3$  выявило различия в гидравлической активности различных модификаций трёхкальциевого силиката. Согласно приведенным данным Р. Кондо в работе «Гидратация минералов портландцемента», моноклинная разновидность алита проявляет более быстрое протекание процесса гидратации по сравнению с триклинической формой. Несмотря на точку зрения ряда ученых — Ю.С. Малинина, В.А. Дмитриевой, О.П. Мчедлов-Петросян, Л.Д. Ершовой, П.А. Староминской, Н.П. Коган, Р. Кондо, А.И. Бойковой — полагающих, что структурная форма алита оказывает минимальное воздействие на его гидравлическую активность, они акцентируют внимание на то, что переход из моноклинной формы в триклинную может быть причиной снижения прочностных характеристик бетона.

Разные учёные не пришли к однозначному выводу о том, какая именно полиморфная форма алита проявляет наибольшую гидравлическую активность. На наш взгляд, отличия связаны с тем, что химические характеристики алитов зависят не столько от их полиморфных разновидностей, сколько от условий кристаллохимической устойчивости данных модификаций — то есть комплекса факторов, влияющих на энергетическое состояние и химический потенциал минерала.

На сегодняшний день синтетический алит изучен довольно глубоко, тогда как натуральный алит из промышленного клинкера остаётся менее изученным [8].

В рамках данного исследования была предпринята попытка анализа фазового состава промышленных клинкеров с использованием рентгеноструктурного анализа и петрографического метода.

### **Методы исследований**

При изучении структуры алюминатного компонента применены методы химического и рентгеноструктурного анализа. Оценка активности клинкерного материала проводилась в соответствии с нормативными положениями ГОСТ 30744-2001

### **Экспериментальные испытания**

Исследование влияния структурной организации портландцементного клинкера на его реакционную активность проводилось на промышленных образцах, полученных во вращающихся

печак размером 04,35×54 м, образцы были проанализированы с учётом данных по синтезированным минералам.

Дополнительные исследования искусственно выделенного  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  после модификации различными добавками показали, что характер стабилизации алита определяется типом и концентрацией синтетических фаз (см. рис. 1). В качестве добавок использовались  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$  и чистый  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ .

На рисунке 1 представлены дифрактограммы  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  различных полиморфных модификаций, отличающихся профилем дифракционных максимумов.

Динамика процессов образования минералов и кристаллов в промышленных печах существенно отличается при строгом контроле условий лабораторного синтеза искусственного алита; учитывая, что часть алитовой составляющей складывается ещё на этапе твердофазных реакций, до достижения температуры эвтектики, в пределах одного клинкера могут существовать различные аллотропные модификации; с момента начала плавления и появления жидкой фазы начинается растворение низкотемпературных разновидностей трёхкальциевого силиката, одновременно протекают обменные ионные процессы между твердой и расплавленной фазами, изменяется состав алита, который обогащается примесями, оказывающими влияние на структуру, а также переход к высокотемпературным формам.

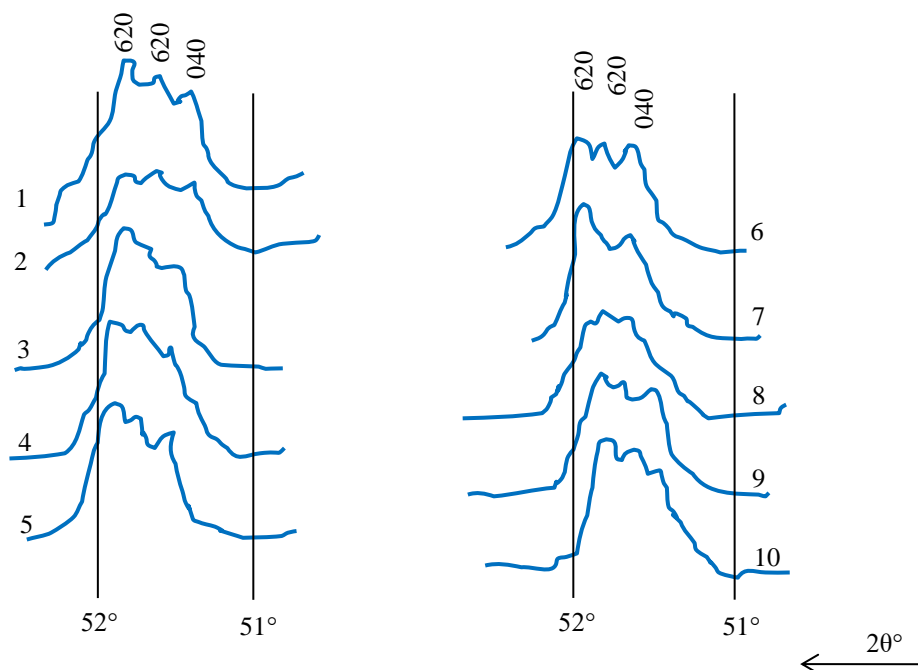


Рисунок 1 – Приведены дифрактограммы синтезированных алитов: 1, 2, 6 – соответствуют триклинной симметрии; 3, 4, 5, 7 – моноклинные модификации; 8 – ромбическая форма; 9 – гетерогенная система, содержащая равные доли моноклинного и триклинного алита; 10 – композитный материал с составом 75 % моноклинного и 25 % триклинного алита.

Повышение температурных режимов и быстрое охлаждение клинкерного материала способствуют формированию разнообразных полиморфных видов алита. Данное явление хорошо иллюстрируется на примере смесей триклинической и моноклинической модификаций (см. рисунок 1). Сопоставление сравнения дифрактограмм 9 и 10 показывает, что увеличение доли моноклинной формы приводит к снижению интенсивности правого пика в триплете в диапазоне  $2\theta = 51\text{--}52^\circ$ .

Дифрактограммы механических смесей разных модификаций алита обладают специфическими особенностями формы линий, отличающимися от тех, что регистрируются для чистых фаз. Полученные данные свидетельствуют о сложном взаимодействии между структурными формами при их совместном присутствии и их композитов и подтверждают, что полиморфные разновидности алита характеризуются хорошо выраженными, легко распознаваемыми профилями

дифракционных линий. Определение состава алитов – с учетом наличия триклинической и моноклинической структур – возможно на основе анализа формы их дифракционных линий. Следовательно, метод рентгеновской дифракции позволяет проводить идентификацию силикатной фазы клинкера.

Дополнительные анализы промышленных клинкеров выявили следующие данные.

В исследование были включены образцы клинкеров, произведённых по мокрым и сухим технологическим методам (см. таблицы 1, 2). В качестве исходной сырьевой смеси использовались мел, суглинки и шлаковые отходы ТадаЗ ТАЛКО.

Таблица 1 — Химико-минералогический состав промышленных клинкеров

| № проб | Химический состав, % |                                |                                |       | Рентгенофазовый состав |                  |                  |                   |                   |
|--------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|        | SiO <sub>2</sub>     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | C <sub>3</sub> S       | C <sub>2</sub> S | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF | CaO <sub>св</sub> |
| 1      | 22,18                | 4,69                           | 3,80                           | 66,74 | 65,1                   | 13,1             | 5,4              | 9,2               | 1,0               |
| 2      | 21,82                | 4,58                           | 3,78                           | 66,88 | 67,0                   | 10,4             | 5,1              | 9,6               | 0,7               |
| 3      | 21,68                | 4,61                           | 3,98                           | 66,90 | 60,8                   | 12,0             | 4,9              | 10,8              | 1,0               |
| 4      | 22,39                | 4,61                           | 3,74                           | 66,93 | 58,0                   | 19,5             | 4,8              | 10,0              | 0,5               |
| 5      | 20,70                | 1,74                           | 3,91                           | 66,98 | 70,1                   | 4,5              | 5,5              | 10,0              | 0,7               |

Таблица 2 — Механико-физические показатели промышленных клинкеров

| № проб | Сроки схватывания, Начало, ч-мин | Нормальная густота теста, % | Остаток на сите 008, % | Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г | Предел прочности при сжатии, МПа через (сут) |      |
|--------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|------|
|        |                                  |                             |                        |                                          | 2                                            | 28   |
| 1      | 2-45                             | 23,4                        | 6,1                    | 3686                                     | 26,4                                         | 52,4 |
| 2      | 3-05                             | 24,0                        | 6,8                    | 3680                                     | 24,6                                         | 51,1 |
| 3      | 2-45                             | 23,4                        | 4,8                    | 3345                                     | 22,6                                         | 50,4 |
| 4      | 2-45                             | 23,8                        | 5,3                    | 3590                                     | 21,7                                         | 48,6 |
| 5      | 1-55                             | 23,4                        | 5,7                    | 3522                                     | 24,9                                         | 53,0 |

Согласно данным таблицы 1, содержание C<sub>3</sub>S в различных клинкерах варьировалось от 58 до 70 %, а уровень свободного оксида кальция – от 0,5 до 1,0 %.

Анализ промышленных клинкеров с практически равной прочностью выявил, что их дифрактограммы (см. рисунок 2) демонстрируют менее выраженные особенности, что затрудняет однозначную идентификацию модификации алита [4]. Такое расхождение, скорее всего, обусловлено значительными различиями в условиях формирования алита и его химическом составе по сравнению с синтезированными образцами, состоящими из трёхкальциевого силиката с присутствием примесных элементов (см. рисунок 1). На рисунке 2 — аналитический триплет в диапазоне 2θ ≈ 51–52° наблюдается чётко выраженная кристаллографическая плоскость около 51°, что, по-видимому, обусловлено преобладанием моноклиновой модификации алита в составе трёхкальциевого силиката.

Анализ дифрактограмм показывает, что в клинкере образца № 2 трёхкальциевый силикат приобретает структуру, близкую к моноклинной, что вызвано присутствием в кристаллической решётке заметных количеств примесей с меньшим ионным радиусом по сравнению с кальцием, а также повышенной долей ковалентного характера связей Me–O.

В клинкере образца № 1 алит также проявляет моноклинную форму – свойственную трём кальций-силикатам, хотя уровень загрязнения примесями ниже (предположительно, не более 2 % MgO против уровня в предыдущем случае). Что касается образцов № 3 и № 4, то в их алите наблюдается ослабленная степень кристаллического развития по сравнению с первыми двумя клинкерами, что затрудняет определение точного типа структуры. У образца № 5 структура существенно отличается от всех остальных – она ближе к ромбоэдрической. (см. рис. 3, структура под номером 8).

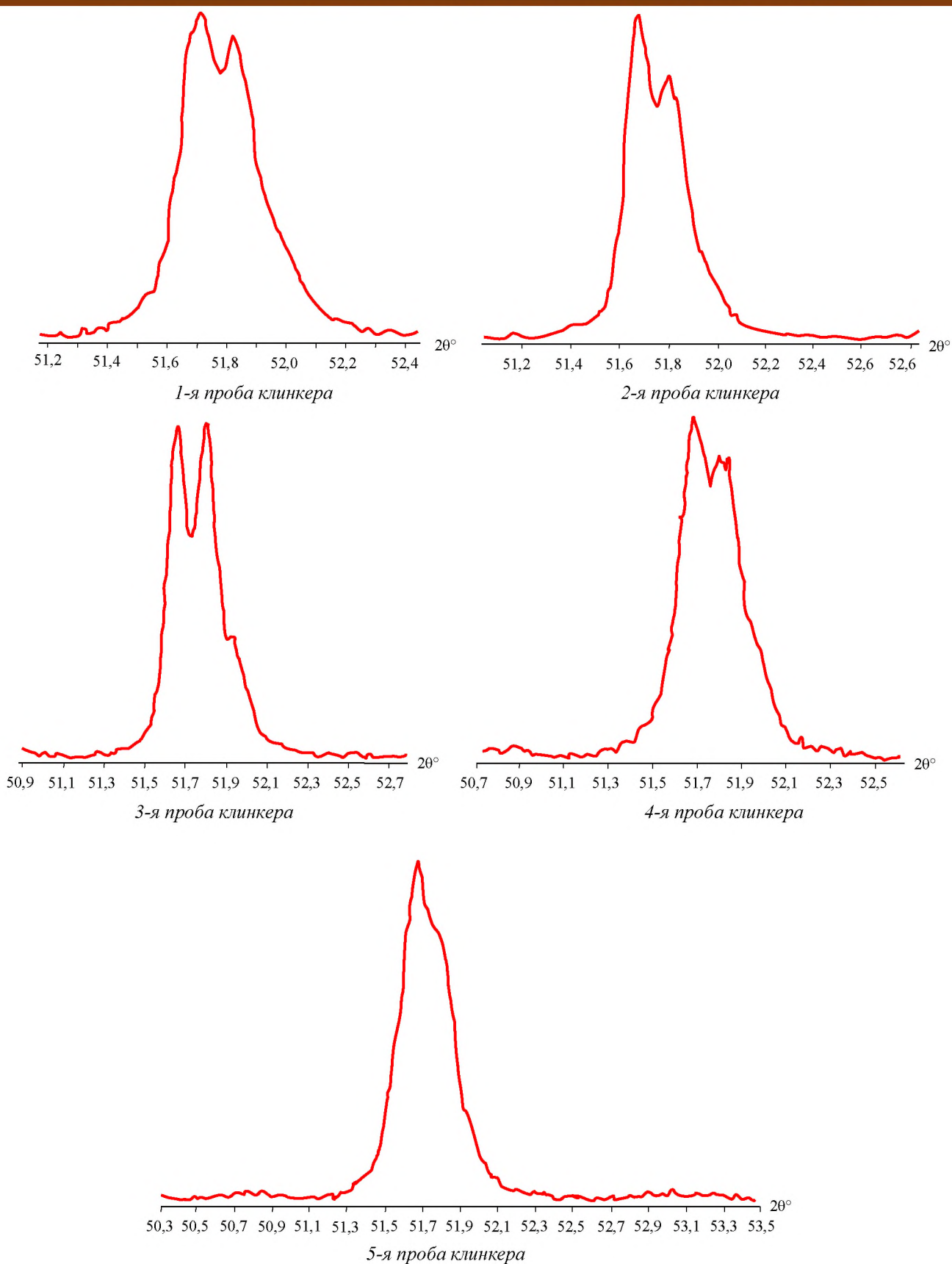


Рисунок 2 – Дифрактограммы промышленных клинкеров

Разброс показателей прочности указанных клинкеров – от 48,6 до 53 МПа – говорит о неодинаковой степени их активности в рамках требований ГОСТ 30744-2001.

На рисунке 3 приведены фрагменты рентгеновских дифрактограмм клинкеров, различающихся по количеству свободного оксида кальция.

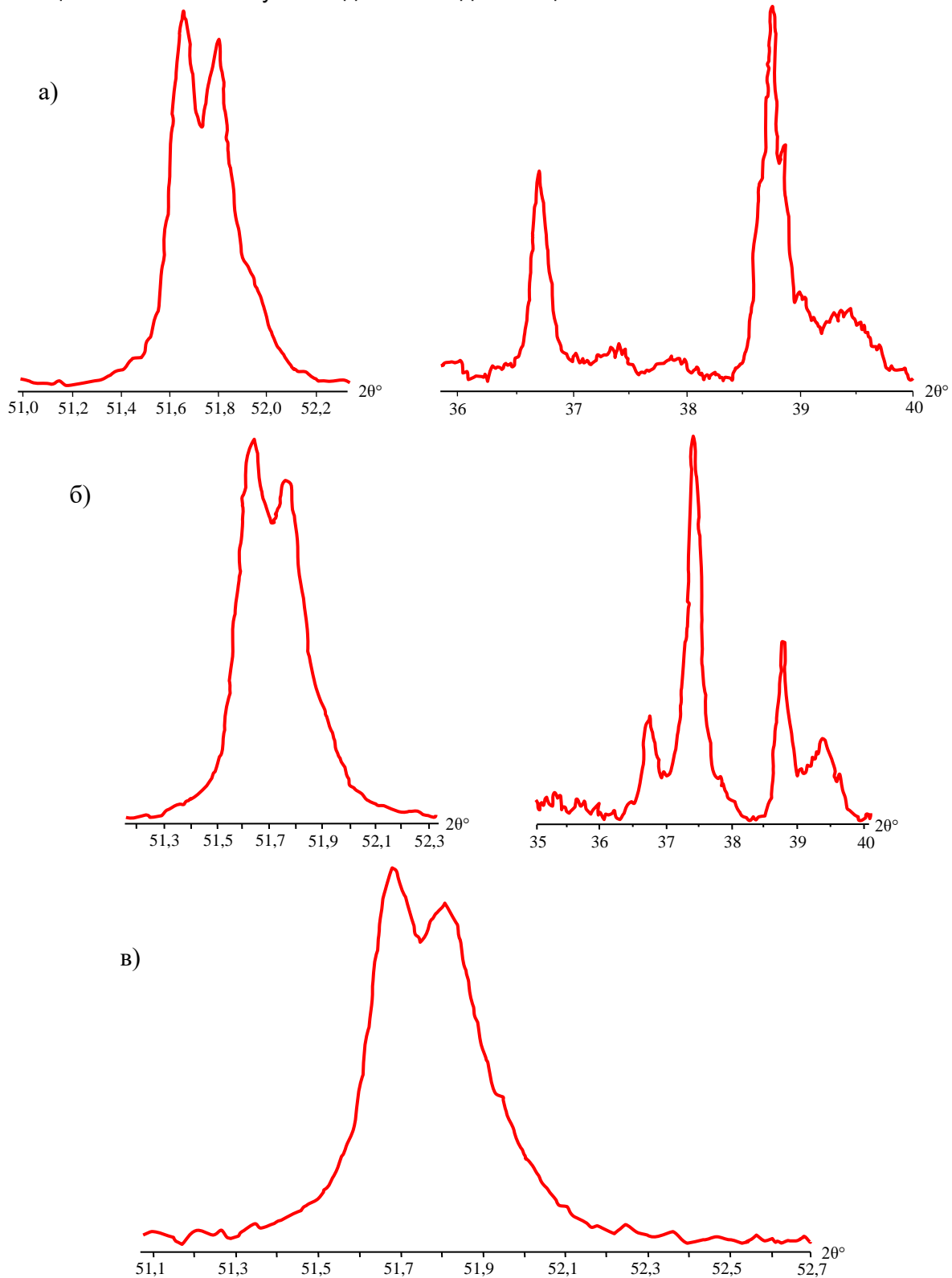


Рисунок 3 — Дифрактограммы промышленных клинкеров при различных значениях содержания свободной извести: а — 0,38 %; б — 3,5 %; в — 5,5 %.

