

ISSN 2520-2227

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

2 (62) 2023



**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Серия: Инженерные исследования

**POLYTECHNIC BULLETIN**  
Series: Engineering studies

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҶҚИҚОТҶОИ МУҶАНДИСИ

ISSN  
2520-2227

**2(62)**  
**2023**



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

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

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

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

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

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

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**POLYTECHNIC BULLETIN**  
SERIES: ENGINEERING STUDIES

**ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ**

**САРМУҲАРРИР**

**Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА**

доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

**Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА**

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

**Ш.А. БОЗОРОВ**

н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

**М.М. КАЮМОВ**

саркотиб

**АЪЗОЁН**

**А.И. СИДОРОВ**

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

**А.Г. ФИШОВ**

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

**З.Ш. ЮЛДАШЕВ**

д.и.т., дотсент

**Л.С. КАСОБОВ**

н.и.т., дотсент

**А.Қ. ҚИРҒИЗОВ**

н.и.т., дотсент

**И.Н. ҒАНИЕВ**

академики АМИТ, д.и.х., профессор

**Ҳ.О. ОДИНАЗОДА**

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

**Т.Ҷ. ЧУРАЕВ**

д.и.т., профессор

**М.М. ҲАҚДОД**

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

**А.Б. БАДАЛОВ**

узви вобастаи АМИТ, д.и.х., профессор

**И. МИРЗОАЛИЕВ**

н.и.т., дотсент

**А.С. ФОҲАКОВ**

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

**Д.Н. НИЗОМОВ**

узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

**И. ҚАЛАНДАРБЕКОВ**

д.и.т., и.в. професс

**А. Г. ГИЯСОВ**

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

**Н.Н. ҲАСАНОВ**

доктори меъморӣ, и.в. профессор

**Р.С. МУҚИМОВ**

доктори меъморӣ, профессор

**Ҷ.Ҳ. САИДЗОДА**

доктори илмҳои техникӣ, профессор

**Р.Ҳ. РАСУЛОВ**

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

**Н.М. ҲАСАНОВ**

д.т.н., 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

**М. М. КАЮМОВ**

главный секретарь

**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., доцента

**И.Н. ҒАНИЕВ**

академик АН РТ, д.х.н. профессор

**Х.О. ОДИНАЗОДА**

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**Т.Дж. ДЖУРАЕВ**

д.т.н., профессор

**М.М. ҲАҚДОД**

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**А.Б. БАДАЛОВ**

член-корр. АН РТ, д.х.н., профессор

**И. МИРЗОАЛИЕВ**

к.т.н., доцент

**А.С. ФОҲАКОВ**

д.т.н., доцент

**В.В. СИЛЯНОВ**

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

**Р.А. ДАВЛАТШОЕВ**

к.т.н., доцент

**М.Ю. ЮНУСОВ**

к.т.н., и.о. доцента

**Р.САЛОМЗОДА**

к.т.н., доцент

**Д.Н. НИЗОМОВ**

член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**И.КАЛАНДАРБЕКОВ**

д.т.н., и.о. профессора

**А. Г. ГИЯСОВ**

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

**Н.Н. ҲАСАНОВ**

доктор архитектуры, и.о. профессора

**Р.С. МУҚИМОВ**

доктор архитектуры, профессор

**Дж.Х. САИДЗОДА**

д.т.н., профессор

**Р.Х. РАСУЛОВ**

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

**Н.М. ҲАСАНОВ**

д.т.н., доцент

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

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

## МУНДАРИҶА – ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY</b> .....	<b>6</b>
<i><b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЧАСТОТНЫМ СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ</b></i> .....	<b>6</b>
Каримов И.Р., Дадабаев Ш.Т. ....	6
<i><b>ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В СЕТЯХ 6-10 КВ</b></i> .....	<b>13</b>
Бобоев Х.Д. ....	13
<i><b>КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА</b></i> .....	<b>18</b>
Махмадджонов Ф.Д. <sup>1</sup> , Касобов Л.С. <sup>1</sup> , Балобанов Р.Н. <sup>2</sup> , Баласим М. Хусейн <sup>3</sup> .....	18
<i><b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАТИ ИНТИҚОЛИ БАРКИ БАЛАНДШИДДАТИ 35 КВ ДАР БАРНОМАИ МАТЛАВ</b></i> .....	<b>26</b>
Мирхолиқова Д.С. ....	26
<i><b>АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</b></i> .....	<b>35</b>
Рахимзода Дж.Б., Курбонов Ю.М. ....	35
<i><b>ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</b></i> .....	<b>42</b>
Махмадджонов Ф.Д., Касобов Л.С. ....	42
<i><b>ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ</b></i> .....	<b>47</b>
Воҳидов М.М., Исмоилов Ф.О. ....	47
<i><b>ОМУӢЗИШИ ПАДИДАИ ЛОИҚАБАНДИИ ОБАНБОРИ ОБГИРЕҶИ НОРАК</b></i> .....	<b>51</b>
Обидҷони Ш. Қ. ....	51
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE</b> .....	<b>59</b>
<i><b>АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АБ1 (Al+1%Be), ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЕМ</b></i> .....	<b>59</b>
Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Сафаров А.М. ....	59
<i><b>АКТИВАЦИЯ АНТИМОНИТА КАТИОНАМИ СВИНЦА И МЕДИ</b></i> .....	<b>64</b>
Соложенкин <sup>1</sup> П.М., Гадоев <sup>2</sup> С.А. ....	64
<i><b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СУРЬМЫ ИЗ СУЛЬФИДНОГО СУРЬМЯНОГО КОНЦЕНТРАТА</b></i> .....	<b>72</b>
Рахимов Х.Ш. ....	72
<i><b>ВЛИЯНИЕ БЕРИЛЛИЯ, МАГНИЯ И АЛЮМИНИЯ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СВИНЦА В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl</b></i> .....	<b>80</b>
Умаров М. А. ....	80
<i><b>ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ СИСТЕМЫ Al – Si – Me</b></i> .....	<b>87</b>
Миров И.О. ....	87
<i><b>МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ В СКРЕЩЕННЫХ ВАЛКАХ</b></i> .....	<b>95</b>
Одиназода Б.Н. ....	95
<i><b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШУМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ</b></i> .....	<b>99</b>
Хақдод М.М. <sup>1</sup> , Одиназода Б.Н. <sup>2</sup> , Бозоров Ш.А. <sup>2</sup> .....	99
<b>ТЕХНОЛОГИЯИ ХИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY</b> .....	<b>105</b>