Сравнение аналитических фрагментов дифрактограмм, отражающих присутствие алюмината и магнетита, в цементных клинкерах при изменении доли свободного оксида кальция ( $\text{CaO}_{\text{св}}$ ) указывает на их соответствие. Узкая, слабо выраженная полоса алита наблюдается в клинкере с 5,5 %  $\text{CaO}_{\text{св}}$  – такая характеристика типична для плохо развитых кристаллов, что свидетельствует о наличии структурных дефектов в составе алита.

Из данных дифрактограммы также следует, что образцы клинкеров с 3,5 %  $\text{CaO}_{\text{св}}$  демонстрируют улучшенные характеристики кристаллической решётки за счёт преобладания смешанной моноклиновой модификации алита, хотя неполноценная рекристаллизация приводит к значительному расширению пиков дифракционных максимумов в отличие от идеального моноклинного алита, зафиксированного при 0,38 %  $\text{CaO}_{\text{св}}$ , у данных материалов характерной чертой является устойчивость моноклиновой модификации алита даже при высоком содержании избыточного оксида кальция — до 3,5 %. Подобная стабильность обусловлена присутствием адекватного количества оксида магния ( $\text{MgO}$ ), содержащегося в исходной сырьевой смеси завода. Петрографическое исследование промышленных клинкеров показало, что при различном количественном соотношении минералов их структура во всех случаях оказалась неоднородной, зернистостью неравномерной, а степень кристаллической организации минеральных компонентов – слабо выраженной либо умеренно четкой (рисунок 4).



Рисунок 4 – Микроструктура клинкеров

Алит представлен в виде сплошных агрегатов и частиц необычной формы (рисунок 5), белит — из фрагментов, а также округлых либо асимметричных образований (рисунок 6). Свободный оксид кальция проявляется в виде мелких скоплений (рисунок 7).

Указанные структуры были получены после шлифовки проб, рассматриваемых под увеличением  $500\times$  с использованием травящего состава. – 0,1Н раствора  $\text{HCl}$ . Изображения соответствуют клинкерам, произведённым методом сушки.

Исследование образцов клинкера выявило, что удержание определённых полиморфных форм алита возможно благодаря наличию примесей, а также вследствие диффузионного переноса ионов  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  из расплава при совпадении температурных условий и схожести вязкостных параметров среды.

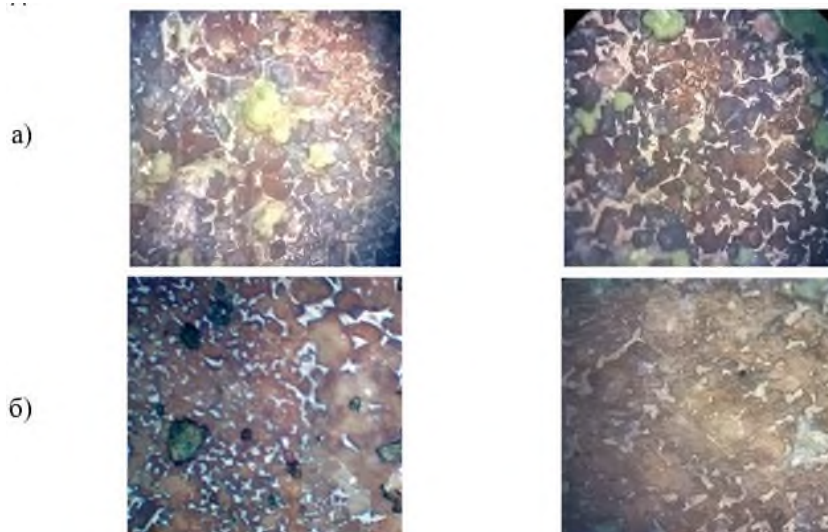


Рисунок — 5. Микроструктура алита: а) — алит состоит из призматических и многоугольных фрагментов сложной, нерегулярной формы; б) — алит образуется за счет спекания мелких и крупных кристаллов, при этом наблюдается явная неоднородность структуры.

Известно [9], что водопроницаемость алита связана со спецификой его кристаллического строения. Следовательно, степень гидравлической активности клинкера напрямую определяется типом модификации алита, которая, по результатам предшествующих исследований, находится в прямой зависимости от состава расплава.



Рисунок 6 – Микроструктура белита: а) – белит характеризуется неравномерной структурой, представленной зёрнами округлой некруглой формы, при этом отдельные кристаллы имеют зубчатые границы; б) – скопления зёрен белита

При анализе гидравлической активности образцов клинкера отмечено, что у образцов с максимальными значениями активности наблюдается чёткая моноклиновая форма алита при минимальной ширине дифракционных максимумов, а фаза алюмоферрита характеризуется хорошо выраженными кристаллическими структурами с преобладанием атомов алюминия – часть ионов  $Fe^{3+}$  в кислородных окружениях замещены ионами  $Al^{3+}$  (образцы клинкера № 6).

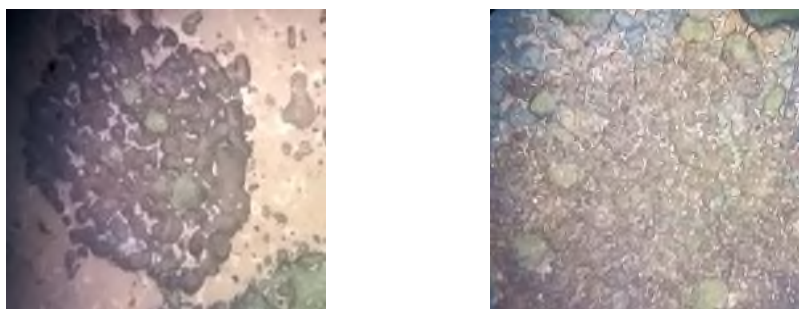


Рисунок 7 – Свободный оксид кальция, расположенный на внешних гранях кристаллической решётки

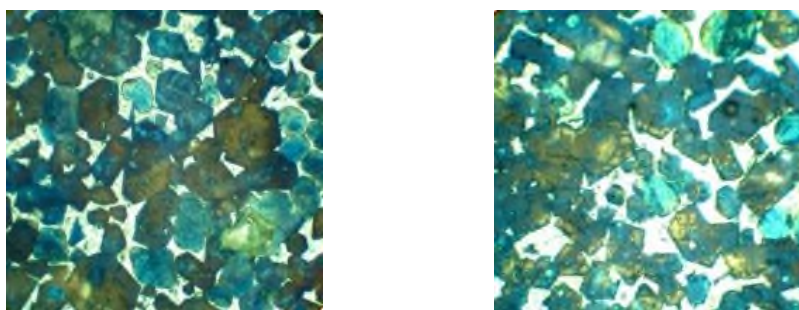


Рисунок 8 – Наглядно показана чёткая кристаллическая форма алита в виде призм и многогранников

У данных клинкеров (рисунок 8) профиль линий алита характеризуется преобладанием интенсивности линии, отвечающей плоскости (620), тогда как у остальных изученных образцов присутствует совокупность перечисленных ранее особенностей, сопровождающаяся пониженной гидравлической активностью.

## Выводы

Сочетание рентгеноструктурного анализа и петрографического исследования способствует выявлению особенностей внутреннего строения алита, оказывающих влияние на гидравлическую активность клинкеров. Высокая активность клинкеров обусловлена присутствием моноклинной формы алита и выраженной кристаллической организацией. У материалов с высоким уровнем активности наблюдается развитая форма алита, что подтверждается при увеличенном содержании свободной извести, особенно если в исходной шихте присутствует адекватное количество оксида магния.

*Рецензент: Хасанзода Н.М. — д.т.н., и.о. профессора кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ТПУ им. акад. М.С.Осими.*

## Литература

1. Андреева Н.А. Химия цемента и вяжущих веществ. Санкт-Петербург, 2011. 67 с.
2. Белов Н.В. и др. Кристаллическая структура трехкальциевого силиката  $3\text{CaOSiO}_2$  // Кристаллография. 1975. Т. 20. Вып. 4. С. 721-729.
3. Бойкова А.И., Есаян А.К., Соколова Р.А., Доманский А.И., Пирютко М.М. Физикохимическое исследование алиитовых клинкеров // Цемент. 1981. № 6. С. 13-15.
4. Бойкова А.И. Микрорентгеноспектральный анализ в химии цемента. Строительные материалы. 2007. № 3. С. 79-84.
5. Бойкова А.И. Особенности минералогии клинкерных композиций и их практическое значение // XX Всероссийское (IV Международное) совещание начальников лабораторий цементных заводов. Москва, 2002. С. 165-172.
6. Акрамов А.А. Влияние железосодержащего компонента на качество клинкера / Акрамов А.А., Абдуганиев А.М. Ашуров И.Ш. // Материалы республиканской научно-практической конференции: «Перспектива развития производства строительных материалов в Республике Таджикистан» (31 марта 2023 г.) Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе, 2023. – С.194-198.
7. Акрамов А.А. Исследование измельчения клинкера различного гранулометрического состава / Акрамов А.А., Юсупов Х.В. // VIII Республиканская научно-практическая конференция «Наука – основа инновационного развития» (27-28 апреля 2023 года). Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе, 2023. – С.155-158
8. Косимов О.Б. Структура конструкционного арболита и влияние её на прочностные характеристики материала / Акрамов А.А., Косимов К.О.угли // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №1 – С. 163-165.
9. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфогерритного клинкера / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 190-194.
10. Акрамов А.А. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия / Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 250-255.
11. Акрамов А.А. Исследование влияния добавок  $\text{ZnO}$  и  $\text{CaF}_2$  на физико-механические свойства белого портландцемента / Акрамов А.А., Абдуганиев А.М. // Материалы международной научно-практической конференции «Наука – основа иновационног развития» ТТУ им. акад. М.С. Осими (18-19 апреля 2024 г.) С.184-186.
12. 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.
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.
14. Акрамов А.А. Улучшение качественных характеристик клинкера от ввода кокса на технологический процесс его обжига / Акрамов А.А., Сиддиқов М.З. // Материалы X-ой международной научно-практической конференции

студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей «Наука – основа инновационного развития», ТТУ им. акад. М.С. Осими.(17-18 апреля 2025 г.), С. 120-123.

15. Акрамов А.А. Сульфатирование высокоосновного ферритного клинкера на основе ферритного отхода / Акрамов А.А., Саидзода Дж.Х., Джуракулов М.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(69), Душанбе, 2025. – С. 128-132.

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

| TJ                                                                     | RU                                                        | EN                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич                                            | Акрамов Авазҷон Абдуллоевич                               | Akramov Avazjon Abdulloevich                                        |
| Номзади илмҳои техники, дотсент                                        | Кандидат технических наук,<br>доцент                      | Candidate of technical sciences,<br>associate professor             |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С.Осимӣ         | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С.Осими | Tajik Technical University named<br>after Academician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a> |                                                           |                                                                     |
| <a href="tel:0000-0002-7084-9128">0000-0002-7084-9128</a>              |                                                           |                                                                     |

## ТАДҚИҚИ ПРИНЦИПҲОИ ЛОИҲАКАШИИ КОНСТРУКСИЯҲОИ ИҶОТАДЕВОРИИ ЭНЕРГИЯСАМАРАНOK

Д.Ф. Қаландаров

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур муносибати муосири лоиҳакашии конструксияҳои иҷотадевории берунаи энергиясамаранокӣ мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Диққати асосӣ дар ин маврид ба таҳлили тавсифоти гармотехникӣ, хусусиятҳои ҳалли конструктивӣ, интихоби масолеҳи гармимӯҳофизӣ ва коҳишёбии талафоти гармӣ дода шудааст. Принципҳои пешниҳодгардидаи бунёди деворҳои берунаи иҷотавии бисёрқабата, дар асоси баназаргирии шароитҳои иқлимӣ маҳал, меъёру қоидаҳои амалкунанда ва талаботи рушди устувори сохтмон таҳия карда шудаанд. Натиҷаҳои тадқиқот муҳимияти муккамалсозии системаҳои иҷотадевории берунаи биноҳоро, бо мақсади афзоиш додани энергиясамаранокии умумии онҳо ва коҳиш додани хароҷоти истифодабарӣ исбот менамоянд.

**Калидвожаҳо:** конструксияҳо, энергиясамаранокӣ, гармимӯҳофизӣ, истеъмоли энергия, сохторҳои мӯҳофизатӣ, иҷотадеворҳо, бисёрқабата.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Д.Ф. Каландаров

В данной статье рассматривается современный подход к проектированию энергоэффективных наружных стеновых конструкций. Основное внимание уделено анализу теплотехнических характеристик, особенностям конструктивных решений, выбору теплоизоляционных материалов и снижению теплопотери. Предложенные принципы построения многослойных наружных стеновых конструкций разработаны с учетом местных климатических условий, действующих норм и правил, а также требований устойчивого строительства. Результаты исследования подтверждают важность совершенствования наружных стеновых систем зданий для повышения их общей энергоэффективности и снижения эксплуатационных расходов.

**Ключевые слова:** конструкции, энергоэффективность, теплоизоляция, энергопотребление, защитные конструкции, стены, многослойные.

## RESEARCH ON DESIGN PRINCIPLES OF ENERGY EFFICIENT ENCLOSURE STRUCTURES

D.F. Kalandarov

This article discusses the modern approach to the design of energy-efficient external wall structures. The main attention is paid to the analysis of thermal characteristics, features of constructive solutions, the selection of thermal insulation materials and the reduction of heat loss. The proposed principles for the construction of multi-layer external wall structures have been developed based on the consideration of local climatic conditions, current norms and rules, and the requirements of sustainable construction. The results of the study prove the importance of improving the external wall systems of buildings in order to increase their overall energy efficiency and reduce operating costs.

**Keywords:** structures, energy efficiency, thermal insulation, energy consumption, protective structures, walls, multi-layer.

### Муқаддима

Дар таҷрибаи муосири лоиҳакашии биноҳои шаҳрвандии энергиясамаранок мафҳуми самараи сарфаҷӯии гармӣ, маҷмуи натиҷаҳои чорабиниҳоро, ки барои кам намудани талафоти гармии биноҳо ба воситаи конструксияҳои иҷотавии беруна, бо назардошти ниғадории микроиқлими мусоиди дохила амалӣ мегарданд, ифода менамояд. Мафҳуми мазкур маънои коҳишдиҳии эҳтиёҷоти гармкуниро аз ҳисоби муқовимати гармигузаронӣ дорад.

Тадқиқоти воқеии иҷрогардида дар биноҳои шаҳрвандии сохташуда нишон доданд, ки яке аз вазифаҳои асосии биноҳои энергиябосамар, зарурати таъмини микроиқлими мусоиди ҳуҷраҳо, бо сабаби пешбинӣ намудани тирезаҳои ҳавогузар, муқовимати нокифояи ҳавогузаронии конструксияҳои иҷотавдевори беруна (КИБ) ва фаъолияти нодурусти системаҳои ҳавотозакунӣ табиӣ, ҳалалдор гардидааст. Дар чунин мавридҳо зарурати таҳияи ҳалҳои меъмориву конструктивии иҷотадеворҳои беруна, ки афзоиш додани ҳаҷми ҳавои тозаи воридшаванда ва коҳиш додани хароҷоти энергияро барои гармкунӣ дар мавсими сармо боназардошти сарфи камтарини захираҳои моддиву техникӣ имконпазир мегардонад, пайдо мегардад.

Аз ин лиҳоз, таҳияву коркарди ҳалҳои инноватсионии танзим намудани раванди табодули гармӣ, аз ҷумла ҳавогузарӣ ба воситаи иҷотадеворҳои беруна, ки имконияти пешбинӣ намудани конструксияҳои деворҳои “нафаскашанда”-ро фароҳам меоваранд, ҳамчун яке аз вазифаҳои асосии тадқиқоти мазкур ба ҳисоб меравад.

Дар мақолаи мазкур бо назардошти натиҷаҳои таҳлилу тадқиқҳои иҷрошудаи сарфаҷӯии гармӣ дар КИБ, ки он имкон медиҳад арзёбии тахминии сарфаи энергияи гармии ҳуҷраҳо аз ҳисоби кам кардани ҳавои хуноки воридшаванда ва миқдори гармӣ барои гарм кардани он, пешниҳод гардад.

### Мавод ва усулҳои тадқиқот

Дар биноҳои мавриди тадқиқ қарор додашуда, муайян гардид, ки дар аксари ҳолатҳо ҳавоивазшавии ҳуҷраҳои онҳо ва умуман муҳити дохила аз нишондиҳандаҳои меъёри ба таври назаррас камтар мебошанд. Дар чунин маврид таҳия ва қабул намудани ҳалҳои меъморӣ конструктивӣ, ки ба афзоиши ҳаҷми ҳавои тозаи воридшаванда аз ҳисоби танзим намудани чараёни он ба воситаи сохтори масомадори КИБ мусоидат менамоянд, зарур мебошад.

Ба самараи сарфаҷӯии гармӣ дар конструксияҳои ихтавии беруна як қатор омилҳои асосӣ, аз қабилӣ намуди КИБ (якқабата, бисёрқабата), истифодаи масолеҳҳои гармимӯҳофиз, ғафсӣ ва зичии қабатҳои он, мавҷудияти ҷойҳои хунокигузар, ҳолати намнокии конструксия ва инчунин ҳавоногузаронии банду чокҳои ихтадеворҳо таъсир мерасонанд. Арзёбии самараи сарфаҷӯии гармӣ дар КИБ асосан бо роҳи муқоисавии муқовимати гармигузаронии воқеӣ бо меъёри ( $R_v$  ва  $R_m$ ), хароҷоти солони энергияи гармӣ то ва баъди амалисозии чорабиниҳо ва инчунин мусоидати ҳароратӣ дар ҳуҷраҳо ( $t_{дохила}$  бо  $t_{беруна}$ ) амалӣ мегардад.

Дар оғози тадқиқоти мазкур пешбинӣ гардида буд, ки тарзу усули муносибгардонии инфилтратсияи ҳавои хуноки имкон медиҳад таъйиноти сарфаҷӯии энергияи КИБ-и намуди муайяни нисбатан ҳавоногузари сохтори капилляриву масомадори сабукро баланд бардорад. Талаботи муосир оид ба гармимӯҳофизӣ ва босамарии энергетикӣ биноҳо ва иншоот дар назди лоиҳакашон ва мутахассисони соҳа вазифаҳои мубрами интихобу тарҳрезии конструксияҳои ихтадевории самаранокро, ки дорои хусусиятҳои таъмин намудани сатҳи баланди гармимӯҳофизӣ ва устувориро нисбати таъсироти берунаи иқлимӣ мебошанд, гузоштааст. Онҳо бо назардошти хусусиятҳои физикиву техникӣ ва бартарияти конструктивӣ худ, дар таҷрибаи муосири сохтмонӣ ҳар чӣ бештар маъмулу маъруф гардида истодаанд [1, 2].