<b><u>ГАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УГЛЯ С КИСЛОРОДОМ.....</u></b>	<b>105</b>
<sup>1</sup> Гайбуллаева З.Х., <sup>2</sup> Гадоев Т.Х., <sup>1</sup> Асроров Б.И., <sup>1</sup> Бахриддинзода Ш.Б., .....	105
<b><u>ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БОРОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ СПЕКАНИЕМ С ХЛОРИДОМ МАГНИЯ .....</u></b>	<b>112</b>
Савзаева Ш.Х. ....	112
<b><u>ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕПЕЙНИКА (ARCTIUM LARPA L) И ДОННИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО (MELILOTUS OFFICINALIS L.) .....</u></b>	<b>117</b>
<sup>1,3</sup> Султонов Р.А., <sup>2</sup> Юсуфи С.Дж., <sup>1</sup> РаджабовУ.Р., <sup>1</sup> Наврүззода Г.Ф., <sup>3</sup> Рахими Ф., <sup>3</sup> Юсупов И.Х., <sup>4</sup> Хақимходжаев С.Н. ....	117
<b><u>КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ЭПР СПИН-МЕЧЕНЫХ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТЬЕВ РЕПЕЙНИКА (ARCTIUM TOMENTOSUM MILL.) И ПОДРОЖНИКА ЛАНЦЕТНОГО (PLANTOGO LANCEOLATA. L) ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ РАДИАЦИОННОГО ФОНА.....</u></b>	<b>125</b>
<sup>1,3</sup> Султонов Р.А., <sup>2</sup> Юсуфи С.Дж., <sup>1</sup> РаджабовУ.Р., <sup>1</sup> Наврүззода Г.Ф., <sup>3</sup> Рахими Ф., <sup>3</sup> Юсупов И.Х., <sup>4</sup> Хақимходжаев С.Н. ....	125
<b><u>НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT.....</u></b>	<b>133</b>
<b><u>ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРАКТОРНЫХ ШИН В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН .....</u></b>	<b>133</b>
Умирзоков А.М. ....	133
<b><u>ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ ХОДОВОЙ ЧАСТИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ .....</u></b>	<b>138</b>
<sup>1</sup> Ахунов Т.И., <sup>2</sup> Бобиев Р.М. ....	138
<b><u>ИМИТАЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....</u></b>	<b>147</b>
Юнусов М.Ю. ....	147
<b><u>ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА СКОРОСТЬ СООБЩЕНИЯ НА ЧЕТЫРЁХПОЛОСНЫХ СЕГМЕНТАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МИКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ.....</u></b>	<b>153</b>
<sup>1</sup> Пиров Ж. Т., <sup>1</sup> Давлатшоев Р.А., <sup>2</sup> Бобоев Р. М. ....	153
<b><u>ЭЛЕКТРОЛИЗЁР АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА .....</u></b>	<b>161</b>
А.Г. Уланов <sup>1</sup> , С.С. Сайдуллозода <sup>2</sup> , Х.Б. Хусейнов <sup>2</sup> .....	161
<b><u>СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE.....</u></b>	<b>166</b>
<b><u>РАЗВИТИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ЗАСТРОЙКИ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ГОРОДАХ ТАДЖИКИСТАНА .....</u></b>	<b>166</b>
Мирзоева Ф.З., Олимова Н.О., Разоков А.А. ....	166
<b><u>МАВҚЕИ МАНЗИЛҲОИ ИНФИРОДӢ ДАР ТАШАККУЛИ МУҲИТИ ЗИСТИ ШАҲРАКҲОИ ШИМОЛИ ТОҶИКИСТОН ...</u></b>	<b>175</b>
<sup>1</sup> Муқимов Р.С., <sup>2</sup> Зоқиров Р.Ш. ....	175
<b><u>НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПРОСЛОЙКАМИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МИКРОКЛИМАТ.....</u></b>	<b>183</b>
Нигматов И.И. ....	183
<b><u>РАЗВИТИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ МАЛЫХ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН .....</u></b>	<b>186</b>
Садиева Г.Ф., Мирзоева Ф.З. ....	186
<b><u>ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТА «БЕТОН - СКАЛА» В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА .....</u></b>	<b>195</b>
Сафарова М.М. <sup>1</sup> , Хайруллозода Н.Дж. <sup>2</sup> , Давлатшоев С.К. <sup>1</sup> , .....	195
<b><u>ПРИМЕНЕНИЕ И РЕШЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ОРНАМЕНТА В АРХИТЕКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ТАДЖИКИСТАНА..</u></b>	<b>201</b>
Эмомова Ф.Ё.....	201
<b><u>ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК .....</u></b>	<b>206</b>

Низомов <sup>1</sup> Д.Н., Каландарбеков <sup>2</sup> И.К., Каландарбеков <sup>2</sup> И.И., Джонмамадова <sup>2</sup> М.Т.....	206
<b><u>ПРОБЛЕМА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГЛИНОБИТНЫХ ДОМОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ</u></b>	
<b><u>ТАДЖИКИСТАН .....</u></b>	<b><u>214</u></b>
Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И., Шарифзода А.Ш. ....	214
<b><u>ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ</u></b>	
<b><u>ДЕФОРМАЦИЙ .....</u></b>	<b><u>219</u></b>
Д. Н. Низомов <sup>1</sup> , И. К. Каландарбеков <sup>2</sup> , Д. Дж. Исвалиев <sup>2</sup> .....	219

## ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY

УДК 621.313

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЧАСТОТНЫМ СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Каримов И.Р., Дадабаев Ш.Т.

Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета  
имени академика М.С. Осими

С целью исследования рабочих режимов регулируемого электропривода переменного тока разработана компьютерная модель, с помощью которой можно построить статические механические характеристики при управлении по частотному закону  $U/f=const$ . Кроме этого, в данной модели можно исследовать работу электропривода в режиме прямого пуска, что позволит оценить пусковые характеристики электропривода без решения сложных математических задач и излишней траты времени.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электропривод, преобразователь частоты, механическая характеристика, скалярное управление.

### COMPUTER SIMULATION OF A REGULATED AC DRIVE WITH FREQUENCY SCALAR CONTROL

Karimov I.R., Dadabaev S.T.

In order to study the operating modes of an adjustable AC electric drive, a computer model has been developed that can be used to build static mechanical characteristics when controlled according to the frequency control law  $U/f=const$ . In addition, in this model, it is possible to study the operation of the electric drive in the direct start mode, which makes it possible to evaluate the starting characteristics of the electric drive without solving complex mathematical problems and wasting time.

**Key words:** asynchronous motor, electric drive, frequency converter, mechanical characteristic, scalar control.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТАНЗИМШАВАНДА ЧАРАЁНИ ТАҒЙИРЁБАНДА БО ИДРОАИ БАСОМАДӢ-СКАЛЯРӢ

Каримов И.Р., Дадобоев Ш.Т.

Бо мақсади таҳқиқи речаҳои кори харакатовари электрики танзимшавандаи чараёни тағйирёбанда модели компютерӣ тартиб дода шуд, ки бо ёрии он характикаҳои механикӣ модомӣ идоракуни бо қонуни басомадӣ  $U/f=const$  сохтан мумкин аст. Ба ғайр аз ин, дар модел имконияти таҳқиқи кори харакатовари электрикӣ дар речаи бакорандозии мустақим мавҷуд аст, ки дар натиҷа бидуни ҳалли масъалаҳои математикии душвор ва сарфи вақти зиёд, ба характикаҳои бакорандозии харакатовари электрикӣ баҳо додан мумкин аст.

**Калимаҳои калидӣ:** муҳарриқи асинхронӣ, харакатовари электрикӣ, табдилдиҳандаи басомадӣ, характикаи механикӣ, идораи скалярӣ.

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня регулируемые электроприводы (РЭП) широко используются в различных механизмах и оборудовании промышленности, где достойно выполняют свои технические функции. Одним из основных компонентов РЭП являются асинхронный двигатель (АД) и частотный преобразователь (ПЧ), благодаря чему такую систему управления электропривода (СУЭП) именовали ПЧ - АД. Закон частотного управления был сформулирован в работах Костенко М.П., который и положил начало частотному управлению электроприводов (ЭП) [1]. В последующих работах Сандлера А.С., Ковача К.П., Чиликина М.Г., Поздеева А.Д. [2] и др. были рассмотрены переходные процессы в машинах переменного тока и электромагнитные процессы в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока. Благодаря этим работам сегодня мы имеем широкое представление об особенностях системы ПЧ - АД. Однако с развитием методов управления и элементов силовой электроники усложнились подходы к правильному выбору и настройке данной системы для ЭП механизмов. Выбор компонентов ЭП как ПЧ требует значительных финансовых затрат, и потому перед их выбором необходимо провести анализ совместимости статических характеристик ЭП с преобразователем [3]. Известно, что эффективность и энергосбережение использования РЭП зависит от соответствия характера нагрузки механизмов и глубины регулирования ЭП [4].

**Цель работы:** разработка компьютерной модели регулируемого электропривода переменного тока частотным скалярным управлением.

**Объект исследования:** частотно-регулируемый асинхронный электропривод.

**Предмет исследования:** расчет и построение статических механических характеристик АД при управлении по закону частотного управления  $U/f=const$  с помощью Matlab/Simulink.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В теории электрических машин принято использовать три координатные системы, которые являются частными случаями координатной системы, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$  [5]:

1. Система координат  $d, q$  неподвижная относительно ротора и вращающаяся вместе с ротором ( $\omega_k = \omega_r$ ).

2. Система координат  $\alpha, \beta$  неподвижная относительно статора ( $\omega_k = 0$ ).

3. Система координат  $x, y$  вращающаяся в пространстве с произвольной скоростью  $\omega_k$ .

Для исследования асинхронных машин (АМ) используют систему координат  $\alpha, \beta$ . Для математического описания АМ примем структуру обобщенной асинхронной машины, где обмотки статора АД подключены к симметричным трехфазным источникам напряжения. Ротор двигателя отделен от статора воздушным зазором и тоже имеет три фазы обмоток. Уравнение равновесия э.д.с. на обмотках статора и ротора будет иметь вид [5]:

$$\begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}, \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\Psi_B}{dt}, \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\Psi_C}{dt}, \\ u_a &= R_a i_a + \frac{d\Psi_a}{dt}, \\ u_b &= R_b i_b + \frac{d\Psi_b}{dt}, \\ u_c &= R_c i_c + \frac{d\Psi_c}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $u_A, u_B, u_C$  – мгновенные напряжения статора;

$u_a, u_b, u_c$  – мгновенные напряжения ротора;

$i_A, i_B, i_C$  – мгновенные токи статора;

$i_a, i_b, i_c$  – мгновенные токи ротора;

$\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c$  – мгновенные потокоцепления обмоток статора и ротора;

$R_A, R_B, R_C, R_a, R_b, R_c$  – активные сопротивления обмоток статора и ротора.

Связь между потокоцеплением обмоток и токов обмоток статора и ротора АД выражается следующим образом:

$$\begin{aligned} \Psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c, \\ \Psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c, \\ \Psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c, \\ \Psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c, \\ \Psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c, \\ \Psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения (2) показывают, что зависимости потокоцепления каждой обмотки от токов проявляются через взаимную индукцию. Для моделирования необходимы параметры АД, часть которых берется от паспортных данных, а часть находится расчетным путем [6]. Для моделирования РЭП сначала необходимо моделировать ЭП в режиме нерегулируемого ЭП, где частотное управление отсутствует. В качестве инструмента моделирования выбрали систему MATLAB/Simulink, где можно проводить различные расчеты и моделирования технических объектов и систем. В системе MATLAB имеются библиотеки компонентов, с помощью которых создаются модели исследуемых объектов. В нашем

случае используем библиотеку SimPowerSystem, где расположены элементы электрических цепей и систем.

Для моделирования нерегулируемого ЭП переменного тока необходимы следующие элементы системы:

- источник электрической энергии (Electrical Source);
- АД с короткозамкнутым ротором (Asynchronous Machine);
- измерительные приборы (Measurement);
- графопостроители (Scope).

Для исследования ЭП выбрали АД с короткозамкнутым ротором марки 4A180M4УЗ, параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные и расчетные данные АД марки 4A180M4УЗ

№	Величина	Значение
1	Номинальное скольжение, $s_n$	0,02
2	Индуктивность статора и ротора, $L_{is} = L_{ir}$ , (Гн)	$0,9434 \cdot 10^{-3}$
3	Взаимоиндукция, $L_m$ , (Гн)	0,05328
4	Активное сопротивление статора, $R_s$ , (Ом)	0,04294
5	Активное сопротивление ротора, $R_r$ , (Ом)	0,0668
6	Номинальный момент, $M_n$ , Н·м	195
7	Максимальный момент, $M_m$ , Н·м	450
8	Номинальный ток, $I_n$ , А	56
9	Номинальный угловой скорость, $\omega$ , рад/с	153,93
10	Номинальная мощность, $P_n$ , кВт	30,00
11	Коэффициент полезного действия, $\eta$	0,91
12	Коэффициент мощности, $\cos\varphi$	0,9
13	Кратность максимального момента, $k_M$	2,3
14	Кратность пускового тока, $k_I$	6,5
15	Момент инерции, $J$ , кг·м <sup>2</sup>	$23,3 \cdot 10^{-2}$

С целью исследования нерегулируемого ЭП и расчёта с дальнейшим построением механических характеристик АД, при частотном управлении по закону  $U/f = const$  разработали компьютерную модель, которая приведена на рисунке 1.

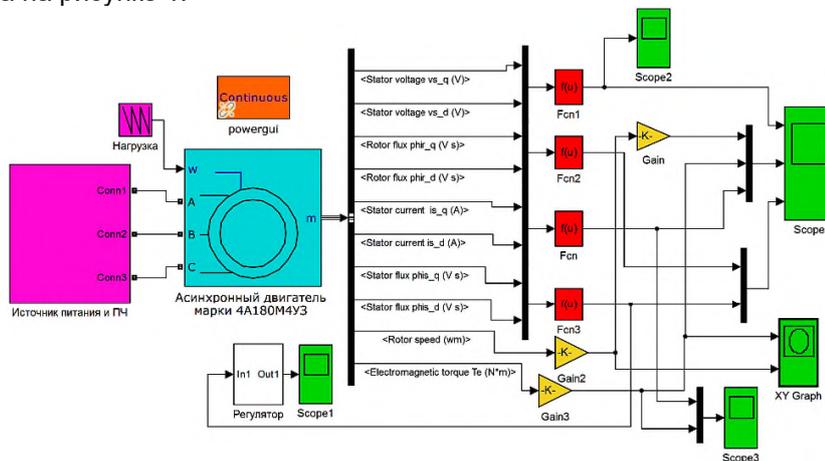


Рисунок 1 – Компьютерная модель для расчёта и построения механических характеристик АД при частотном скалярном управлении

Скалярным управлением скорости ЭП с АД называют такой способ регулирования, где изменение скорости достигается в результате одновременного воздействия на частоту напряжения и модуля напряжения обмотки статора [5, 7, 8]. При  $U/f$  – управлении напряжение и ток рассматриваются как скалярные величины, так как будут использоваться модули этих величин. Вид механической характеристики при таком управлении определяется по соотношению между собой частоты и напряжения питания статора АД. В этом случае частота принимается за независимое воздействие, однако значение напряжения будет при этом определяться от изменения вида механических характеристик привода, получаемых при изменении частоты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты моделирования нерегулируемого ЭП приведены на рисунках 2-5.