Ихтадевори берунаи бисёрқабата ҳалли конструктивӣ мебошад, ки дар таркиби худ якчанд қабати конструктивӣ вазифаҳои алоҳида иҷрокунанда, аз ҷумла, қабати борбардор (ҳишт, бетон, блокҳо), қабати гармимӯҳофиз (маъданпахта, пенопористирол ва ғ.) ва қабати рӯйпӯшиву ороширо (намолавҳаҳо, андова, системаҳои овезон) дар бар мегирад.

Бартариҳои КИБ бисёрқабата аз сатҳи гармимӯҳофизии баланд, имконияти васеъ дар интихоби масолеҳ, ҳимояи қабати гармимӯҳофиз аз таъсири омилҳои беруна ва эҳтимолияти азнавсозиву таҷдид метавонад иборат бошад. Ҳамзамон, бояд қайд намуд, ки дар лоиҳакашӣ ва истифодаи конструксияҳои ихтадевории мазкур як қатор мушкилот, тимсоли намнокшавии гармимӯҳофиз (дар мавриди буғмӯҳофизии нодурусту нокофӣ), мурак্কбии технологияи васлу насб ва хавфи пайдо гардидани “ҷойҳои хунокигузар” дар ҷойҳои пайваस्तшавӣ ва чокҳои ҷойдошта, вучуд дошта метавонад.

Таҳлили муқоисавии ихтадеворҳои бисёрқабата бо КИБ якқабата, ки ҳоло дар таҷрибаи хориҷиву ватании сохтмони биноҳову иншоот мавриди истифодабарии васеъ қарор гирифтаанд [8, 9, 10].

Конструксияҳои ихтадевории берунаи бисёрқабата намуди конструктивӣ мусоиди ихтадеворҳо дар бунёди биноҳои энергибосамар дар шароити иқлимӣ гарм, аз ҷумла ҚТ ба ҳисоб меравад. Истифодаи дурусту мусоиди онҳо метавонад талафоти гармии ихроҷшавандаро ба дараҷаи назаррас коҳиш дода, ҳузуру ҳаловат ва устувориву пурдошти биноҳо ва иншоотро таъмин намояд. Ҳамзамон, боиси зикр аст, ки барои ба даст овардани самаранокии онҳо ҳисобҳои аниқӣ конструктивӣ гармотехникӣ, интихоби дурусти масолеҳи сохтмонӣ ва амалисозии корҳои васливу сохтмонӣ дар сатҳи баландӣ меъёри зарур мебошад.

Дар байни намудҳои гуногуни конструксияҳои ихтадевории бисёрқабатаи беруна, аз нуқтаи назари самаранокии технологиву иқтисодӣ шакли саноатии оmodасозии онҳо, яъне конструксияҳои лавҳавӣ бештар ҷолибу мувофиқи мақсад ба ҳисоб мераванд.

Бояд қайд намуд, ки то ҳол қатори назарраси тавсияҳо оиди интихоби ҳалҳои конструктивӣ деворҳо боназардошти шароитҳои маҳаллии бунёди биноҳо, масолеҳу конструксияҳои самараноки деворӣ таҳияву тарҳрезӣ шудаанд ва онҳо бевосита ҳимояи зарурии ҳуҷраҳоро аз таъсироти иқлимӣ беруна (боришоту шамол, нӯрпошии офтоб ва ғ.) метавонанд таъмин кунанд.

Муқоисаву интихоби намудҳои босамартар дар асоси арзёбиҳои иқтисодӣ, ки сарфи маблағгузориҳоро барои истеҳсолу оmodасозии маснуот, васлу насб ва хароҷотро дар раванди истифодабарӣ дар бар мегирад, дар асоси ҳисобҳои зарурӣ бояд амалӣ гардад. Дар ин маврид,

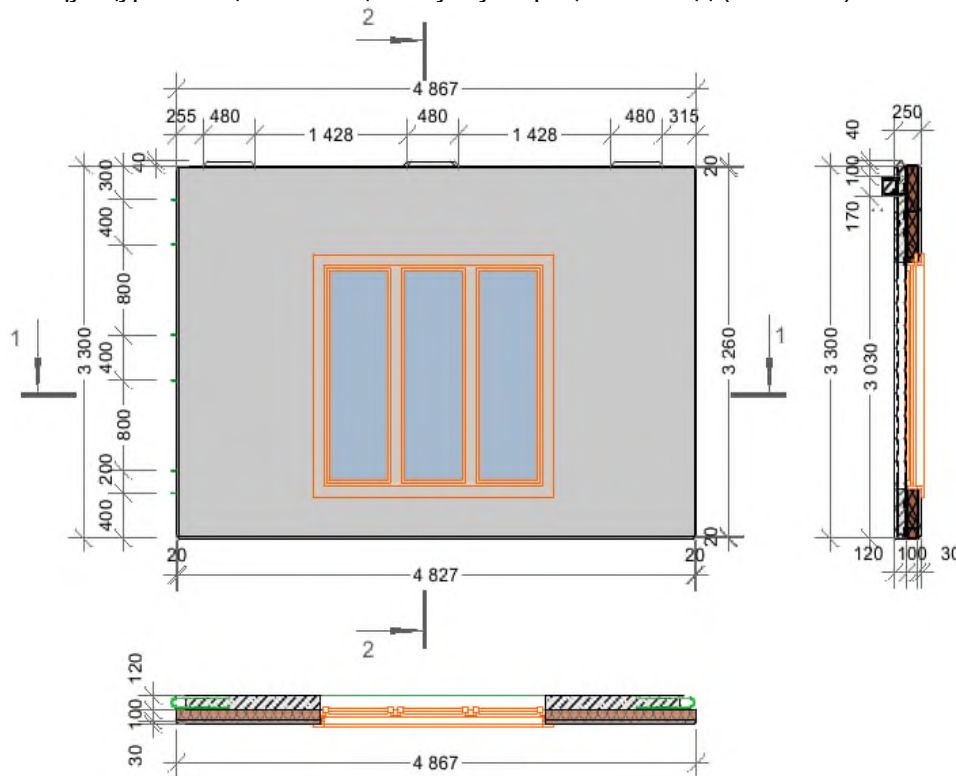
баназаргири таъминоти мусоидтари шароити зисту зиндагӣ ва фаъолияти одамон дар биноҳо низ муҳим мебошад.

Дар таҷрибаи сохтмон ва истифодабарии биноҳои лавҳавӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, истифодаи лавҳадеворҳои бисёрқабатаи васливу истехсоли корхонавӣ то ҳол ба чашм нарасидааст. Биноҳои калонлавлҳои шаҳрвандӣ, хусусан истиқоматӣ дар солҳои 70-90-уми асри ХХ мавриди бунёду истифодабарии васеъ қарор гирифта буданд, ки аксари онҳо ҳоло ҳам вучуд доранд. Боиси зикр аст, ки деворҳои биноҳои мазкур танҳо дар намуди конструктиви якқабата аз бетонҳои сабук (керамзитобетон) ва миқдори назарнораси онҳо, бо ҳалли конструктиви дуқабата бунёд шудаанд.

Лавҳадеворҳои биёрқабатаи (сеқабатаи) деворӣ, ки аз қабати беруна, дохила ва қабати мобайнии гармимухофизӣ иборат мебошанд, бештар дар таҷрибаи сохтмони мамӯлики хориҷи наздик (Россия, Украина, Белоруссия ва дигарон), ки иқлими нисбатан сард доранд, ба чашм мерасанд. Онҳо аз масолеҳҳои оҳанубетонӣ, керамзитобетон ва ғайра сохта мешаванд.

Дар қатори бартариҳо, лавҳадеворҳои васлии оҳанубетонии сеқабата дорои як камбудии назаррас мебошанд. Мавҷуд будани теғаҳои пайвандкунандаҳои қабатҳои оҳанубетонии берунаву дохила, унсурҳои гармигузаронро ба вучуд меоранд, ки сабаби паст шудани хусусияти гармимухофизӣ ва намнокшавӣ дар давраи сармо мегарданд.

Таҳлилу баррасии як қатор лавҳадеворҳои мавҷуда, ки аз ҷониби мутахассисони гуногун тарҳрезӣ ва пешниҳод шудаанд [4, 5] нишон медиҳад, ки ҳалли хуби мусоидтарини техникӣ дар байни онҳо, лавҳадевори [5] аз ҷониби гуруҳи мутахассисони ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, зери роҳбарии профессор Ҳасанзода Н.Н. тарҳрезигардида, барои истифодабарӣ дар шароитҳои табииву иқлимии Ҷумҳурии Тоҷикистон қолибу мувофиқ мебошад (Расми 1).



Расми 1 – Лавҳадевори сеқабатаи энергиясамаранок барои биноҳои камошён

Лавҳадевори бисёрқабатаи берунаи (ЛББ) дигар аз ҷониби гуруҳи илмиву эҷодии муҳаққиқони ДТТ ба номи М.С.Осимӣ бо иштироки муаллифи диссертатсия таҳия ва пешниҳод карда шудааст. [6, 7].

ЛББ-и мазкур аз се қабати конструктивӣ иборат буда, дар умум ғафсии он ба 150мм баробар мебошад ва он ҳамчун ихотадевори ғайриборбардори беруна барои конструкцияҳои оҳанубетонии синҷӣ мавриди истифода қарор дода мешавад. Қабати дохила бо ғафсии  $\delta = 80.0\text{мм}$ , аз керамзитобетони зичиаш  $P=1600\text{кг/м}^3$  ва дорои коэффитсиенти ҳисобии гармигузаронии  $\lambda=0,67$

Вт/(м·°C), қабати миёнаи гарминигаҳдор бо ғафсии  $\delta=50,0$ мм, аз пеноплекси зичиаш  $P=50$ кг/м<sup>3</sup> ва коэффитсиенти ҳисобии гармигузаронии  $\lambda=0,034$  Вт/(м·°C) ва қабати беруна аз шишафибробетон бо ғафсии  $\delta=0,025$ мм, бо зичии  $P=1850$ кг/м<sup>3</sup> ва коэффитсиенти ҳисобии гармигузарониаши  $\lambda=0,52$  Вт/(м·°C) пешбинӣ шуда, барои истифодабарӣ дар шароити иқлимиву табиӣ ш. Душанбе тавсия дода мешавад (Ҷадвали 1).

Ҷадвали 1 – Тавсифоти физикии масолеҳҳои қабатҳои конструксияи ЛББ

| Номгӯи қабатҳои конструктивӣ | Зичии масолеҳ $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Коэффитсиенти ҳисобии гармигузаронӣ $\lambda$ , Вт/(м·°C) | Ҷафсии қабат $\delta$ , м | Бузургии ҳисобии муқовимати гармигузаронӣ $R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт | Бузургии меъёрӣ муқовимати гармигузаронӣ $R_n$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт |
|------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Керамзитобетон               | 1600                                     | 0,67                                                      | 0,08                      | 1,78                                                                  | 1,6                                                                    |
| «ПЕНОПЛЭКС»                  | 50                                       | 0,034                                                     | 0,05                      |                                                                       |                                                                        |
| Шишафибробетон               | 1850                                     | 0,52                                                      | 0,025                     |                                                                       |                                                                        |

Ҳисоби хусусиятҳои гармотехникии лавҳадевори пешниҳодшуда дар шароитҳои ҳавои сарди зимистон ва ҳавои гарми тобистона бо назардошт ва тавсияву талаботи меъёру қоидаҳои амалкунандаи сохтмонӣ МҚС ҚТ 23-02-2021 «Гармимуҳофизии биноҳо» амалӣ карда шудааст.

### Натиҷаҳо

Ҳадафи асосии тадқиқи ЛББ, ки бо иштироки бевоситаи муаллиф дар ҳайати гуруҳи кории муҳаққиқони кафедраи меъморӣ биноҳо ва иншооти ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ зери роҳбарии доктори меъморӣ, профессор Ҳасанзода Н.Н. ҳануз дар соли 2022 амалӣ карда шуда буд, аз муайянсозии нишондиҳандаҳои гармотехникии лавҳадевор, бо роҳи тадқиқоти таҷрибавӣ тибқи методикаи дар ҳуҷҷатҳои меъёрӣ ГОСТ 25380, ГОСТ 26254 ва ГОСТ 26602.1 [6, 8, 10] пешбинишуда, иборат мешавад.

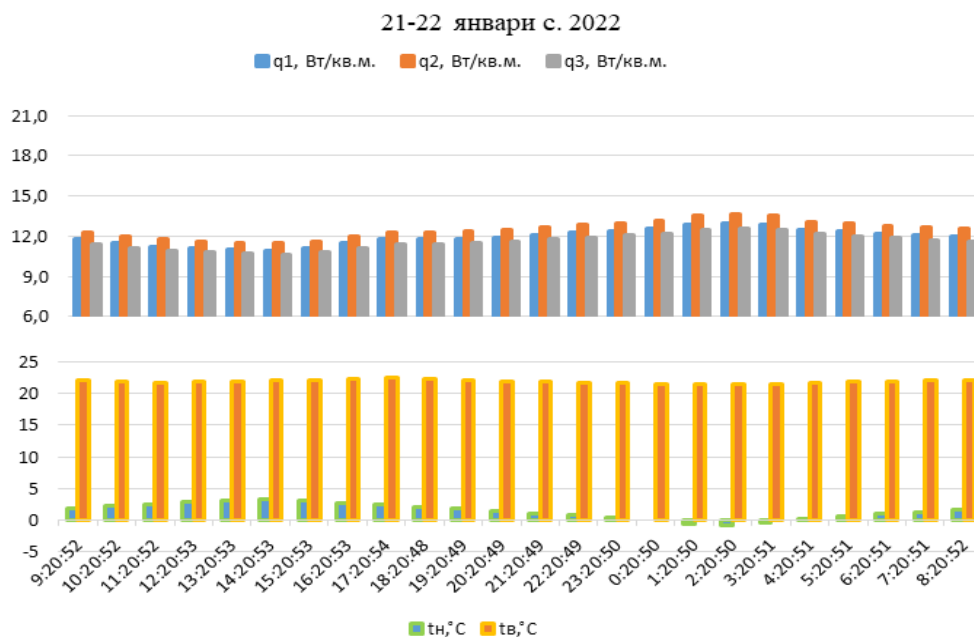
Барои баргузори тадқиқ дар давраҳои тобистон ва зимистон қаблан амсилаи ЛББ, бо андозаҳои 850x850x150мм ва тирезаи андозаҳояш 450x400мм сохта шуда, ба унсурҳои синҷ бо ёрии чузъҳои дарунсохт мустаҳкам карда шудааст.

Амсилаи ЛББ ба унсурҳои конструктивии синҷ пайваст гардида, ҷойҳои пайвастшавӣ бо истифода аз масолеҳи пенополиуретан ҳавоногузар карда шудаанд ва дар сӯроҳии тирезаи лавҳадевор шишалифофаи поливинилхлоридӣ бо шишабандии дуқабата пешбинӣ шудааст. Сатҳҳои дигари амсилаи лавҳадевори бисёрқабатаи беруна бо қабати гармимуҳофизии пеноплекси ғафсиаш 60мм рӯйпуш гардидаанд.

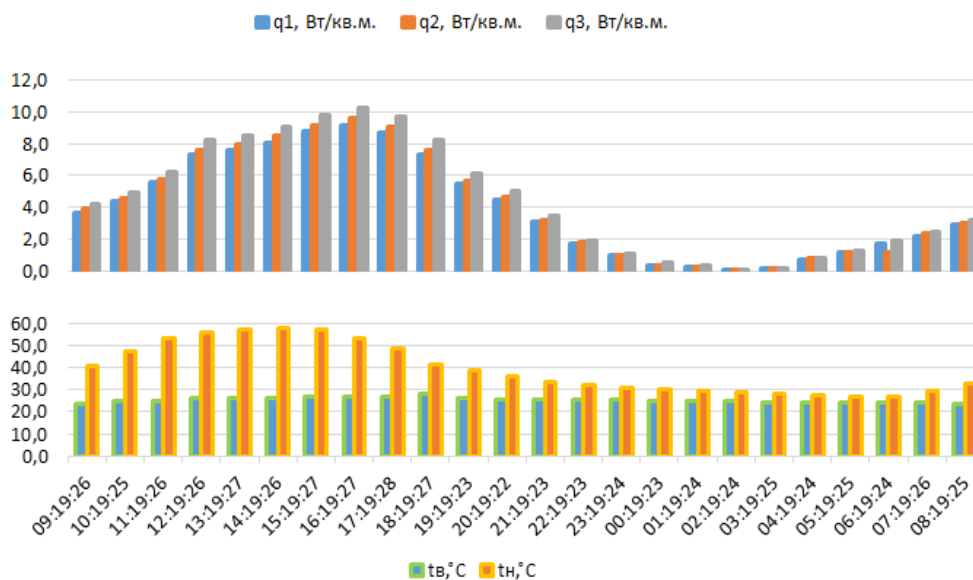
Амсилаи омодашуда ба талаботи асосӣ МҚС ҚТ 23-02-2021. “Гармимуҳофизии биноҳо” ва ГОСТ 7076-99. “Масолеҳ ва маснуоти сохтмонӣ”. Методи муайянсозии гармигузаронӣ ва муқовимати гармӣ дар реҷаи гармии статсионарӣ” барои шароити иқлимиву табиӣ шаҳри Душанбе ҷавобгу мешавад. Барои муайян намудани ҷараёни гармӣ дар конструксияи ихотадевории амсилаи мазкур, асбоби ченкунӣ, тибқи роҳнамои истифодабарии асбоб дар дохили ҳуҷра ҷойгир карда шуд.

Ҳарорати дохилаи ҳуҷра дар давраи зимистон мувофиқ ба талаботи ГОСТ 30494-2011. “Биноҳо ва иншоот. Методи ченкунии зичии ҷараёни гармӣ, ки аз конструксияи ихотадевор мегузарад” дар ҳудуди 20-22°C бо истифода аз асбоби гармкунаки барқии термостатдошта таъмин карда мешавад.

Натиҷаҳои ченкунии тадқиқии мавсимии моҳҳои январ ва июл дар гистограммаҳои тартиб додашуда, ки аз қимматҳои ҷараёни гармӣ, ҳарорати сатҳҳои конструксия дар дохилу берун ҳуҷраҳо иборат мешавад, дар расмҳои 2 ва 3 тасвир гардидаанд.



Расми 2 – Тағйирёбии шабонарӯзи зичии ҷараёни гармии сатҳи дохила ва ҳарорати сатҳҳои берунаву дохилаи ЛББ дар самти ҷануб  
17-18 июли соли 2022



Расми 3 – Тағйирёбии шабонарӯзи зичии ҷараёни гармии сатҳи дохила ва ҳарорати сатҳҳои берунаву дохилаи ЛББ дар самти ҷануб

Натиҷаҳои тадқиқи ЛББ зери таъсири ҳароратҳои берунаи гуногун ба сатҳҳои ихотадевор дар мавсими сармову гармо қароргирифта нишон медиҳанд, ки шароити микроиқлими ҳучраҳои тадқиқшаванда ба талаботи меъёрии мавҷуда ҷавобгӯ буда, ҳарорати сатҳи дохилаи ихотадевор дар давоми шабонарӯз аз 28,2 то 57,3<sup>0</sup>С, дар сатҳи дохила аз 24,0 то 26,9<sup>0</sup>С баробар мебошад, ки он барои ҳузур ҳаловати микроиқлими дохилаи ҳучраҳо мувофиқ аст. Дар мавсими сармо, дар ҳоли ҳарорати ҳавои беруна аз -0,6 то 3,1<sup>0</sup>С баробар будан, ҳароҷоти гармии шабонарӯзи КИБ аз 11,0 то 12,9 Вт/м<sup>2</sup> –ро ташкил додааст, ки чунин талафоти гармӣ барои конструксияи мазкур на чандон калон мебошад [3, 5].

### Хулосаҳо

Лоихакаи конструксияҳои ихотадевории энергиясамаранок бояд дар асоси баназгирии маҷмӯии омилҳои гармотехникӣ, конструктивӣ, иқлимиву табиӣ мавзёи сохтмон ва меъморӣ-

сохтмонӣ амалӣ карда шавад. Дар ин робита, интихоби оқилонаи масолеҳи сохтмонӣ, системаҳои бисёрқабатаи деворӣ, паст намудани ҳадди аксари талафоти гармӣ ба воситаи нуқтаҳои гармигузарон ва истифодаи ҳалҳои гармимуҳофизавии муосир, метавонанд талафоти умумии гармиро дар биноҳо коҳиш дода, энергиясамаранокии онро баланд намоянд ва микроклими мусоиди дохилаи биноҳоро бо назардошти паст намудани хароҷоти ҷорӣ истифодабарӣ таъмин созанд.

*Муқарриз: Ҳасанов Ф.Н. - н.м., мудири шӯъбаи таҳқиқи меъморӣ ва нақшаи генералии ҚВД “ТТашҳисгар”*

### Адабиёт

1. Амирзода О.Ҳ. Баланд бардоштани энергиясамаранокии биноҳо бо усулҳои меъморӣ-тархрезӣ / Амирзода О.Ҳ., Ҳасанов Н.Н., Каримов Н.М., Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ- ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 4. С. 80-87.
2. Береговой, А.М. Наружные ограждающие конструкции, адаптированные к использованию энергии природной среды / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.В. Гречишкин // Изв. вузов. Строительство.-2005.-№2.-С.4-8.
3. Гулямов Б.А. Пути повышения энергоэффективности наружных конструкций зданий / Гулямов Б.А., Ҳасанов Ф.Н., Иноятов Б.А. / Материалы республиканской научно-практической конференции «Перспектива развития производства строительных материалов в РТ» г.Душанбе, 2023г. – с.24-28.
4. Гликин, С.М. Современные ограждающие конструкции и энергоэффективность зданий / С.М. Гликин. – М., 2003.-157с.
5. Каримов, Н.М. Влияние объемно-планировочных решений на энергоэффективность зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. –Душанбе, 2022. №3 (59). - С. 115-119.
6. Каримов Н.М. Малый патент на изобретение №ТJ 1302, МПК: E04B 1/76. Многослойная стеновая панель / Каримов Н.М., Ҳасанов Н.Н., Шокиров Р.М., Каримов Б.М., Гулямов Б.А., Ҳасанов Ф.Н., Каландаров Д.Ф. // Государственное учреждение информационный центр; заявл. 26.06.2022; опубл. 10.10.2022.
7. Ҳасанов Ф.Н. Тартиби лоиҳасозии гармимуҳофизии биноҳо / Ҳасанов Ф.Н. // Маҷаллаи илмӣ «Захираҳои об, энергетика ва экология»-и институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ - ш. Душанбе, 2023. - Т. 3. № 2. С. 91-99.
8. Ҳасанов Н.Н. Малый патент на изобретение №ТJ 978, МПК: E04B 1/76. Многослойная стеновая панель / Н.Н. Ҳасанов, Р.М. Шокиров, Э.К. Зоиров, Ахмад Джовид, Ш.Дж. Азимов // Государственное учреждение информационный центр; заявл. 26.06.2019.
9. Ҳасанов, Н. Н. Инженерный метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях жаркого климата / Н. Н. Ҳасанов, Н. М. Каримов, Б. А. Гулямов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2020. – № 3(51). – С. 115-119. – EDN YBYZYU.
10. Ҳасанов, Н. Н. Таъсири ҳалли ҳаҷмиву тарҳии биноҳо ба энергиясамаранокии онҳо / Н. Н. Ҳасанов, Ф. Н. Ҳасанов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – No. 4(64). – P. 128-132. – EDN VDLHIW.

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

| TJ                                                                          | RU                                                       | EN                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Каландаров Диловаршоҳ<br>Файзуддинович                                      | Каландаров Диловаршоҳ<br>Файзуддинович                   | Dilovarshoh Fayzuddinovich<br>Kalandarov                 |
| докторант                                                                   | докторант                                                | Doctor PhD                                               |
| Донишгоҳи техникии<br>Тоҷикистон ба номи ак.<br>М.С. Осимӣ                  | Таджикский технический<br>университет им. ак. М.С. Осими | Tajik Technical University named<br>after ac. M.S. Osimi |
| Email: <a href="mailto:dkalandarov48@gmail.com">dkalandarov48@gmail.com</a> |                                                          |                                                          |

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ****А.А. Акрамов, А.М. Абдуганиев, А.О. Якубов**

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Срок службы бетона можно значительно увеличить при грамотном определении проектных характеристик, обоснованном подборе исходных компонентов, точном определении пропорций компонентов с учетом требуемых эксплуатационных характеристик, строгом соблюдении всех технологических операций — начиная от приготовления материала и заканчивая укладкой, уплотнением, а также обеспечением соответствующего ухода в процессе твердения и последующей эксплуатации. Представлены практические советы по достижению максимальной эффективности на каждом из этих этапов. Подчеркнуто, что стойкость материала против разрушения возрастает пропорционально снижению проницаемости, которая во многом зависит от уровня открытой пористости и среднего диаметра пор.

**Ключевые слова:** долговечность, бетонная смесь, пористость, морозостойкость, водонепроницаемость, бетон, цемент, гидратация.

**УСУЛҶОИ БАЛАНД БАРДОШТАНИ ДАРОЗМУҶЛАИИ БЕТОН****А.А. Акрамов, А.М. Абдуганиев, А.О. Якубов**

Муҳлати хизмати бетонро бо роҳи дуруст муайян намудани хусусиятҳои конструктивӣ, интиҳоб намудани компонентҳои ибтидоӣ, ҳисоби дақиқи таркиби ҳамираи бетонӣ бо назардошти нишондиҳандаҳои истифодабарандаи он, роҳи намудани марҳалаҳои технологӣ — аз истеҳсоли он то монтаж, зичкунӣ ва таъмини нигоҳубинии дуруст дар давраи саҳтшавӣ, ҳеле зиёд қардан мумкин аст. Маслиҳатҳои амалӣ барои ноил шудан ба самаранокии ҳадди аксар дар ҳар яке аз ин марҳилаҳо пешниҳод қарда мешаванд. Таъкид қарда мешавад, ки муқовимати мавод ба шикастан мутаносибан ба қоҳиши гузариши он меафзояд, ки ин бештар аз сатҳи ковокии қушод ва диаметри миёнаи сӯроҳҳо вобаста аст.

**Калидвожаҳо:** дарозмуҳлатӣ, ҳамираи бетонӣ, ковокӣ, хуноқи тобоварӣ, обнагузаронӣ, бетон, семент, гидрататсия.

**METHODS FOR INCREASING THE DURABILITY OF CONCRETE****A.A. Akramov, A.M. Abduganiev, A.O. Yakubov**

The service life of concrete can be significantly increased by properly defining the design characteristics, selecting the right starting components, and accurately calculating the composition of the mixture taking into account the required performance indicators, strict adherence to technological stages—from manufacturing to installation, compaction, and proper maintenance during curing and subsequent use—is provided. Practical tips for achieving maximum efficiency at each of these stages are provided. It is emphasized that the resistance of the material to destruction increases proportionally to the decrease in permeability, which largely depends on the level of open porosity and the average pore diameter.

**Keywords:** durability, concrete mix, porosity, frost resistance, water impermeability, concrete, cement, hydration.

**Введение**

Ресурс работы промышленных, жилищно-гражданских и транспортных сооружений предусматривается на многие десятилетия, что обуславливает применение больших запасов прочности при их проектировании, обеспечивающее устойчивость к постепенно нарастающим нагрузкам на протяжении всего расчетного срока работы. Тем не менее, немало сооружений демонстрирует признаки деградации и нуждается в восстановлении значительно раньше установленного срока. Основной причиной подобных явлений является недостаточная стойкость материалов к коррозии, которая вызывает постепенное разрушение элементов и конструкций.

Современные нормы строительства требуют применения материалов повышенной надёжности в возведении промышленных, гражданских и транспортных сооружений, в первую очередь бетона и железобетона.

Особую группу составляют бетоны с усовершенствованными характеристиками, превосходящими те, которые используются в традиционных строительных технологиях; их принято называть высокопроизводительными бетонами. Эти материалы отличаются повышенной водонепроницаемостью (W10–12), высокой стойкостью к циклическому замораживанию и оттаиванию (F300–600), а также другими значимыми эксплуатационными показателями, что обуславливает их всё более широкое распространение. Долговечность бетона напрямую зависит от способности выдерживать как внешние факторы (климатические условия), так и внутренние процессы (химические и физические изменения). Чем ниже проницаемость материала, тем эффективнее он противостоит разрушительному действию окружающей среды, будь то атмосферное воздействие или внутренние реакции.

Ключевое значение для продолжительности эксплуатации бетона имеет его водоустойчивость. Важнейшим параметром, определяющим устойчивость материала к разрушению, является морозостойкость — это способность выдерживать циклы замерзания и оттаивания при полностью водонасыщенном состоянии материала [8]. Несмотря на различия в проявлениях, такие свойства во многом определяются схожими факторами состава и внутренней структуры бетона. Следовательно, методы, повышающие одно из этих качеств, зачастую одновременно улучшают и другое.

### Водонепроницаемость бетона

Под водонепроницаемостью бетонов понимают их способность препятствовать проникновению воды или водных растворов сквозь полную толщину материала. Полная герметизация возможна только при комплексной гидроизоляции поверхности бетона со стороны, подверженной воздействию давления жидкости. Это связано с тем, что вода может проникать через бетон и цементный матрикс уже при крайне малых давлениях — от 0,1 Па, а также при более значительных (в диапазоне от 0,1 до 1 МПа) [1]. Согласно данным источника [1], бетон считается практически непроницаемым, если интенсивность испарения влаги с внешней поверхности превышает скорость поступления воды внутрь [8]. Именно с этой точки зрения создание бетона, обладающего практической водонепроницаемостью, оказывается достижимым на практике. Водонепроницаемость бетона определяется его капиллярно-пористой структурой, где поры формируют непрерывную сеть, способную пропускать жидкости, включая воду. Во время твердения бетона, вызванного процессами гидратации цемента, проницаемость материала значительно падает — это связано с уменьшением общей пористости и переходом системы пор из сплошной, соединённой формы в разрозненную, дискретную. Хотя увеличение общей пористости обычно ослабляет водонепроницаемость, данный фактор не всегда действует предсказуемо, поскольку решающее значение обладают значениями открытой (интегральной) пористости  $P_i$  и определённой характеристикой распределения пор по размерному диапазону.

С увеличением степени гидратации цемента  $\alpha$  наблюдается усиление изолированности пор в пористой структуре цементного камня. В ходе твердения часть открытой пористости постепенно блокируется гидратационными продуктами — цементным гелем, переходя в закрытое состояние, формируя тем самым замкнутую пористость  $P_3$ . Рост показателя  $\alpha$  сопряжён с уменьшением общей и интегральной пористости, а также ростом доли закрытых пор, что способствует повышению водонепроницаемости бетона. Одновременно заполнение поровых каналов гидратационными веществами приводит к сужению среднего диаметра капиллярных пор, так как объём цементного геля, образующегося в процессе гидратации, примерно в 2,1 раза больше первоначального объёма вступившего в реакцию цемента, что дополнительно усиливает водоупорные свойства материала [8, 14].

Вторым ключевым параметром, влияющим на водонепроницаемость бетона, выступает водоцементное отношение  $V/C$ . С ростом данного параметра снижается водонепроницаемость из-за увеличения общей и открытой пористости материала, а также расширения среднего диаметра капиллярных каналов в цементном камне. Связь между водоцементным отношением и водонепроницаемостью носит обратно пропорциональный характер. При  $V/C \leq 0,45$  уровень водонепроницаемости достигает минимума; при значении 0,45 коэффициент фильтрации равен  $3 \times 10^{-12}$  см/с; дальнейший рост отношения выше 0,45 вызывает резкое падение сопротивления проникновению воды; при  $V/C = 0,7$  этот показатель возрастает до  $1,2 \times 10^{-10}$  см/с. Данное явление объясняется тем, что суммарная пористость бетона  $P_o$  (%) определяется по формуле [2].

$$P_o = C/10(V/C - 0,23 \cdot \alpha) + (1 - \delta) \cdot 100, \quad (1)$$

где  $V$  и  $C$  — расходы воды и цемента, кг на  $1 \text{ м}^3$  бетона соответственно;  $\delta$  — коэффициент уплотнения бетонной смеси.

Согласно уравнению (1), при стабильном расходе цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона и фиксированном значении  $\alpha$  суммарная пористость [8] зависит от соотношения воды к цементу —  $V/C$ ; рост этого параметра ведёт к увеличению общей пористости и ухудшению водонепроницаемости материала. При неизменном  $V/C$  повышение количества цемента сверх 350–400 кг/м<sup>3</sup> также вызывает рост

общей пористости и снижение водоупорных характеристик бетона. Это связано с тем, что при увеличении расхода цемента возрастает удельный объём цементного камня в составе бетона, что в свою очередь приводит к увеличению доли пористых структурных элементов. Параллельно снижается устойчивость цементного камня к образованию трещин, особенно после тепловлажностной обработки и в ходе эксплуатации возникают усадочные трещины, усиливающие как общую, так и интегральную пористость, что неблагоприятно влияет на водонепроницаемость и морозостойкость. Подобные дефекты могут формироваться при любом виде твердения бетона, за исключением полного водного режима, реализация которого в практике встречается чрезвычайно редко [8, 14].

### Морозостойкость бетона

Дополнительным фактором, снижающим прочностные характеристики бетона и железобетона, выступает недостаточная устойчивость к воздействиям к воздействию морозов.

При чередовании замерзаний и оттаиваний в условиях полного водонасыщения бетон подвергается разрушению по нескольким причинам, главной из которых является изменение агрегатного состояния воды внутри материала — её переход из жидкого в твёрдое, что сопровождается расширением объёма. Этот процесс порождает внутренние напряжения в цементном камне, способствуя деструкции структуры.

### Материалы и методика исследований

Напряжения, возникающие в бетоне при указанных условиях, достигают значений, при которых возможно разрушение цементного камня при полном заполнении пор влагой — подобное подтверждено данными экспериментов, выполненных автором. Для исследования были изготовлены четыре серии образцов габаритами 10×10×10 см из бетонной смеси с составом Ц:П:Щ = 1:2:3 при различных водоцементных отношениях. Часть образцов после достижения прочности в течение 28 суток в водной среде дополнительно насыщалась водой под вакуумом, а затем испытывалась на морозостойкость по методике, предусмотренной стандартом ГОСТ 10060–95 [8].

Таблица 1 – Морозостойкость полностью водонасыщенных бетонов [18].

| № серии | Величина В/Ц | Коэффициент морозостойкости после числа циклов |      |      |      |
|---------|--------------|------------------------------------------------|------|------|------|
|         |              | 1                                              | 3    | 5    | 10   |
| 1       | 0,4          | 0,9                                            | 0,7  | 0,54 | 0,41 |
| 2       | 0,45         | 0,8                                            | 0,7  | 0,45 | 0,33 |
| 3       | 0,5          | 0,72                                           | 0,65 | 0,42 | 0,25 |
| 4       | 0,55         | 0,65                                           | 0,6  | 0,4  | 0,25 |

Образцы оставались в воде до момента проведения испытаний (табл. 1). По данным исследования, коэффициент морозостойкости — это соотношение прочности после циклов замораживания-оттаивания по прочности при насыщении водой — после одного цикла достиг 0,8–0,9, а после трёх — снизился до 0,65–0,7, что свидетельствует об отказе бетона по критерию морозостойкости уже после третьего цикла [8]. Отмечается значительное уменьшение массы образцов. Максимальное снижение прочности фиксируется в бетонах с водоцементным отношением более 0,4, при этом рост В/Ц ускоряет процессы деградации.

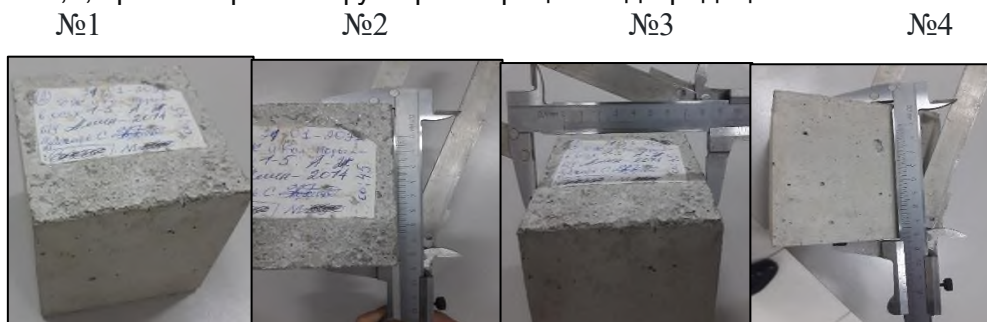


Рисунок 1 – Испытанные образцы на морозостойкость

## Обсуждения

Способность бетона противостоять разрушительному действию многократных циклов заморозания и в процессе оттаивания при полном водонасыщении ключевым фактором является наличие в структуре пор, не заполненных водой, способных принимать избыточную жидкость, вытесняемую под давлением формирующихся ледяных кристаллов во время процесса заморозания.