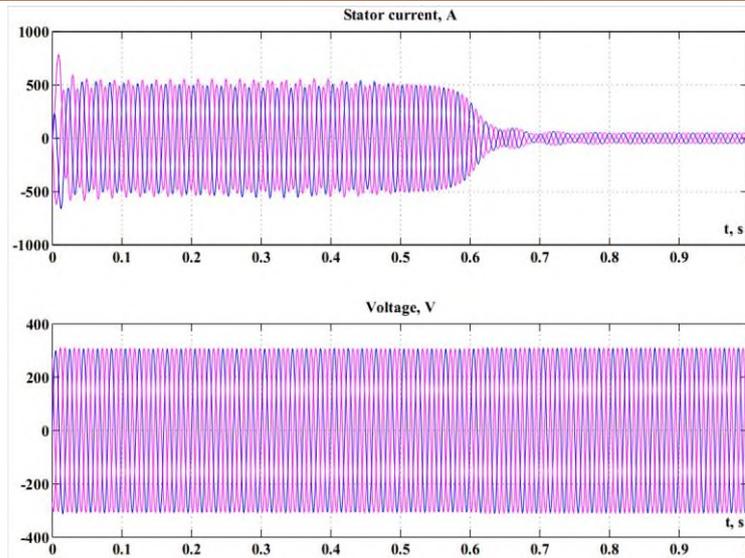
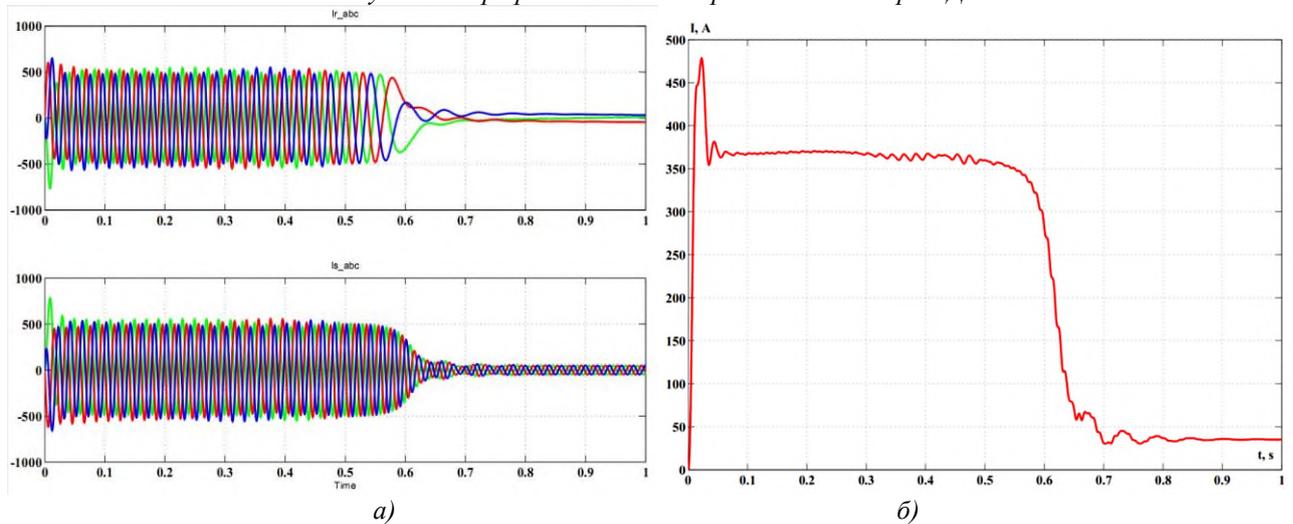


Рисунок 2 – Графики токов и напряжения статора АД



а)

б)

Рисунок 3 – Графики токов АД: а – токи ротора и статора; б – действующее значение тока статора

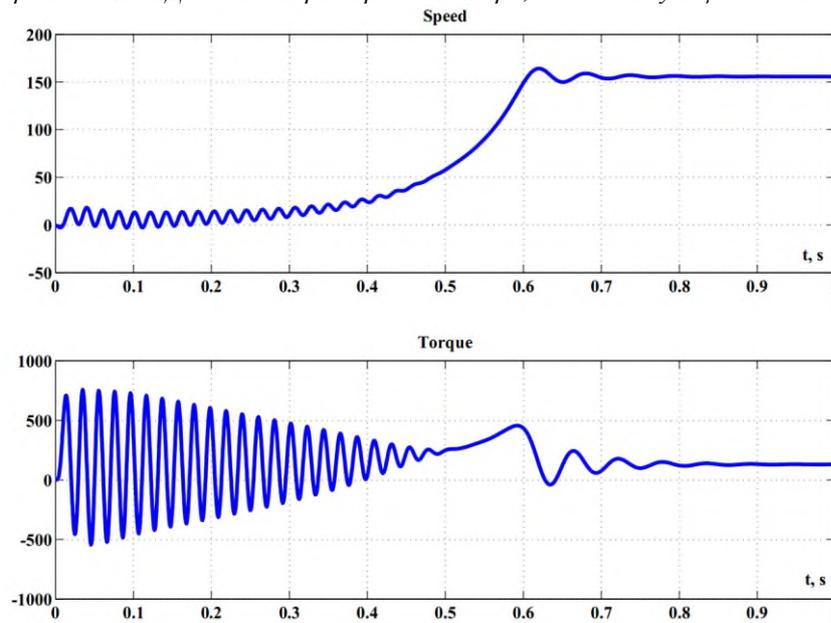


Рисунок 4 – Графики скорости и электромагнитного момента АД

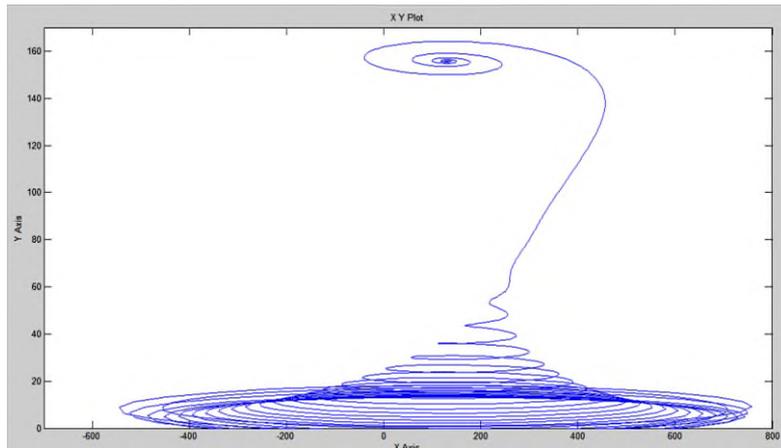


Рисунок 5 – Механическая характеристика АД при прямом пуске

На рисунке 2 показаны графики изменения токов статора и напряжения, а на рисунке 3 более детально показаны изменения значения токов статора и ротора АД в режиме нерегулируемого ЭП. Механические параметры ЭП показаны на рисунках 4 и 5. Таким образом, разработанная модель полностью симулирует рабочие режимы нерегулируемого ЭП. Механическая характеристика такого ЭП (рисунок 5) показывает сложные переходные процессы, которые проходят в пусковых режимах ЭП без систем плавного или безударного пуска.

В разработанной модели для исследования РЭП основными элементами являются «Источник питания и ПЧ» и «Асинхронный двигатель». Источник питания снабжает ПЧ симметричным трехфазным напряжением 400 В. В качестве электродвигателя выбрали АД той же марки, что у нерегулируемого ЭП (4А180М4У3). С целью расчёта и построения механических характеристик АД при частотном скалярном управлении на механический вход двигателя «w» подается линейно изменяющаяся нагрузка с незначительной интенсивностью. На выходе двигателя берутся сигналы электромагнитного момента двигателя «Тe» и сигналы угловой скорости АД, затем оба сигнала задаются на вход «XY Graph». В результате формируется механическая характеристика АД при частотном законе  $U/f$  – управления. Изменение задания частоты напряжения, подаваемого на обмотку статора двигателя, осуществляется через блок «Источник питания и ПЧ». Частотный закон  $U/f$  – управления аналитически можно выразить следующим образом [5]:

$$U_1 = \frac{U}{\omega} \frac{\phi_{ном}}{\phi_{ном}} (\varpi_0 \cdot \omega_{0ном}), \quad (3)$$

где  $\varpi$  - значение частоты напряжения в относительных единицах.

По идее, при частоте питания 50 Гц напряжение имеет значение 400 В, при 25 Гц, напряжение 200 В, так работает рассматриваемый частотный закон управления  $U/f = const$ . Результаты моделирования приведены на рисунке 6-8.

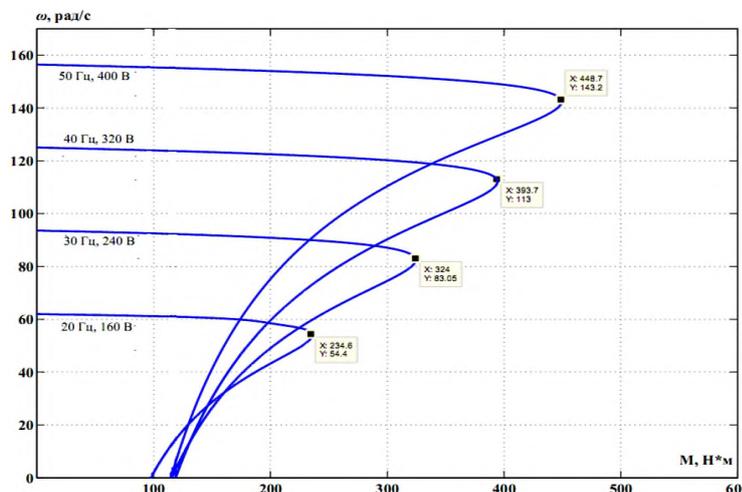


Рисунок 6 – Семейства механических характеристик ЭП при частотном управлении по закону  $U/f = const$

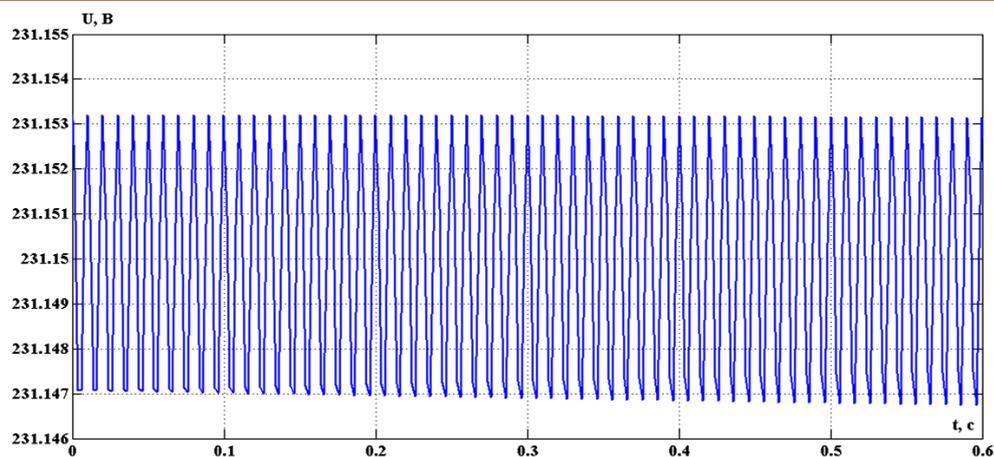


Рисунок 7 – График фазного напряжения АД

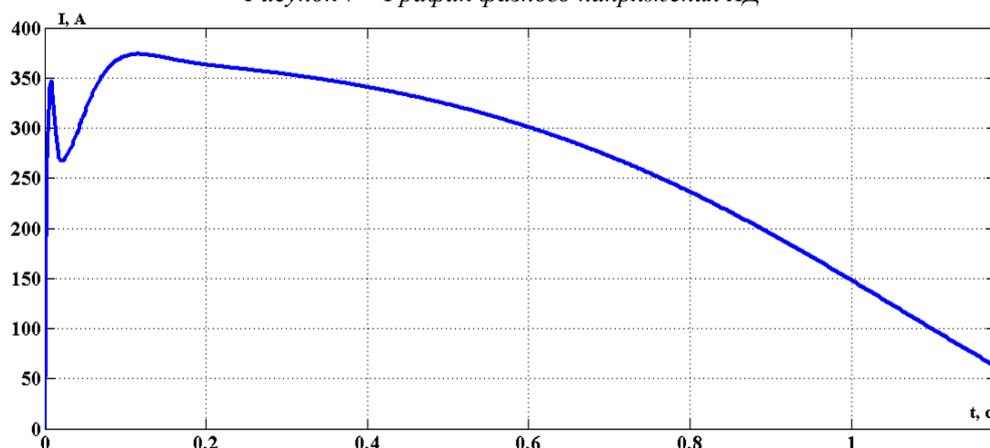


Рисунок 8 – График тока АД при скалярном управлении

Графики на рисунках 7 и 8 показывают поведение фазного напряжения и тока статора АД при частотном управлении по закону  $U/f = \text{const}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали результаты моделирования, разработанная компьютерная модель на достаточном уровне симулировала процессы, происходящие в реальной ЭП, что свидетельствует о правильной разработанной модели [7]. По техническому паспорту АД марки 4A180M4УЗ максимальный момент АД составляет 450 Н·м, где наша модель показала 448,7 Н·м (рисунок 6). По тому же паспорту номинальный ток АД составлял 56 А, а пусковой ток 364 А, модель которых с большой точностью рассчитали и показали на рисунке 3б. Механические характеристики ЭП при частотном управлении по закону  $U/f = \text{const}$ , показанные на рисунке 6, совпадают с реальными характеристиками ЭП при таком способе регулирования. По курсу теории электропривода известно, что синхронная скорость АД зависит от частоты напряжения питания двигателя, а зависимость напряжения и электромагнитного момента АД считается квадратичной. Указанные закономерности в ЭП и при частотном скалярном управлении ЭП соблюдены и показаны на механических характеристиках ЭП (рисунок 6).