Образование таких пор связано с явлениями химического усадочного смещения, возникающими в процессе гидратации цементного камня. Благодаря высокому капиллярному напряжению, такие мелкие поры могут наполняться водой благодаря соединению с более крупными пористыми структурами, что вызывает частичное или полное высыхание последних — например, больших пор и капилляров. Подобное обезвоживание возможно лишь при условии, когда такие крупные поры окружены порами цементного геля, препятствующими проникновению влаги из соседних зон либо из внешней среды.

Согласно результатам многих исследований [3–10], формирование усадочных трещин начинается через небольшой промежуток времени после контакта цемента с водой. Уровень усадки повышается по мере уменьшения водоцементного соотношения и ускоренном формировании твердой решетки цементного камня. Ускорению этого процесса способствуют оптимальный химико-минералогический состав цемента, а также применение специализированных добавок, стимулирующих кристаллизацию и рост кристаллических структур [8].

Замкнутые поры, частично или полностью заполненные из-за усадки, способны служить резервуарами для поровой жидкости, которая перемещается кристаллами льда в процессе заморозания бетона. При максимальной плотности материала объем таких «резервных» пор примерно равняется объёму капиллярных пор, испытывающих сокращение.

Давление, возникающее при расширении воды при заморозании, не проявляется до тех пор, пока все резервные полости не заполнятся жидкой фазой, продвигающейся под воздействием растущих ледяных кристаллов. Следовательно, внедрение технологий, создающих изолированные поры в структуре бетона, повышает его устойчивость к морозу. К таким методикам относятся понижение водоцементного отношения благодаря применению пластификаторов, качественному укладыванию и уплотнению смеси, стимулированию процесса гидратации цемента, точному подбору его химико-минерального состава, а также использованию других методов

Также в бетоне могут формироваться поры, условно воспринимаемые как замкнутые, образующиеся при в результате введения воздуха в смесь. Если такие поры полностью окружены пористой сетью цементного геля, они также могут функционировать как резервные ёмкости для компенсации внутренних напряжений при замораживании; в ином случае они остаются открытыми, заполняются водой при контакте с жидкостью и тем самым негативно влияют на морозостойкость материала.

Экспериментальные работы, выполненные автором, подтвердили ранее изложенные положения. Бетонные образцы габаритами 10×10×10 см изготовили из смеси с соотношением цемент : песок : щебень = 1:2:3 при водопоглощении 0,7. Образцы первой группы были приготовлены без добавок, тогда как во вторую группу был введён СНВ в дозировке 0,01% от массы цемента. Данные о морозостойкости, полученные согласно основному методу по ГОСТ 10060–95, представлены в таблице 2 [8].

Таблица 2 - Морозостойкость бетонов

| Состав добавки,<br>% массы цемента | Коэффициент морозостойкости при числе циклов замораживания-оттаивания |      |      |      |      |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                    | 50                                                                    | 100  | 200  | 250  | 300  |
| Без добавок                        | 0,9                                                                   | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,51 |
| 0,01                               | 0,89                                                                  | 0,75 | 0,62 | 0,55 | –    |

По имеющимся данным, использование воздухововлекающих добавок в бетоне с водоцементным соотношением 0,7 не улучшило, а даже существенно снизило морозостойкость. Это связано с тем, что поры, образующиеся под действием СНВ при повышенной водопотребности, остаются незаполненными цементным гелем, что приводит к росту открытой пористости материала [8]. Как показывают расчетные оценки и экспериментальные исследования, положительный эффект

воздуховлечения, способствующий повышению стойкости к морозу, наблюдается лишь при водоцементном отношении не выше 0,62.

Второй тип пор — открытые (интегральные) — играет иную роль: с ростом доли таких пор увеличивается количество воды, способной превратиться в лёд во время замерзания. Более значительный объём льда усиливает внутренние напряжения в структуре бетона, что ускоряет его разрушение при циклах замораживания и оттаивания. Влияние на морозостойкость бетонов оказывают множество факторов, однако, как следует из приведённых выше данных, ключевую роль играет соотношение объёмов условно замкнутых пор ( $\Pi_{у.з}$ ) и общего количества пор ( $\Pi$ ). Основным определяющим показателем здесь служит критерий морозостойкости  $K_{мрз}$ , выражаемый формулой [4, 5, 8].

$$K_{мрз} = \Pi_{у.з} / 0,09\Pi_{и}. \quad (2)$$

Исследования [4–6, 18] выявили тесную корреляцию между морозостойкостью бетонов и их критерием морозостойкости, что использовать этот показатель позволяет прогнозировать и оперативно выявлять морозоустойчивые свойства материала.

Исследование причин, оказывающих воздействие на водоудерживающую способность и морозостойкость бетона, свидетельствует о том, что долгосрочная надёжность сооружений достигается исключительно за счёт применения комплексных технологий на каждом этапе — от разработки состава и формирования структуры до контроля эксплуатационных характеристик и последующего обслуживания объекта.

На первоначальной стадии проводится подбор материалов и разработка рецептуры бетона. Влияние выбора вяжущих веществ на формирование долговечных бетонных смесей было предметом многочисленных исследований [4, 5, 8, 9], поэтому данный аспект достаточно детально проработан — далее он рассматриваться не будет. Однако важно указать, что условия, предъявляемые к вяжущим материалам для достижения водо- и морозостойкости, различаются. Применение глинозёмистого цемента, а также пуццолановых и шлакопортландцементов оправдано при производстве водонепроницаемых бетонных смесей, хотя их использование нецелесообразно в случаях необходимости обеспечения морозостойкости [4, 9]. Критическое значение имеет содержание минералов  $C_3A$  и  $C_4AF$ ; в обычном портландцементе доля  $C_3A$  должна быть ограничена значением 7% [3, 10, 11]. Исследования показали [7, 13], что даже при повышенной концентрации  $C_3A$  и  $C_4AF$  возможно получение бетонов с высокой морозостойкостью (с маркой по морозостойкости  $F=400-500$  и выше), если применяются специальные добавки и осуществляется строгий контроль технологических процессов приготовления, укладки и ухода за бетоном на всех этапах твердения. Дополнительно следует отметить, что для обеспечения водонепроницаемости желательнее применять цементы с более мелким размером частиц [8, 12, 15], тогда как для обеспечения повышенной морозостойкости степень измельчения цемента следует ограничивать диапазоном 300–350 м<sup>2</sup>/кг [3, 4].

С учётом необходимости формирования бетона с длительным сроком службы за счёт совмещения высокой водоотталкивающей способности и устойчивости к замерзанию, оптимальным представляется установление предела содержания  $C_3A$  на уровне не выше указанного значения 7% и удельную поверхность цемента — 350 м<sup>2</sup>/кг [8].

### Способы повышения долговечности бетона

Одним из действенных методов улучшения водоустойчивости, морозостойкости и механической прочности бетона является использование композитных вяжущих веществ в сочетании с суперпластификаторами нового поколения и специальными наполнителями.

Создание состава водонепроницаемого бетона основано на достижении необходимой степени уплотнения при укладке, обеспечивающей минимальный показатель фильтрации, остаётся ниже уровня  $1,2 \cdot 10^{-10}$  см/с [8]. Методики расчёта подобных композиций детально изложены во многих научных публикациях, включая исследования [13].

При проектировании морозостойких бетонов первостепенное значение имеет корректное определение нормативной (проектной) морозостойкости. Проблема заключается в том, что бетоны с заявленной высокой морозостойкостью зачастую демонстрируют преждевременные разрушения

даже в конструкциях, где срок службы ещё не истёк. На сегодняшний день отсутствует единая стандартная методика установления требуемой морозостойкости, что приводит к противоречивым нормативным положениям — одинаковые условия эксплуатации могут регулироваться разнообразными нормативными документами с различными предъявляемыми требованиями к морозостойкости бетона.

Для назначения проектной морозостойкости  $M_{рз}^H$  можно воспользоваться формулой [4, 6, 8, 11]:

$$M_{рз}^H = \Gamma \cdot H \cdot D \cdot Z \quad (3)$$

где  $\Gamma$  — нормативный срок службы сооружения, годы;  $H$  — нормативное (расчетное) число циклов в год;  $D$  — коэффициент суровости условий эксплуатации сооружения;  $Z$  — коэффициент условий работы бетона.

Несмотря на то, что формула (3) не гарантирует полной точности и правовой обоснованности, она позволяет учитывать ключевые параметры, влияющие на число циклов заморозания и оттаивания бетонных сооружений при эксплуатации, а также их способность восстанавливать характеристики в процессе использования. Полученные на её основе расчетные данные указывают на необходимость увеличения нормативного значения морозостойкости по сравнению с текущими принятыми нормами во многих случаях.

Прежде чем выбирать состав бетона, соответствующий заданной морозостойкости, требуется оценить реальность достижения этой характеристики. Такую оценку можно выполнить с использованием соотношения  $M_{рз} = f(K_{мрз})$  [4, 5], позволяющего вычислить необходимое значение  $K_{мрз}$  на основе нормируемого показателя морозостойкости. Полученное таким образом значение  $K_{мрз}$  сравнение производится с результатом, полученным по формуле (2), в которой параметры  $\Pi_{у.з}$  и  $\Pi_{и}$  определяются аналитически. Обнаружение несоответствий указывает на невозможность обеспечения требуемой морозостойкости при заданных условиях имеющихся материалах и принятой технологии, на данном этапе следует скорректировать состав бетона и методы его изготовления. Дальнейший расчёт состава возможен по формуле (4). Нижний предел расхода цемента  $\rho_{мин}$ , обеспечивающий нормативный уровень морозостойкости  $M_{рз}^H$ , рассчитываем по формуле (3).

$$\rho_{мин} = K_{мрз} [B + (1 - \delta) 1000] / [\alpha (0,27 K_{мрз} + 0,46)]. \quad (4)$$

Процесс установления состава бетона стартует с обозначением наибольшего допустимого водосмestного отношения, отвечающего заданному уровню морозостойкости  $M_{рз}^H$ , по формуле (3):  $B/\rho = 0,456\alpha/K_{мрз} + 0,27/\alpha$ , полученное значение сравнивают с максимальным допустимым соотношением  $B/\rho$ , которое гарантирует требуемую марку прочности бетона. Используют меньшее из двух вычисленных значений — именно оно применяется при  $B$  последующих расчётах. Следом проводится подбор состава с учётом влияния раздвижки зерен песка под воздействием цементного теста на удобоукладываемость [4, 8].

Далее производится подготовка бетонной смеси. По результатам расчётов, выполненных при проектировании составов высокопроизводительных долговечных бетонов, установлено, что достижение необходимого уровня морозостойкости возможно лишь при соблюдении определённых условий. недостижимо лишь за счёт грамотного подбора компонентов — требуется применение дополнительных технологических методов. Эти методы должны одновременно улучшать как морозоустойчивость, так и водонепроницаемость материала.

На основе приведённых выводов автор предлагает ряд подходов для усиления указанных характеристик бетона.

Одним из ключевых подходов к улучшению эксплуатационных свойств бетона является включение в его состав специализированных многофункциональных добавок, повышающие морозостойкость и водоотталкивающие свойства [3, 5, 12]. Среди современных многофункциональных добавок выделяется состав «МИКС» (ТУ 5743-005-8373815-07), позволяющий получать бетоны с высокой прочностью — проявляющейся уже на начальных стадиях твердения — а также обладающими длительным сроком службы. Примесь обеспечивает высокую удобоукладываемость бетонной смеси, включает вещества, активирующие образование

кристаллических центров, что способствует опережающему развитию пластической прочности даже при умеренных температурах, а также включает элементы, рассеивающие энергию и препятствующие появлению микротрещин во время затвердевания. Благодаря комплексному действию этих элементов достигается значительное сокращение либо полная отмена необходимости в тепловом уходе за бетоном в период твердения. Методика создания бетонов по предложенному автором подходу в условиях щадящего теплового режима [6, 13] направлена на ослабление интенсивности тепло- и массопереноса, а также на снижение уровня термических и деформационных напряжений, обусловленных незавершённой капиллярной усадкой. С течением времени затвердевания бетона его прочностные характеристики повышаются постепенно, особенно при применении мягких технологических режимов, которые минимизируют интенсивность тепловыделения. Это предотвращает возникновение температурных напряжений, кристаллизационного давления формирующихся новообразований, а также микродефектов — зон локализации напряжений и очагов начала образования трещин. Дополнительно указанная технология обеспечивает экономию цемента до 20%, что даёт значительную финансовую выгоду и одновременно способствует снижению пористости материала. Снижение пористости повышает такие показатели, как устойчивость к циклическому увлажнению и высушиванию, водонепроницаемость, водостойчивость и морозостойкость бетона [8, 15].

Одним из главных факторов продления эксплуатационного срока сооружений выступает грамотное применение технологий изготовления деталей и конструкций. Повышению устойчивости сборных и монолитных бетонных и железобетонных элементов к воздействию жидких агрессивных сред способствует реализация соответствующих инженерных решений используется современный способ защиты, основанный на использовании передовых герметиков. Подход предусматривает многослойную защиту — формирование на поверхности конструкций стойкого слоя из минеральных композитов с последующей глубокой пропиткой. На базе минерального сырья разработан специальный состав под маркой «Герсмесь», отличающийся высокой эффективностью, надёжностью и долговечностью в условиях эксплуатации. Продукт функционирует даже при низких температурах благодаря совмещению с противоморозными примесями. Материал демонстрирует отличную сцепляемость с бетонным основанием, имеет уровень гидроизоляции не менее класса W 50 и способен выдерживать механические напряжения до 40 МПа.

Для продления эксплуатационного срока крупногабаритных монолитных элементов сложной конфигурации, возведённых непосредственно на стройплощадке, рекомендуется применение особых методик подготовки, укладки, уплотнения и обеспечения условий твердения бетона. Например, применяется методика создания барьерных ограждений на автодорогах.

Дальнейшим шагом повышения надёжности бетонов является проверка соответствия их характеристик техническому заданию. Оценка водонепроницаемости бетона не представляет сложностей и занимает обычно от 7 до 10 суток. Тем не менее наблюдаются ситуации, когда бетонные элементы, показавшие в лаборатории водонепроницаемость W 8–10, теряют её уже под более низким гидростатическим давлением. Согласно автору, такая разница обусловлена расхождением между условиями тестирования по нормативному документу ГОСТ 12730.5–84 и реальными эксплуатационными нагрузками, включая динамические факторы, например, колебания и вибрации. Под действием таких внешних влияний физико-механические параметры воды изменяются — её вязкость снижается, что позволяет жидкости проникать через микроскопические поры и капиллярные каналы, ранее считавшиеся герметичными.

Определение морозостойкости бетонов представляет наибольшие трудности. Традиционные методики, установленные ГОСТ 10060–95, предполагают длительное время ожидания — получение результатов возможно только через несколько месяцев после изготовления бетона (при использовании традиционного подхода) или требует наличия в лаборатории дорогого охладительного оборудования. Это порождает сложности с оперативным контролем качества данного показателя; если выявляется несоответствие проектным требованиям, оперативно скорректировать состав или устранить дефекты уже невозможно.

Оценка морозостойкости затвердевшего бетона с использованием ускоренного метода на основе критерия  $K_{мрз}$  обеспечивает высокую согласованность результатов с данными, полученными по стандартному методу ГОСТ (коэффициент корреляции — от 85 до 98%).

Разработанная специалистами МИИТа технология позволяет эффективно прогнозировать морозостойчивость как обычных бетонов, так и модифицированных составов, в условиях замораживания до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что соответствует полной кристаллизации воды в порах материала [4, 6, 7].

Финальным элементом обеспечения повышенной стойкости бетона является грамотный уход за конструкцией на этапе эксплуатации. По данным исследований [2, 4, 7], повторное вакуумирование после определённого числа циклов замораживания и оттаивания способно значительно увеличить морозостойкость материала — в несколько раз.

Испытательные образцы размером  $10\times 10\times 10$  см изготовили из бетонной смеси с пропорцией компонентов — цемент : песок : щебень = 1 : 2,5 : 3, при водоцементном отношении 0,55 [8].

Результаты эксперимента свидетельствуют, что эффективность вакуумирования и частота проведения процедур зависят от исходной морозостойкости бетона. Наилучшие результаты достигаются при продолжительности обработки от 0,25 до 1 часа и снижении давления до уровня 0,01 МПа [8]. Применение такого метода обслуживания существенно повышает устойчивость бетона к морозным воздействиям и продлевает срок службы дорожных и инженерных сооружений.

## Выводы

Предложенные подходы и технологии увеличения срока службы бетонов обеспечивают возможность создания конструкций и сооружений, способных функционировать заявленное время без необходимости ремонта и восстановления при сравнительно небольших затратах на техническое обслуживание. Однако важно подчеркнуть, что значительное повышение долговечности возможно лишь при полном соблюдении всех предусмотренных этапов — от определения проектных характеристик бетона, включая грамотный отбор сырьевых компонентов, точное определение состава смеси в соответствии с требуемыми характеристиками, соблюдение точной технологии приготовления, укладки и уплотнения бетона, а также обеспечение необходимого ухода за бетоном на стадиях активного твердения и дальнейшего использования.

*Рецензент: Хасанзода Н.М. — д.т.н., и.о. профессора кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ПЭТУ им. акад. М.С.Осими.*

## Литература

1. Шестоперов С.В. Долговечность бетонов. / Шестоперов С.В. // М.: Автотрансиздат, 1976. 267 с.
2. Акрамов А.А. Морозостойкость цементно-воластонитовых 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.
3. Акрамов А.А. Эффекты микронаполняющих минеральных добавок в бетоне / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х., Хокиев М.К., Ахмедов М.Ф // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(49), Душанбе: «Шинос», 2020. – С. 150–154
4. Акрамов А.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
5. 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
6. Акрамов А.А. Оптимизация состава мелкозернистого бетона / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(56), Душанбе: «Шинос», 2021. – С. 157–162
7. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 180-183.
8. Акрамов А.А. Зависимость долговечности бетона от водонепроницаемости / Джуракулов М.Р., Акрамов А.А. // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе. 2023. Том 3, №3 – С. 150-156.
9. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфидоферритного клинкера / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 190-194.
10. Акрамов А.А. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия / Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 250-255.

11.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

12.Акрамов А.А. Сульфатирование высокоосновного ферритного клинкера на основе ферритного отхода / Акрамов А.А., Саидзода Дж.Х., Джуракулов М.Р. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(69), Душанбе, 2025. – С. 128-132

13.Акрамов А.А. Зависимость прочности цементного камня с добавкой из волластонита от воздействия высокой температуры / Акрамов А.А., Саидзода Дж.Х., Комилзода А.Х. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(72), Душанбе, 2025. – С.146-150

14.Акрамов А.А. Способы повышения долговечности бетона с введением добавок / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(72), Душанбе, 2025. – С.175-181.