Таким образом, мы получили модель, по которой можно на стадии проектирования ЭП исследовать возможность и эффективность использования ПЧ по способу скалярного управления в ЭП различных механизмов и машин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М. Л.: Госэнергоиздат, 1963. 735 с.
2. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. 172 с.
3. Каримов И.Р. Исследование энергосберегающих электроприводов по системе "Преобразователь частоты - асинхронный двигатель". Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2019. № 6. С. 70-73.
4. Дадабаев Ш.Т. Компьютерное моделирование инвертора тока, используемое для пуска высоковольтных электродвигателей. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 2. С. 370-375.

5. Терёхин В.Б. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab: учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 511 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА. Век, 2008. 368 с.
7. Dadabaev S.T., Islomovna T.M., Saidulloevna M.D. Modeling of starting transition processes of asynchronous motors with reduced voltage of the supply network. European Journal of Electrical Engineering. 2020. T. 22. № 1. С. 23-28.
8. Алиев Д.С., Джураев Д.С. Применение энергоэффективных машин переменного тока. В сборнике: Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы I Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 16–17 ноября 2017 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2017. – С. 11-15.

### МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-ABOUT AUTHORS

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Каримов Ибодкул Раҳимкулович	Каримов Ибодкул Рахимкулович	Karimov Ibodkul Rahimkulovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	Омӯзгори калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Ташкилот, Организация, Organization	Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд	Худжандский политехнический институт ТТУ имени академика М.С. Осими	Khujand Polytechnical Institute of Tajik Technic University named after Academician M.S. Osimi
e-mail	karimov.ibodkul@mail.ru		
Телефон	(+992)927618005		
	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Дадобоев Шаҳбоз Толибҷонович	Дадабаев Шахбоз Толібджонович	Dadabaev Shakhboz Tolibjonovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	Омӯзгори калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Ташкилот, Организация, Organization	Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд	Худжандский политехнический институт ТТУ имени академика М.С. Осими	Khujand Polytechnical Institute of Tajik Technic University named after Academician M.S. Osimi
e-mail	shahbozdadoboev@mail.ru		
Телефон	(+992)918407161		
ORCID Id	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2573-759X">0000-0002-2573-759X</a>		
<a href="#">Scopus Author ID:</a>	<a href="https://orcid.org/57216839361">57216839361</a>		

УДК 621.311

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В СЕТЯХ 6-10 КВ

Бобоев Х.Д.

Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими

Одним из наиболее эффективных технических мероприятий, направлений обеспечения электробезопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом является непрерывный контроль изоляции (НКИ). В данной работе рассматривается разработанная система контроля изоляции (СКИ) для оценки изменения вероятности электроопасной ситуации (ЭОС) сетей 6-10 кВ. Таким образом, полученные результаты показали, что внедрение в практику разработанной СКИ обеспечит снижение вероятности возникновения ЭОС в 20,5 раз.

**Ключевые слова:** электроопасная ситуация, система контроля изоляции, карьерная распределительная сеть

## EVALUATION OF THE PROBABILITY OF AN ELECTRICALLY DANGEROUS SITUATION IN 6-10 kV NETWORKS

Boboev Kh.D.

One of the most effective technical measures, directions for ensuring electrical safety in the development of mineral deposits by open pit mining is continuous insulation monitoring (CIM). In this paper, we consider the developed insulation monitoring system (IMS) to assess the change in the probability of an electrically hazardous situation (EHS) of 6-10 kV. Thus, the results obtained showed that the introduction of the developed IMS into practice will reduce the likelihood of EHS by 20.5 times.

**Keywords:** electrical hazardous situation, insulation control system, quarry distribution network

## АРЗЁБИИ ЭҶТИМОЛИЯТИ БА АМАЛ ОМАДАНИ ҲОЛАТИ ХАТАРНОКИ БАҶҚ ДАР ШАБАКАҶОИ 6-10 КВ

Бобоев Х.Д.

Яке аз тадбирҳои самараноки ҷорабиниҳои техникӣ, самтҳои таъмини беҳатарии бағқ ҳангоми коркарди қонҳои маъданҳои фойданок тавассути истихроҷ ба таври кушода ин назорати доими оиқҳо (НДО) мебошад. Дар ин мақола системаи таҳияшудаи назорати оиқро (СНО) барои арзёбии тағирёбии эҷтимолияти пайдошавии ҳолати хатарноки бағқии (ҲХБ) дар шабакаҳои 6-10 кВ баррасӣ мекунем. Ҳамин тариқ, натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки дар амал ҷорӣ намудани СНО таҳияшуда эҷтимолияти ҲХБ-ро 20,5 маротиба коҳиш медиҳад.

**Вожаҳои калидӣ:** Ҳолати хатарноки бағқ, системаи назорати оиқ, шабакаи тақсимотии қон

### Введение

Средства электробезопасности на горнодобывающих предприятиях довольно быстро претерпевают изменения в связи с практическим применением новых видов техники и результатов научно-исследовательских разработок, благодаря внедрению которых сложилась определенная система обеспечения электробезопасности при эксплуатации электроустановок на открытых горных работах [1-8].

Анализ эффективности технических средств защиты необходим для определения важности устройств и разработки мероприятий, повышающих безопасность обслуживания электроустановок карьеров разработки путей совершенствования указанных устройств.

Надежность состояния изоляции электрических сетей и электрооборудования является важнейшим условием безопасной эксплуатации и надежной работы. При повреждении изоляции возникают токи утечки, обуславливающие различные виды опасностей: электротравмы, пожары, вспышки и взрывы в окружающей среде [1, 3, 5, 9-15].

Таким образом, изоляцию сетей и электроустановок необходимо поддерживать на высоком уровне. Это требование не может быть выполнено без эффективного контроля за состоянием изоляции. Сопротивление изоляции необходимо контролировать постоянно, что позволяет отыскать и устранить место повреждения изоляции, прежде чем сопротивление снизится до аварийной величины.

### Материалы и методы исследования

Номинальное напряжение электроустановок, особенности режима нейтрали, конструктивные особенности машин и аппаратов, типополнение средств защиты от электрического тока в сетях напряжением выше 1000 В по-особому сказываются на формировании структурно-логической схемы электропоражения [1, 4, 16], на наборе опасных событий, выводах и принимаемых решениях по повышению электробезопасности.

Для решения вопроса обеспечения необходимого уровня электробезопасности в этом случае определим вероятность возникновения ЭОС при отсутствии и наличии СКИ.

В настоящее время наиболее распространенным методом контроля изоляции в указанных сетях считается метод трех вольтметров, подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения. Достоинства и недостатки этого метода контроля общеизвестны.

Известные устройства контроля изоляции имеют различные схемные решения [1, 4, 17-21], они могут быть дискретными и непрерывными.

Анализ схемных решений различных устройств контроля изоляции [22-26] показал, что наиболее перспективными СКИ являются те, что основаны на измерении режимных параметров. Из литературных источников известны методы контроля изоляции, основанные на анализе режима работы сети. Для указанных сетей нами была разработана СКИ, которая подробно рассмотрена в [6, 12, 27].

При составлении моделей возникновения электропоражений, возникающих при обслуживании электроустановок, на сегодняшний день наиболее широкое распространение получили логико-вероятностные методы (ЛВМ).