15.Акрамов А.А. Влияние воздушных пор на морозостойкость бетона / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(72), Душанбе, 2025. – С.221-226

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

| TJ                                                                                 | RU                                                              | EN                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Акрамов Авазҷон Абдуллоевич                                                        | Акрамов Авазжон Абдуллоевич                                     | Akramov Avazjon Abdulloevich                                        |
| Номзади илмҳои техникӣ, дотсент                                                    | Кандидат технических наук,<br>доцент                            | Candidate of technical sciences,<br>associate professor             |
| Донишгоҳи техникӣ<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                     | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С. Осими      | Tajik Technical University named<br>after Academician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a>             |                                                                 |                                                                     |
| 0000-0002-7084-9128                                                                |                                                                 |                                                                     |
| TJ                                                                                 | RU                                                              | EN                                                                  |
| Абдуганиев Абдумачид<br>Мамасодиқович<br>муаллими калон                            | Абдуганиев Абдумаджид<br>Мамасодиқович<br>Старший преподаватель | Abduganiev Abdumajid<br>Mamasodikovich<br>senior lecturer           |
| Донишгоҳи техникӣ<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                     | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С. Осими      | Tajik Technical University named<br>after Academician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:shahboz04@mail.ru">shahboz04@mail.ru</a>                   |                                                                 |                                                                     |
| 0009-0007-7879-6984                                                                |                                                                 |                                                                     |
| TJ                                                                                 | RU                                                              | EN                                                                  |
| Якубов Алиҷон Ойҳамадович                                                          | Якубов Алиджон Ойҳамадович                                      | Yakubov Alijon Oihamadovich                                         |
| Номзади илмҳои техникӣ,<br>и.в. дотсент                                            | Кандидат технических наук,<br>и.о. доцента                      | Candidate of technical sciences,<br>acting associate professor      |
| Донишгоҳи техникӣ<br>Тоҷикистон ба номи академик<br>М.С. Осимӣ                     | Таджикский технический<br>университет им. акад. М.С. Осими      | Tajik Technical University named<br>after Academician<br>M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:alidzhon.yakubov@gmail.com">alidzhon.yakubov@gmail.com</a> |                                                                 |                                                                     |
| 0000-0002-3532-8773                                                                |                                                                 |                                                                     |

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТА

А.С. Рахматзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведен анализ результатов ранее выполненных исследований по влиянию химических добавок на свойства цемента, а также приведены имеющиеся в них противоречия. Приводились экспериментальные исследования по влиянию химических добавок из растительного сырья на свойства цемента. Полученные экспериментальные результаты показывают, что существуют интервалы изменения свойства и реологии дорожного цемента от количества содержания добавки в нем. Подтверждено, что добавки, производимые на основе растительного сырья, положительно влияют на сроки схватывания цементного теста и, кроме того, повышают прочность цементного раствора и уменьшают водопотребность цемента. Показано, что такие цементы, характерные к дорожным бетонам и на этой основе, теоретически обоснованы как регулирующий состав бетонных смесей при производстве бетона и бетона при эксплуатации в цементобетонных покрытиях.

**Ключевые слова:** *дорожный цемент, цементное тесто, нормальная плотность, сроки схватывания, прочность, активность.*

## ТАЪСИРИ ИЛОВАГИИ ХИМИЯВӢ АЗ АШӢИ ХОМИ РАСТАНӢ БА ХОСИЯТӢОИ РЕОЛОГИИ СЕМЕНТИ ДАР РОӢ ИСТИФОДАШВАНДА

А.С. Рахматзода

Дар мақола таҳқиқоти муаллифон оиди таъсири иловагиҳои химиявӣ ба ҳосиятҳои семент оварда шудааст. Натиҷаи таҳқиқотҳои гузаронидашуда, инчунин ҳудуди тағйирёбии ҳосиятҳои сементи роҳ аз таъсири иловагиҳо бо рентгенограммаҳо нишон дода шудааст. Инчунин исбот карда шудааст, ки иловагиҳо вобаста аз табиаташон ба ҳосиятҳои сементи роҳ гуногун таъсир мекунад. Бо тарзи назариявӣ рӯйпушҳои сементобетонии роҳ асоснок карда шудааст ва нақши сементи роҳ дар таркиби сементобетон оварда шудааст.

**Калидвожаҳо:** *сементи роҳ, ҳамираи сементӣ, гализии муътадил, муҳлати сахтишавӣ, мустаҳкамӣ, фаъолиӣ.*

## INFLUENCE OF CHEMICAL ADDITIVES OF PLANT RAW MATERIALS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ROAD CEMENT

A.S. Rahmatzoda

The article provides an analysis of the results of previous studies on the effect of chemical additives on the properties of cement, as well as the contradictions they present. Experimental studies have been conducted on the effect of chemical additives from vegetable raw materials on the properties of cement. The experimental results obtained show that there are intervals of changes in the properties and rheology of road cement depending on the amount of the additive in it. It has been confirmed that additives produced on the basis of vegetable raw materials have a positive effect on the setting time of the cement dough and, in addition, increase the strength of the cement mortar and reduce the water consumption of cement. It is shown that such cements, which are characteristic of road concretes and based on this, are theoretically justified as the regulating composition of concrete mixtures in the production of concrete and concrete during operation in cement-concrete coatings.

**Keywords:** *road cement, cement paste, normal density, setting time, strength, activity.*

### Введение

В производственных условиях при строительстве автомобильных дорог в большинстве странах мира при устройстве дорожных покрытий широко применяют цементный бетон. Как известно, такие бетоны служат в сложных условиях, подвергаются попеременно действующим нагрузкам и климатическим условиям эксплуатации. Следует отметить, что для этого дорожные бетоны по сравнению с обычными бетонами должны обладать морозостойкостью, стойкостью против коррозии и истирающих и ударных воздействий, и кроме того, они должны обладать повышенной прочностью на растяжение и изгиб. Известно, что в состав дорожных бетонов применяют каменные материалы с высокими показателями. Кроме того, в процессе эксплуатации в дорожных покрытиях минеральные компоненты состава бетона, имеются в виду щебень и песок, устойчивые действия агрессивных сред, в бетоне наиболее уязвимой составляющей является цементный камень. Для этого в производственных условиях при производстве дорожных бетонов все мероприятия в основном производятся с целью повышения стойкости и устойчивости вяжущего - цемента. Для этого, чтобы придать цементу устойчивость против агрессивных сред и

преимущество его сцепления с каменными материалами, применяются добавки модификаторов химического и минерального происхождения в составе цемента.

### Теоретическая часть

Исследованиями авторов [1-3] установлено, что в практике при производстве бетона для устройства дорожных покрытий, чтобы достичь выносливость цементных бетонов при эксплуатации, производят различные мероприятия: - улучшают реологию цементного теста и повышают его физико-механические свойства; - применяют цементы с повышенным содержанием алюмоферитов; -используют добавки разного по природе характера действия: - увеличивают расход цемента. Научные опыты и практика применения бетона в дорожных покрытиях показывают, что в производственных условиях не все эти вышеупомянутые мероприятия дадут бетону всестороннюю выносливость. Можно отметить, что повышенное содержание  $C_3A$  в клинкере цемента или в самом цементе уменьшает устойчивость бетона против действия агрессивных сред. Известно, что цемент для дорожных бетонов содержит меньше 8% количества в нем, не разрешается вводить инертные активные минеральные добавки более 15%, разрешается добавление доменного гранулированного шлака до 15% [3]. По свойствам и реологии цементы для дорожных бетонов должны иметь чуть медленнее скорость схватывания и в ранних сроках набор прочности. Кроме того, бетон для дорожных покрытий должен иметь высокую устойчивость против износа и мороза [1-3].

Дорожный цемент характеризуется более длительным периодом схватывания и застывания [3], где основные физико-технические свойства дорожного цемента зависит от его состава, и они сформированы примесями. Поэтому в производственных целях при производстве дорожного бетона состав дорожного цемента и растворов строго контролируется ГОСТом 8424-57 и ГОСТом 10178-62. Кроме того, по производственной необходимости в зависимости от технологии производства и дальности объекта строительства не рекомендуется использование быстротвердеющих марок в силу высокого показателя усадки данных материалов [3]. Для этих целей в практике для придания дорожному бетону необходимых свойств в цементе или в составе бетона применяют добавки разного характера действия [4-6]. Кроме того, по мнению автора [7], добавки в цементе обеспечивают его более плотную упаковку, кроме того, повышают связанность теста на их основе и стойкость смесей, и повышают прочность цементного камня и материалов на его основе. Отечественными исследователями на основе местных сырьевых ресурсов разработаны добавки (МЛСТ, декстрин, мелкодисперсные частицы из отходов промышленного производства, зола угля, порошок природного минерала волластонита), которые имеют характер поверхностного активного и структурирующего действия цемента [10-11]. Однако такие исследования были проведены с целью применения химических добавок в состав традиционных или гидротехнических бетонов.

Из вышеизложенного теоретического анализа следует, что цемент является основным компонентом и связующим материалом в бетоне. От его свойства и характера зависят и свойства, и строительно-технические характеристики бетона. На этой основе можно отметить, что в производственных условиях при эксплуатации в дорожных покрытиях цемент как вяжущий регулирует поведение бетона. В данной работе мы пытались исследовать влияние химических добавок, производимых на основе отечественных запасов растительных сырья, на свойства дорожного цемента.

**Целью данного исследования** является изучение влияния добавок различного характера действия на основе растительного сырья на свойства дорожного цемента.

### Материалы для исследования

В работе использовались следующие материалы:

- портландцемент М400 ДО.
- добавки растительного происхождения;
- водная вытяжка при варке листьев хлопковых растений (ВЭХ);
- водный экстракт плодов деревьев гледичия (ВЭПГ);
- модифицированный лигносульфонат технический (МЛСТ).

Эти добавки имеют ресурсные базы производства в Республике Таджикистан, характеристика и способы их получения приведены в ряде работ отечественных авторов [10-12].

### Результаты и их обсуждения

Нормальную густоту дорожного цемента с химическими добавками растительного происхождения определили по методике ГОСТ 31.3-88 с помощью прибора Вика. На рис. 1 приведены результаты экспериментального исследования по определению нормальной густоты теста дорожного цемента.

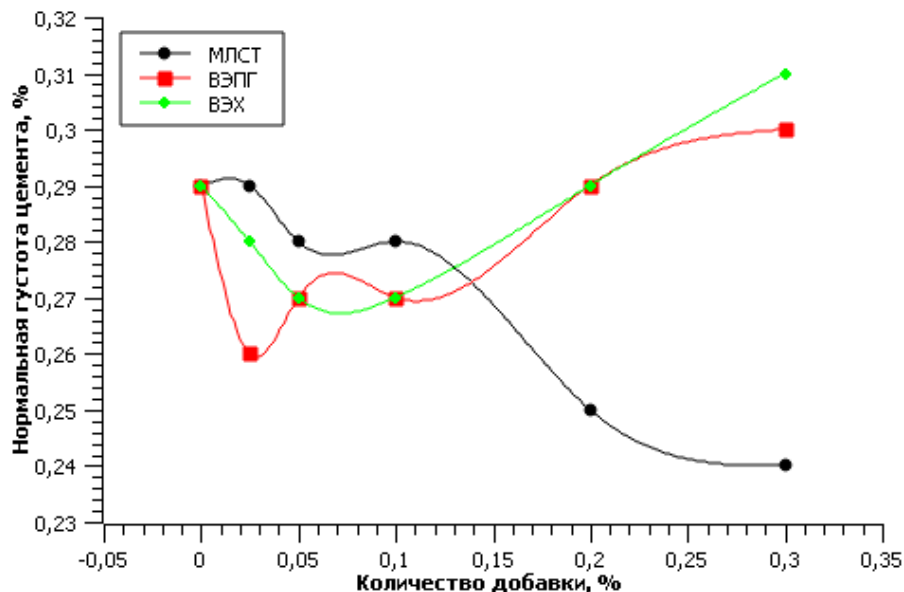


Рисунок 1 - Влияние добавки на водопотребность дорожного цемента

Из рис. 1 следует, что добавки из различных веществ в зависимости от их количества и 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 повышаются водоцементные отношения. Добавка из МЛСТ в количестве до 0,3% в цементе резко уменьшает водопотребность цементного теста. МЛСТ - это производный СДБ, при модификации СДБ в составе МЛСТ увеличивается доля электролита, что способствует приобретению добавкой более сильной пластификации, однако МЛСТ не замедляет процесс гидратации цемента и твердения цементного камня в раннем возрасте (см. рис.1).

Сроков схватывания цемента определяли по стандартной методике ГОСТ 310.3-88 с помощью прибора Вика.

Таблица 1 - Влияние добавки растительного сырья на сроки схватывания дорожного цемента

| Добавка,<br>% | Срок схватывания, минут |       |        |       |        |       |
|---------------|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
|               | ВЭХ                     |       | ВЭПГ   |       | МЛСТ   |       |
|               | Начало                  | Конец | Начало | Конец | Начало | Конец |
| 0             | 138                     | 278   | 138    | 278   | 138    | 278   |
| 0,01          | 147                     | 314   | 158    | 324   | 136    | 276   |
| 0,025         | 154                     | 338   | 168    | 346   | 140    | 280   |
| 0,05          | 157                     | 340   | 172    | 356   | 145    | 283   |
| 0,1           | 146                     | 335   | 170    | 364   | 152    | 289   |
| 0,25          | 156                     | 344   | 173    | 366   | 153    | 293   |
| 0,3           | 158                     | 366   | 184    | 370   | 169    | 298   |

Введение добавок из ВЭХ до 0,1% в цемент повышает начало схватывания от 138 до 156 минут и конец схватывания от 278 до 366 минут. Добавка ВЭПГ в количестве 0,01 до 0,1% от массы

цемента увеличивает начало схватывания от 138 до 184 и конец схватывания от 278 до 370 минут. Особенно можно отметить, что повышение количества добавки в цементе более 0,1% влияет на срок схватывания цементного теста нестабильно. МЛСТ в количестве до 0,3% равномерно действует на реологию цемента, где при таком количестве, имея в виду 0,3%, начало схватывания увеличивается на 16 минут и конец схватывания увеличивается на 20 минут.

Следует, что исследуемые добавки в зависимости от количества и состава разнообразно влияют на реологические свойства цементного теста, где оптимальным для ВЭХ и ВЭПГ в количестве до 0,1%, для МЛСТ оптимальным является 0,3% в этом количестве слабее действуют на свойства цементного теста.

Результаты влияния добавок растительного происхождения на прочность цементного камня приведены на рис. 2 и 3.

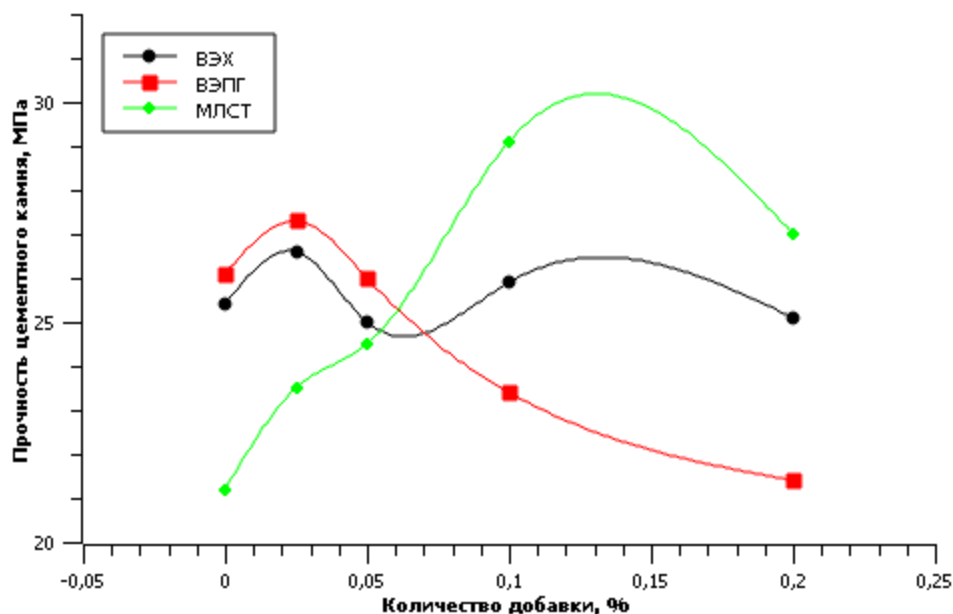


Рисунок 2 - Влияние химических добавок на прочность цементного камня

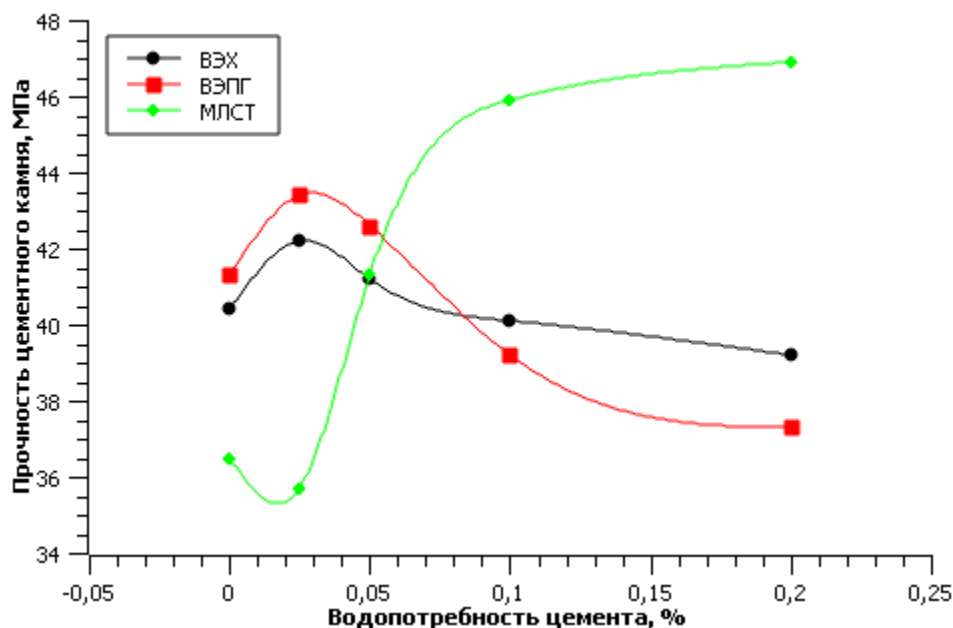


Рисунок 3 - Влияние химических добавок на прочность цементного камня

Из данных рис. 3 следует, что добавки в количестве 0,01 до 0,1% от массы цемента намного повышают физико-механические характеристики цементного камня, процесс отмечается в течение всего исследуемого периода до 28 сут. твердения. Кроме того, из приведенных данных табл. 1 следует, что с увеличением количества добавки ВЭХ и ВЭПГ 0,1 до 0,3% от массы цемента эффект сохраняется только в первые сутки твердения, а затем прочность образцов снижается. Добавка МЛСТ, как видно из табл. 1, закономерно влияет на прочность цементного камня. При добавлении в цемент в количестве 0,1 до 0,3% МЛСТ прочность цементного камня постепенно увеличивается до максимума.