ЛВМ позволяет количественно оценить эффективность каждого элемента, изучить динамику повышения защитных свойств при различных структурных изменениях системы, наличие потенциальной возможности улучшения защитных характеристик.

Задача обеспечения безопасности персонала, обслуживающего систему электроснабжения (СЭС), решается в настоящее время с помощью следующих наиболее распространенных средств обеспечения электробезопасности: защита от однофазного замыкания (ОЗ) на корпус, компенсация токов ОЗ на корпус, контроль изоляции электрических сетей, устройство контроля цепи заземления, защитное шунтирование и др. [1, 4].

Для повышения безопасности электрооборудования и, следовательно, для сокращения количества электротравм представляет интерес оценка эффективности средств обеспечения электробезопасности с помощью структурных схем возникновения электропоражения.

### Результаты исследования

Вследствие того, что поражение электрическим током – событие случайное, то для его описания и, следовательно, оценки количественного снижения вероятности электропоражения могут применены известные методы теории вероятности. Уровень электробезопасности в карьерных распределительных сетях напряжением 6-10 кВ (КРС 6-10 кВ) при отсутствии и наличии СКИ определим с помощью ЛВМ, адаптация этого метода к КРС была проведена в [1, 6].

Для того, чтобы проследить формирование опасного события (возникновения электроопасной ситуации) с учетом опасных состояний электроприемников и средств защиты, предлагается следующая структурная схема событий.

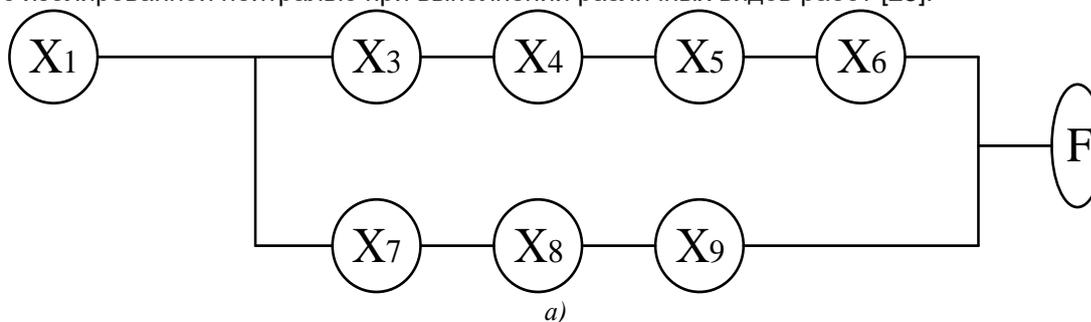
В системах электроснабжения предприятий используется отдельно или в сочетании друг с другом ряд технических средств обеспечения электробезопасности. Рассмотрим структурную схему возникновения электропоражения в сети до 1000 В, представленную на рис.1

Поражение человека электрическим током в сети переменного тока с изолированной нейтралью может произойти случайным прикосновением к находящейся под напряжением токоведущей части и прикосновением к электроустановке в момент, когда возникло замыкание одной фазы на корпус электроустановок или замыкание двух различных фаз на разные корпуса.

Относительно большого количества электропоражения в КРС 6-10 кВ с изолированной нейтралью требуется разработка эффективных средств и методов обеспечения электробезопасности. Для чего необходима оценка эффективности и безопасности применяемых в настоящее время средств и методов в практике эксплуатации электрооборудования на горнодобывающих предприятиях.

Рассмотрим алгоритм формирования структурно-логической модели ЭОС для указанных случаев (рис.1). В структурно-логической модели электроопасной ситуации указанной сети обозначены элементы событий (табл.1).

Данная модель отражает процесс возникновения ЭОС в электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью при выполнении различных видов работ [28].



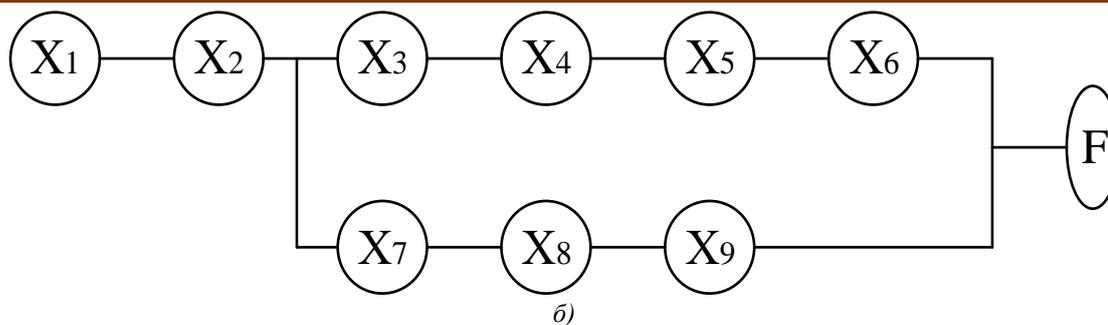


Рис. 1 – Структурно-логическая модель электроопасной ситуации для указанных случаев: а) при отсутствии СКИ; б) при наличии СКИ

Таблица 1 – Элементы событий модели электроопасной ситуации

X <sub>1</sub>	Наличие напряжения в сети;
X <sub>2</sub>	Отказ системы контроля изоляции;
X <sub>3</sub>	Возникновение однофазного замыкания на землю;
X <sub>4</sub>	Отказ заземляющего устройства;
X <sub>5</sub>	Отказ защиты от однофазного замыкания на землю;
X <sub>6</sub>	Прикосновение человека к открытым проводящим частям;
X <sub>7</sub>	Двухфазное замыкание на землю;
X <sub>8</sub>	Отказ максимальной токовой защиты;
X <sub>9</sub>	Напряжение шага, превышающее допустимое (U <sub>ш</sub> > U <sub>доп</sub> );
F	Электроопасная ситуация (ЭОС).

Для количественной оценки изменения вероятности ЭОС ситуации КРС при наличии СКИ необходимо найти вероятности возникновения событий от X<sub>1</sub> до X<sub>9</sub>. Учитывая, что события X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub> до X<sub>9</sub> приведены в обеих моделях вероятности возникновения этих событий будут одинаковыми и могут быть приняты равными единице.

Для определения общей вероятности группы событий, расположенных в схеме параллельно (логический знак «ИЛИ»), используется теорема сложения вероятностей несовместных событий, то есть возникновение любого из них не зависит от какого-либо другого события.

С учетом законов алгебры ЛВМ возникновение ЭОС через события X<sub>1</sub> до X<sub>9</sub> запишутся следующим образом:

при отсутствии СКИ (Рис.1 а)

$$P(X_1, X_3 \dots X_9) = P(X_1) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9) \quad (1)$$

при наличии СКИ (Рис.1 б)

$$P(X_1 \dots X_9) = P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9) \quad (2)$$

Следовательно, оценка возникновения ЭОС до введения в схему СКИ и после ее введения определяется отношением:

$$n = \frac{P(X_1) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9)}{P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) + P(X_4) + P(X_5) + P(X_6) + P(X_7) + P(X_8) + P(X_9)} = \frac{1}{P(X_2)} \quad (3)$$

Вероятность отказа СКИ ( $\lambda(t)=0.05$ ) была определена по результатам исследований [28] на промежутки времени 1000 часов.