Для определения влияния добавки растительного происхождения на свойства цементного раствора проводили ряд исследований, где изготовили образцы-балочки (160x40x40мм) и сохранили в водных условиях твердения. Результаты лабораторных исследований.

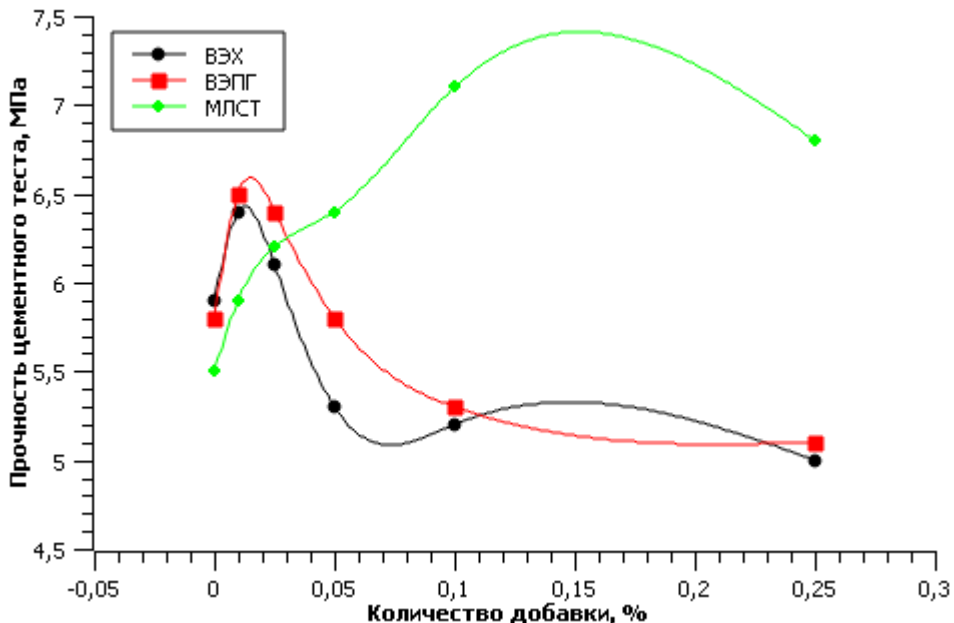


Рисунок 4 - Влияние химических добавок на прочность цементно-песчаного раствора на растяжение при изгибе

Анализ данных рис. 4 показывает, что химические добавки из растительного сырья в зависимости от природы и их состава разнообразно влияют на прочность раствора. Можно отметить, что существенные результаты роста прочности достигаются при дозировке добавки ВЭХ и ВЭПГ при 0,025% от массы цемента. Можно отметить, что добавка МЛСТ в дозировках от 0,1 до 0,3% эффективно влияет на прочность цементно-песчаного раствора. Из полученных результатов следует, что для образцов с добавкой ВЭХ и ВЭПГ в количествах 0,01...0,1 % в возрасте 28 сут. показатели прочности изменяются в пределах от 40 до 58 Мпа. Результаты наших экспериментов, свидетельствующие о росте прочности цементного камня и цементного раствора с добавками растительного происхождения в дозировке от 0,025 до 0,3% от веса цемента, связаны с повышением дисперсности системы цемент-вода и способствуют образованию мелкокристаллической структуры цементного камня. В нашем случае с целью подтверждения этой гипотезы был выполнен ряд исследований с помощью рентгенофазового анализа. Исследования были выполнены в сравнительном варианте, испытывая пробы порошка цементного камня и камня с добавками. На рис. 5. соответственно выборочно приведена рентгенограмма фазового структурного анализа проб цементного камня и камня с добавками в возрасте 28 сут.



3. Феднер, Л. 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.
4. Шарифов, А. Прочность и деформативность бетонов с добавкой щелочного экстракта стеблей хлопчатника / А. Шарифов, А. А. Акрамов, Я. Г. Назиров, А. К. Муминов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2013. – № 4 (153). – С. 106–112.
5. Шарифов, А. Повышение прочности и коррозионностойкости цементосодержащих композиций с экстрагируемыми веществами состава стеблей хлопчатника / А. Шарифов, А. А. Акрамов, Я. Г. Назиров, А. К. Муминов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2016. – № 5-6. – С. 248–252.
6. 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.
7. Зайцев, П. А. О регулировании свойств бетонных смесей и бетонов химическими добавками на основе лигносульфонатов / П. А. Зайцев [и др.] // Строительные конструкции зданий и сооружений дорожного сервиса: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ГТУ), 2004. – С. 68–77.
8. Тараканов, О. В. Химические добавки в растворы и бетоны / О. В. Тараканов. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 156 с.
9. 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.
10. Сайрахмонов, Р. Х. Цементно-воластонитовые вяжущие с химическими добавками и материалы на их основе / Р. Х. Сайрахмонов. – Душанбе: ТТУ, 2020. – 148 с.
11. Шарифов, А. Опыт применения модифицированного лессом СДБ в бетоне / А. Шарифов, Т. Дусмурадов, М. Н. Голубев [и др.] // Бетон и железобетон. – 1988. – № 3. – С. 15–16.
12. Каримов, Э. Х. Влияние водного экстракта гетерокомпонентов растительного сырья на физико-химические процессы в тампонажных и пластовых дисперсных системах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / Каримов Эхсон Хакимович. – Душанбе, 2019. – 24 с.

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

| TJ                                                                                         | RU                                                                               | EN                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Рахматзода Алишер Сунат                                                                    | Рахматзода Алишер Сунат                                                          | Rahmatzoda Alisher Sunat                                                      |
| Унвончуи кафедраи сохтмони роҳҳо, иншоот ва коммуникатсияҳои нақлиётӣ                      | Соискатель кафедры “Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций” | Department of Construction of Roads, Structures, and Transport Communications |
| Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ                                  | Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими                    | Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi                       |
| E-mail: <a href="mailto:Alisherrahmatzoda265@gmail.com">Alisherrahmatzoda265@gmail.com</a> |                                                                                  |                                                                               |

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЗАКОНА ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА В ПК ЛИРА-САПР НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

У.М. Махмадиев

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье представлены результаты численного исследования деформирования бетонных призм при статическом нагружении. На основе экспериментальных данных построена усреднённая полиномиальная зависимость, описывающая диаграмму деформирования бетона. С использованием полученной аппроксимационной функции сформирована таблица значений напряжений и соответствующих относительных деформаций, применённая для задания закона деформирования бетона в ПК ЛИРА-САПР 2022 в виде кусочно-линейной зависимости (закон 14). Выполнено конечно-элементное моделирование бетонной призмы с использованием объёмных конечных элементов с учётом физической нелинейности материала и пошагового приложения нагрузки. Проведено сопоставление результатов численного моделирования с экспериментальными данными, которое показало удовлетворительное согласование полученных зависимостей «напряжение–деформация».

**Ключевые слова:** бетон, бетонная призма, диаграмма деформирования, полиномиальная аппроксимация, численное моделирование, метод конечных элементов, кусочно-линейная зависимость.

## ИСТИФОДАИ ҚОНУНИЯТИ ШАКЛТАҒИРИИ ҒАЙРИХАТИИ БЕТОН ДАР БАРНОМАИ КОМПЮТЕРИИ ЛИРА-САПР ДАР АСОСИ НАТИҶАҶОИ ТАДҚИҚОТИ ТАҶРИБАВӢ

У.М. Махмадиев

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти адабии шаклтағирии призмҳои бетонӣ ҳангоми боргузории статикӣ пешниҳод шудааст. Дар асоси маълумоти тадқиқоти таҷрибавӣ вобастагии полиномиалии миёнакардашуда сохта шуда, диаграммаи шаклтағирии бетонро тавсиф менамояд. Бо истифода аз функсияи аппроксиматсионии ҳосилшуда чадвали қиматҳои шиддатҳо ва деформатсияҳои нисбии мувофиқ тартиб дода шуд, ки барои таъини қонуни шаклтағирии бетон дар барномаи компютерии ЛИРА-САПР 2022 дар шакли вобастагии порчагӣ-хаттӣ (қонуни 14) истифода гардид. Моделсозии адабии призмаи бетонӣ бо истифода аз унсурҳои ниҳои ҳаҷмӣ бо дарназардошти ҳосияти физикии ғайрихатии масолах ва татбиқи марҳила ба марҳила гузоштани бор иҷро гардидааст. Натиҷаҳои моделсозии адабӣ бо маълумотҳои таҷрибавӣ муқоисаи карда шуд, ки мувофиқати қаноатбахши вобастагии ҳосилшудаи «шиддат-шаклтағирий»-ро нишон дод.

**Калидвожаҳо:** бетон, призмаи бетонӣ, диаграммаи шаклтағирий, аппроксиматсияи полиномиалӣ, моделсозии адабӣ, усули унсурҳои ниҳой, вобастагии порчагӣ-хаттӣ.

## APPLICATION OF NONLINEAR LAW OF CONCRETE DEFORMATION IN LIRA- SAPR PC BASED ON RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES

U.M. Mahmadiyev

The article presents the results of a numerical study of the deformation of concrete prisms under static loading. On the basis of experimental data, an average polynomial dependence was constructed that describes the diagram of concrete deformation. Using the obtained approximation function, a table of stress values and corresponding relative deformations is formed, used to set the law of concrete deformation in the LIRA-CAD 2022 PC in the form of a piecewise linear dependence (law 14). Finite element modeling of the concrete prism was performed using three-dimensional finite elements, taking into account the physical nonlinearity of the material and the step-by-step application of the load. The results of numerical modeling were compared with experimental data, which showed satisfactory coordination of the obtained stress-strain relationships.

**Keywords:** concrete, concrete prism, deformation diagram, polynomial approximation, numerical modeling, finite element method, piecewise linear dependence.

### Введение

Численный анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных элементов в нелинейной постановке, а также учет нелинейного деформирования анизотропных материалов (в частности бетона, из которого изготовлены конструкции) представляет собой актуальную научно-техническую задачу [4].

Настоящее исследование развивает результаты работ [1–2, 11], в которых были определены физико-механические характеристики бетонной смеси и проведены экспериментальные исследования бетонных образцов. В рамках данной статьи выполнено численное моделирование работы бетонной призмы, а на основе экспериментальных данных определены параметры закона деформирования бетона для задания физической нелинейности материала в ПК ЛИРА-САПР 2022.

Одним из эффективных методов оценки достоверности результатов экспериментальных исследований является численное моделирование, выполняемое с применением современных программных комплексов. При расчёте строительных конструкций и решении инженерных задач

данный подход получил широкое распространение благодаря развитию и внедрению специализированных расчётных программных комплексов, в числе которых ANSYS, ABAQUS, SCAD Office, SAP2000, ETABS, ЛИРА-САПР и др. [5–9].

Согласно п. 6.1.19 СП 63.13330.2018, расчет железобетонных элементов выполняется по применению диаграммы состояния бетона по нелинейной деформационной модели.

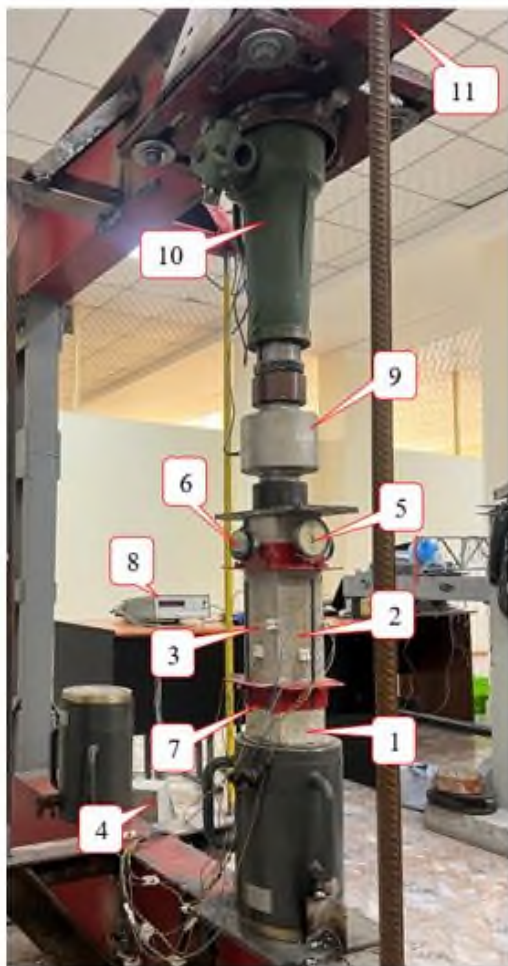
В качестве расчетных диаграмм состояния бетона, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями, используют следующие виды диаграмм бетона: кусочно-линейные (двухлинейные и трехлинейные), криволинейные, в том числе с ниспадающей ветвью, соответствующие поведению бетона. При этом должны быть обозначены основные точки диаграмм (максимальные напряжения и соответствующие деформации, граничные значения и т. д.) [10].

В данной работе реализован наиболее точный подход, основанный на построении фактической криволинейной диаграммы деформирования бетона путём аппроксимации экспериментальных данных. В качестве опытного образца для исследования принята бетонная призма, испытанная в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Численное моделирование бетонной призмы выполнено с целью анализа её напряжённо-деформированного состояния при осевом сжатии и последующего сопоставления расчётной зависимости «напряжение–деформация» с результатами экспериментальных исследований, полученными при ступенчатом нагружении образцов.

Основной задачей исследования являлись выбор и обоснование расчётной диаграммы деформирования бетона, а также оценка корректности принятой физически нелинейной модели материала при её последующем использовании в численном расчёте натуральных и модельных железобетонных балок.

Стенд для испытания бетонной призмы с указанием приборов и датчиков представлен на рис. 1 [2].



8 - ИДЦ-1 (измеритель деформаций цифровой)



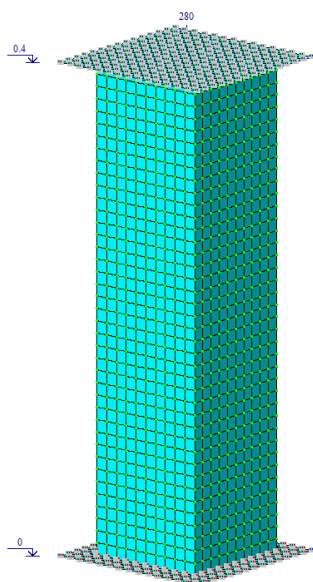
9- электронный динамометр марки ДМС-1000/5-1МГ4



5,6 - механический и электронный измерители деформаций с ценой деления 0.001мм

Рисунок 1 – Стенд для испытания бетонной призмы

Геометрические характеристики и граничные условия бетонной призмы, принятые при численном моделировании с использованием объёмных конечных элементов (КЭ236), представлены на рис. 2.



1. Размер бетонной призмы – 100x100x400 мм.
2. Размеры объёмных конечных элементов – 10x10x10 мм.
3. Общее количество объёмных конечных элементов - 4000.
4. Граничные условия на отметке +0.000 – закрепление по осям X, Y, Z.
5. Граничные условия на отметке +0.400 – закрепление по осям X и Y.
6. На отметках +0.000 и +0.400 в качестве опорных элементов используются металлические пластины толщиной 50 мм.
7. Общая нагрузка, приложенная к бетонной призме в центре опорной пластины, составляет 280 кН.
8. Количество шагов нагружения - 40.

Рисунок 2 – Расчетная модель бетонной призмы

Поскольку прямые испытания бетона на растяжение в рамках настоящей работы не выполнялись, параметры бетона при растяжении принимались расчётным путём на основе известных эмпирических зависимостей [3].

$$R_{bt} = 0.233 \cdot \sqrt[3]{R_b^2} \quad (1)$$

$$R_{bt} = 0.233 \cdot \sqrt[3]{25.13_b^2} = 1,199 \text{ МПа} \quad (2)$$

Параметры кусочно-линейного закона деформирования бетона (закон 14 ПК ЛИРА-САПР 2022), принятые при численном моделировании, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры кусочно-линейного закона деформирования бетона (закон 14)

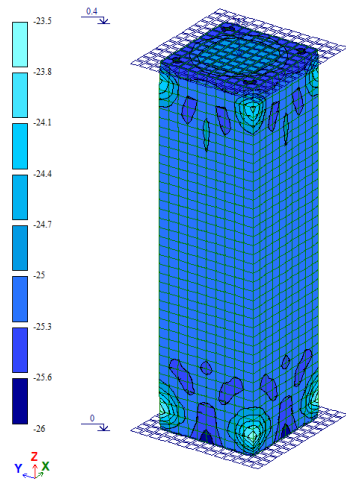
| № (точек) | ε        | σ, МПа  | № (точек) | ε         | σ, МПа  |
|-----------|----------|---------|-----------|-----------|---------|
| 1         | -0.00211 | -25.14  | 15        | -0.00056  | -11.948 |
| 2         | -0.00206 | -25.114 | 16        | -0.00051  | -11.053 |
| 3         | -0.00171 | -24.477 | 17        | -0.00046  | -10.128 |
| 4         | -0.00166 | -24.255 | 18        | -0.00041  | -9.17   |
| 5         | -0.00141 | -22.685 | 19        | -0.00036  | -8.181  |
| 6         | -0.00131 | -21.897 | 20        | -0.00026  | -6.103  |
| 7         | -0.00121 | -20.968 | 21        | -0.00016  | -3.888  |
| 8         | -0.00111 | -19.889 | 22        | -0.00011  | -2.727  |
| 9         | -0.00101 | -18.704 | 23        | 0         | 0       |
| 10        | -0.00096 | -18.082 | 24        | 0.000049  | 1.199   |
| 11        | -0.00081 | -16.057 | 25        | 0.0001000 | 1.999   |
| 12        | -0.00071 | -14.442 | 26        | 0.0001500 | 2.039   |
| 13        | -0.00066 | -13.589 |           |           |         |
| 14        | -0.00061 | -12.699 |           |           |         |

На рисунках 3 и 4 представлены этапы ввода параметров закона деформирования бетона в ПК ЛИРА-САПР и задания шагового нагружения расчётной модели.

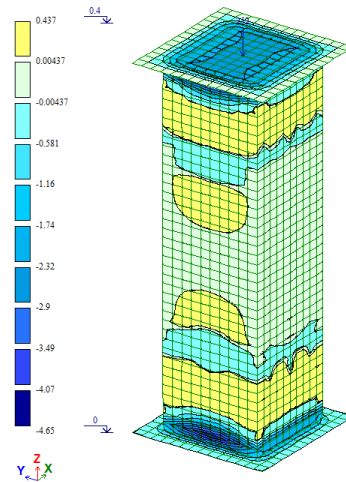


Таблица 2 – Результаты численного моделирования бетонных призм натурной железобетонной балки

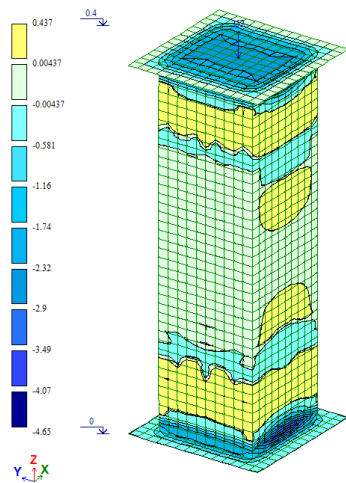
| № (шаг) | Процент прикладываемой нагрузки от заданной величины, % | Величина нагрузки в пределах шага, кН | Абсолютная деформация, мм | Относительная деформация $\varepsilon \cdot 10^{-3}$ ( $l_0=400\text{мм}$ ) | Напряжение $\sigma$ , МПа |
|---------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 2.5                                                     | 7                                     | 0.0114                    | 2.86E-02                                                                    | 0.70                      |
| 2       | 5                                                       | 14                                    | 0.0228                    | 5.71E-02                                                                    | 1.40                      |
| 3       | 7.5                                                     | 21                                    | 0.0343                    | 8.57E-02                                                                    | 2.10                      |
| 4       | 10                                                      | 28                                    | 0.0457                    | 1.14E-01                                                                    | 2.80                      |
| 5       | 12.5                                                    | 35                                    | 0.0578                    | 1.45E-01                                                                    | 3.50                      |
| 6       | 15                                                      | 42                                    | 0.0700                    | 1.75E-01                                                                    | 4.20                      |
| 7       | 17.5                                                    | 49                                    | 0.0828                    | 2.07E-01                                                                    | 4.90                      |
| 8       | 20                                                      | 56                                    | 0.0955                    | 2.39E-01                                                                    | 5.60                      |
| 9       | 22.5                                                    | 63                                    | 0.1083                    | 2.71E-01                                                                    | 6.30                      |
| 10      | 25                                                      | 70                                    | 0.1219                    | 3.05E-01                                                                    | 7.00                      |
| 11      | 27.5                                                    | 77                                    | 0.1354                    | 3.39E-01                                                                    | 7.70                      |
| 12      | 30                                                      | 84                                    | 0.1490                    | 3.73E-01                                                                    | 8.40                      |
| 13      | 32.5                                                    | 91                                    | 0.1633                    | 4.08E-01                                                                    | 9.10                      |
| 14      | 35                                                      | 98                                    | 0.1776                    | 4.44E-01                                                                    | 9.80                      |
| 15      | 37.5                                                    | 105                                   | 0.1924                    | 4.81E-01                                                                    | 10.50                     |
| 16      | 40                                                      | 112                                   | 0.2076                    | 5.19E-01                                                                    | 11.20                     |
| 17      | 42.5                                                    | 119                                   | 0.2233                    | 5.58E-01                                                                    | 11.90                     |
| 18      | 45                                                      | 126                                   | 0.2396                    | 5.99E-01                                                                    | 12.60                     |
| 19      | 47.5                                                    | 133                                   | 0.2580                    | 6.45E-01                                                                    | 13.30                     |
| 20      | 50                                                      | 140                                   | 0.2739                    | 6.85E-01                                                                    | 14.00                     |
| 21      | 52.5                                                    | 147                                   | 0.2905                    | 7.26E-01                                                                    | 14.70                     |
| 22      | 55                                                      | 154                                   | 0.3078                    | 7.70E-01                                                                    | 15.40                     |
| 23      | 57.5                                                    | 161                                   | 0.3254                    | 8.13E-01                                                                    | 16.10                     |
| 24      | 60                                                      | 168                                   | 0.3456                    | 8.64E-01                                                                    | 16.80                     |
| 25      | 62.5                                                    | 175                                   | 0.3664                    | 9.16E-01                                                                    | 17.50                     |
| 26      | 65                                                      | 182                                   | 0.3872                    | 9.68E-01                                                                    | 18.20                     |
| 27      | 67.5                                                    | 189                                   | 0.4097                    | 1.02E+00                                                                    | 18.90                     |
| 28      | 70                                                      | 196                                   | 0.4333                    | 1.08E+00                                                                    | 19.60                     |
| 29      | 72.5                                                    | 203                                   | 0.4572                    | 1.14E+00                                                                    | 20.30                     |
| 30      | 75                                                      | 210                                   | 0.4832                    | 1.21E+00                                                                    | 21.00                     |
| 31      | 77.5                                                    | 217                                   | 0.5126                    | 1.28E+00                                                                    | 21.70                     |
| 32      | 80                                                      | 224                                   | 0.5433                    | 1.36E+00                                                                    | 22.40                     |
| 33      | 82.5                                                    | 231                                   | 0.5794                    | 1.45E+00                                                                    | 23.10                     |
| 34      | 85                                                      | 238                                   | 0.6237                    | 1.56E+00                                                                    | 23.80                     |
| 35      | 87.5                                                    | 245                                   | 0.6696                    | 1.67E+00                                                                    | 24.50                     |
| 36      | 90                                                      | 252                                   | 0.7974                    | 1.99E+00                                                                    | 25.20                     |
| 37      | 92.5                                                    | 259                                   | 484.3810                  | 1.21E+03                                                                    | 25.90                     |
| 38      | 95                                                      | 266                                   | 1432.2200                 | 3.58E+03                                                                    | 26.60                     |
| 39      | 97.5                                                    | 273                                   | 2519.2900                 | 6.30E+03                                                                    | 27.30                     |
| 40      | 100                                                     | 280                                   | 3623.9600                 | 9.06E+03                                                                    | 28.00                     |



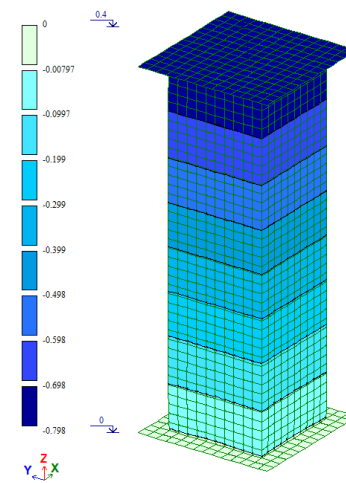
Изополю напряжений бетонных призм  $\sigma_z$  (шаг 36), МПа



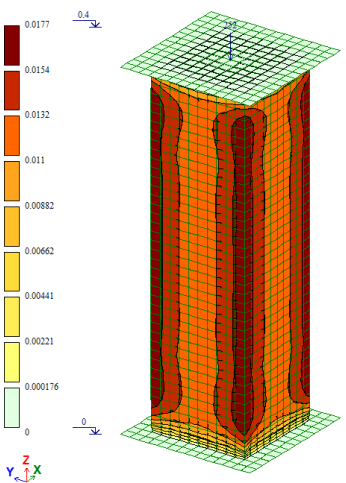
Изополю напряжений  $\sigma_y$  (шаг 36), МПа



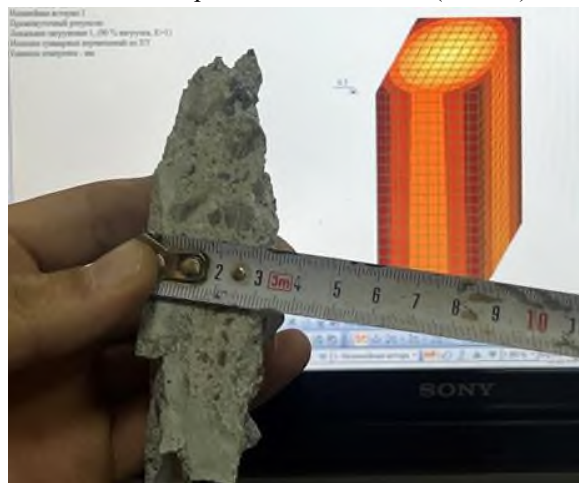
Изополю напряжений  $\sigma_x$  (шаг 36), МПа



Изополю перемещений по оси Z (шаг 36)



Изополю суммарных перемещений по осям X, Y (шаг 36)



Характер разрушения граней призмы по результатам экспериментальных испытаний

Рисунок 5 – Распределение напряжений и деформаций в бетонной призме по результатам численного моделирования в ПК ЛИРА-САПР

На рисунке 4 представлена диаграмма деформирования бетонной призмы при статическом нагружении, включающая экспериментальную кривую, её полиномиальную аппроксимацию, а также кривую, полученную по результатам численного моделирования на основе принятого закона деформирования бетона.

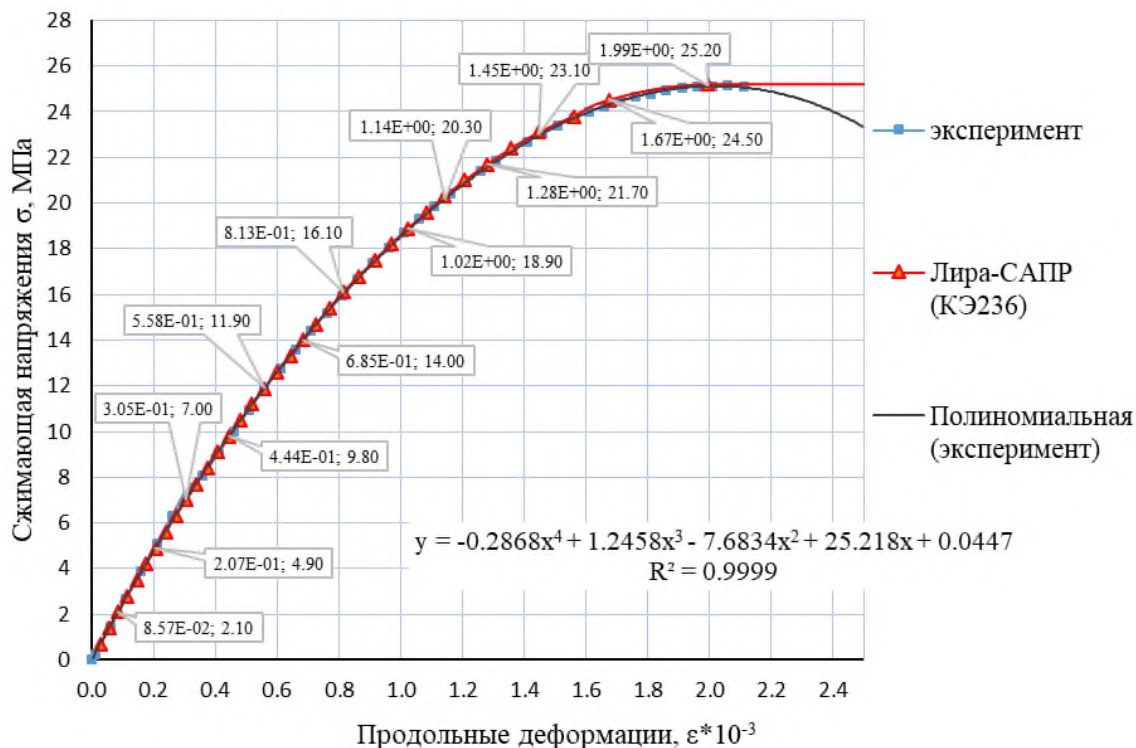


Рисунок 6 – Сопоставление диаграмм деформирования бетонной призмы, полученных экспериментальным и численным методами

## Выводы

1. Предложенная методика определения закона деформирования материала, основанная на полиномиальной аппроксимации экспериментально полученной зависимости «напряжение–деформация», обеспечивает возможность корректного задания параметров физической нелинейности в численных расчётах.

2. Численное исследование бетонной призмы, выполненное с использованием объёмных конечных элементов и заданного закона деформирования бетона, показало удовлетворительное согласование с результатами эксперимента. Это подтверждает корректность принятой модели материала и целесообразность её использования в физически нелинейных расчётах бетонных и железобетонных конструкций.

*Рецензент: Низомов Джаҳонгир Низомович — д.т.н., профессор, член-корр. НАНТД*

## Литература

1. И.К. Каландарбеков, У.М. Махмадиев. Экспериментальное исследование напряжённо-деформированного состояния натуральных железобетонных балок // Сияние науки. Международный научный журнал Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан. – 2025. – № 2 (06). – С. 29–41.
2. Д. Н. Низомов, И. К. Каландарбеков, У. М. Махмадиев [и др.]. Экспериментальные исследования моделей железобетонных балок на основе теории подобия // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. – 2025. – Т. 68, № 6. – С. 578-587. – EDN NIUCYS.
3. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: общий курс: учеб. для вузов. - Москва: Стройиздат, 1991.

4. Блохина Н. С. Проблема учета физической нелинейности при расчете строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-ucheta-fizicheskoy-nelineynosti-pri-raschete-stroitelnyh-konstruktsiy-1> (дата обращения: 15.03.2026).
5. Варвак П.М., Городецкий А.С., Пискунов В.Г. и др. Метод конечных элементов. //К.: Вища школа, 1981.– С.176.
6. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев: Факт, 2005. 343 с.
7. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии на ЭЦВМ.// ЭЦВМ в строительной механике. –М.: Издательство литературы по строительству, 1966.–С.169–174.
8. Карпунин В.Г. Компьютерное моделирование строительных конструкций в программном комплексе ЛИРА-САПР: учеб. пособие / В.Г. Карпунин. – Екатеринбург: Архитектон, 2018 – 323 с.
9. Круглов В.М. Нелинейные соотношения и критерий прочности бетона с трехосным напряженным состоянием //Строительная механика и расчет сооружений. – 1987.– № 1. – С.40–44.
10. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2018. – 124 с.
11. Низомов, Д. Н. Экспериментальные исследования железобетонных балок с целью определения коэффициентов подобия / Д. Н. Низомов, И. К. Каландарбеков, У. М. Махмадиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 2(58). – С. 167-174. – EDN QICOMZ.

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

| TJ                                                                                   | RU                              | EN                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| Махмадиев Усмонали Муродалиевич                                                      | Махмадиев Усмонали Муродалиевич | Mahmadiev Usmonali Murodalievich       |
| Докторант PhD                                                                        | Докторант PhD                   | PhD student                            |
| ДТТ ба номи академик М.С.Осими                                                       | ТТУ имени академика М.С. Осими  | TTU named after academician M.S. Osimi |
| E-mail: <a href="mailto:mahmadievu-21061997@mail.ru">mahmadievu-21061997@mail.ru</a> |                                 |                                        |

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Приложение 1  
к Положению о научном журнале  
"Политехнический вестник"

**ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ  
статей в журнал "Политехнический вестник"**

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.
2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:
  - статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
  - статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
  - статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).
3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.

## 4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD<sup>1</sup> на таджикском, английском или русском языке:

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ (Introduction)</b>                                 | 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.                                                                                                                                                                          |
| <b>МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)</b> | 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.                                                                                       |
| <b>РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)</b>                                    | Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)</b>                                 | 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. |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)</b>                                 | Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)</b>                   | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)</b>               | оформляется в конце статьи в следующем виде:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

<sup>1</sup> 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,  
 Title<sup>2</sup>  
 Ташкилот, Организация, Organization  
 e-mail  
 ORCID<sup>3</sup> Id  
 Телефон

|                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ</b><br/>(CONFLICT OF INTEREST)</p>                        | <p>Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой.<br/>                 Пример:<br/>                 1. Конфликт интересов: Автор Х.Х.Х. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX.<br/>                 2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.<br/>                 Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи</p>                                                                                            |
| <p><b>ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ</b> (AUTHOR CONTRIBUTIONS).</p>                     | <p>Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно).<br/>                 Пример данного раздела:<br/>                 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.<br/>                 2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации</p> |
| <p><b>ДОПОЛНИТЕЛЬНО</b> (по желанию автора)</p>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>БЛАГОДАРНОСТИ</b><br/>(опционально) -<br/>ACKNOWLEDGEMENT<br/>(optional)</p> | <p>Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ</b> (FUNDING)</p>                                      | <p>Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b><br/>(ADDITIONAL INFORMATION)</p>               | <p>В этом разделе могут быть помещены:<br/>                 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.<br/>                 Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе).<br/>                 Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладах на конференциях и семинарах.</p>                                |

5. Требования к оформлению статей

<sup>2</sup> Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

<sup>3</sup> 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 <sup>4</sup>                                                                        | <b>УДК 62.214.4; 621.791.05</b>                                                                                                                                                                                                                  | в верхнем левом углу полужирными буквами |
| Заголовок                                                                                      | <b>НАЗВАНИЕ СТАТЬИ</b><br>(должен быть информативным и, по возможности, кратким)<br>(на языке оригинала статьи)                                                                                                                                  | В центре полужирными буквами             |
| Авторы                                                                                         | <b>Инициалы и фамилии авторов</b><br>(на языке оригинала статьи)                                                                                                                                                                                 | В центре полужирными буквами             |
| Организация                                                                                    | <b>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими</b>                                                                                                                                                                             | 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)<br>Пример: энергосбережение, производство корунда, глинозем, энергопотребление, оптимизация                                                                                        | Выровнять по ширине                      |
| На двух других языках приводятся:<br>Заголовок<br>Авторы<br>Организация<br>Реферат (аннотация) | перевод названия статьи, авторов <sup>5</sup> , организации <sup>6</sup> , заголовки и реферат <sup>7</sup> и ключевые слова <sup>8</sup> 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).

<sup>4</sup> 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/>

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

<sup>7</sup> 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.

<sup>8</sup> 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.

|                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| <b>Мухаррири матни русӣ:</b>          | <b>М.М. Якубова</b>       |
| <b>Мухаррири матни тоҷикӣ:</b>        | <b>Муаллифон</b>          |
| <b>Мухаррири матни англисӣ:</b>       | <b>Муаллифон</b>          |
| <b>Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:</b>   | <b>М.А. Иззатуллоев</b>   |
| <b>Редактор русского текста:</b>      | <b>М.М. Якубова</b>       |
| <b>Редактор таджикского текста:</b>   | <b>Авторская редакция</b> |
| <b>Редактор английского текста:</b>   | <b>Авторская редакция</b> |
| <b>Компьютерный дизайн и верстка:</b> | <b>М.А. Иззатуллоев</b>   |

**Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10<sup>А</sup>**  
**Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раҷабовых, 10<sup>А</sup>**

Ба чоп 27.03.2026 имзо шуд. Ба матбаа 31.03.2026 супорида шуд.  
Чопи офсетӣ. Коғазӣ 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<sup>А</sup>**