Тогда вероятность события P(X<sub>2</sub>) можно рассчитать по выражению:

$$P(X_2) = 1 - e^{-\lambda(t)} \quad (4)$$

С учетом вышеизложенного, снижение вероятности возникновения ЭОС будет равно:

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,0488} = 20,5. \quad (5)$$

Таким образом, при наличии СКИ сеть вероятности возникновения ЭОС уменьшится в 20,5 раз. Кроме того, это одновременно существенно снизит возможное число ОЗЗ и обеспечит определенный социально-экономический эффект.

### Заклучение

Средства обеспечения электробезопасности в совокупности с опасными ситуациями, возникающими в электрических сетях, образуют достаточно сложную систему, анализ которой в общем случае возможен с помощью ЛВМ. Для обеспечения безаварийности и безопасной эксплуатации электрических сетей необходимо внедрить непрерывный контроль состояния изоляции относительно земли. Вследствие этого, полученные результаты показали, что внедрение в практику разработанной нами СКИ обеспечит снижение вероятности возникновения ЭОС в 20,5 раз. Кроме того, применение данной СКИ в указанных сетях позволит повысить надёжность и безопасность электроснабжения.

### Литература

1. Метод определения параметров изоляции в карьерных распределительных сетях горных предприятий / Ю.Г. Бацезев, В.Т. Гришин, М.И. Дубовник, Б.Б. Утегулов // Охрана труда в цветной металлургии: тез. докл. научн-практ. конф. – Челябинск, 1990. – С. 18.
2. Электрификация открытых горных работ: Учебник для вузов / С.А. Волотковский, В.И. Щуцкий, Н.И. Чеботаев, и др. – М.: Недра, 1987. – 332 с.
3. Электробезопасность в горнодобывающей промышленности / Л.В. Гладилин, В.И. Щуцкий, Ю.Г. Бацезев, Н.И. Чеботаев. – М.: Недра, 1977. – 327 с.
4. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин, Н.А. Бендяк. – М.: Недра, 1996. – 266 с.
5. Электробезопасность на открытых горных работах / В.И. Щуцкий, А.М. Маврицын, А.И. Сидоров, Ю.В. Ситчихин. – М.: Недра, 1983. – 192с.
6. Бобоев, Х.Д. Устройство контроля изоляции в сетях 6 кВ / Х.Д. Бобоев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки – 2023. – № 2. – С. 168-171.
7. Бендяк, Н.А. Анализ повреждений изоляции в распределительных электрических сетях / Н.А. Бендяк, Е.Б. Петрашева, М.Н. Хомутова, К.В. Лапченков // Безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 10 – 16.
8. Сидоров, А. И. Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 52-58. – DOI 10.14529/power160207.
9. Электрификация карьеров и приисков / Б.П. Белых, И.А. Саламатов, М.А. Бондаренко и др. – М.: Недра, 1969. – 400 с.
10. Сидоров, А.И. Исследование погрешностей косвенного метода измерения параметров изоляции фаз сети относительно земли на имитационной модели / А.И. Сидоров, Х.Д. Бобоев // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 9. – С. 24–29. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-24-29.
11. Обеспечение электробезопасности в системах электроснабжения / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, А.В. Пичуев, И.Ф. Суворов. – Чита: ЧитГУ, 2009. – 268 с.
12. Организация контроля изоляции в распределительной сети карьера «Таррор» / Х.Д. Бобоев, Ю.И. Аверьянов, А.В. Богданов, И.Л. Кравчук // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 57–65.
13. Эффективность выработки электроэнергии посредством преобразования солнечной энергии в условиях Южного Таджикистана / А.Я. Абдурахмонов, Н.Х. Одинаев, Б.Т. Абдуллоев, Р.Т. Абдуллозода // – 2019. – № 3(47). – С. 10-14.
14. Гушин, Н.Я. Исследования состояния изоляции электроустановок напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью на горнодобывающих предприятиях цветной металлургии. Афтореф. Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Гушин Николай Яковлевич. – М.: МГИ. 1974. – 16 с.
15. Определение класса опасности зданий по электробезопасности под воздействием агрессивных факторов грунта / Д.Х. Каримов, З. В. Кобулиев, Р.Т. Абдуллоев, И.Т. Абдуллоев // – 2018. – № 2(42). – С. 22-27. – EDN XZRGCD.
16. К вопросу о влиянии различных параметров грунта на коррозию заземляющих устройств / А.И. Сидоров, А.И. Солдатов, Б.Т. Абдуллоев [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2017. – № 6. – С. 5-8.
17. Иноятов, М.Б. Оптимизация режимов работы нейтрали в сетях 6 – 10 кВ / М.Б. Иноятов, Я.Х. Гургов // Электробезопасность на горнорудных предприятиях черной металлургии СССР: тез. докл. научн-техн. конф. – Днепропетровск, 1975. – С. 79 – 81.
18. Косоротова, Ю.В. Параметры изоляции относительно земли в распределительных электрических сетях 6, 10 кВ и организация их контроля: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Косоротова Юлия Викторовна. – Челябинск, 2005. – 172 с.

19. Abdulloev, I. Mathematical Modeling of the Grounding Devices Corrosion Process / I. Abdulloev, B. Abdulloev, N. Odinaev // Proceedings - 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Chelyabinsk, 22–24 сентября 2020 года. – Chelyabinsk, 2020. – P. 269-273.
20. Лапченков, К.В. Управление состоянием изоляции в распределительных электрических сетях: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Лапченков Константин Владимирович. – Челябинск, 1998. – 18 с.
21. Бобоев, Х.Д. Обзор методов и средств поддержания состояния изоляции распределительных электрических сетей / Х.Д. Бобоев // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 46–50.
22. Маврицын, А.М. Электроснабжение угольных разрезов / А.М. Маврицын, О.А. Петров. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
23. Леухина, Л.И. Разработка методов и средств повышения уровня электробезопасности в карьерных сетях напряжением выше 1000 В: Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. / Леухина Людмила Ивановна. – М, 1989. – 158 с.
24. Boboev, K. Determining Ground Insulation Parameters in Quarry Distribution Networks of Mining Companies in Tajikistan / K. Boboev, A. Sidorov, O. Khanzhina // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, 2020, pp. 344–348.
25. Патент № 2356151 С1 Российская Федерация, МПК H02H 5/10. Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ: № 2008105851/09: заявл. 15.02.2008: опубл. 20.05.2009 / К. С. Серезин, И. Ф. Суворов, А. И. Сидоров; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Читинский государственный университет (ЧитГУ). – EDN BVRVAZ.
26. Щуцкий, В.И. Метод определения параметров изоляции трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В / В.И. Щуцкий, Б.Б. Утегулов // Электробезопасность на открытых и подземных горных работах. Днепропетровск, 1982. – С. 77.
27. Boboev, K. Evaluation of Indirect Methods for Determining the Isolation Parameters of the Network Phases Relative to the Ground on a Computer Model / K. Boboev, A. Sidorov, A. Davlatov // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, pp. 556–560.
28. Сидоров, А.И. Теория и практика системного подхода к обеспечению электробезопасности на открытых горных работах: Дис. ... докт. техн. наук: 05.26.01 / Сидоров Александр Иванович. – Челябинск, 1993. – 444 с.

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

TJ	RU	EN
Бобоев Хуршедшоҳ Давлаталиевич	Бобоев Хуршедшоҳ Давлаталиевич	Boboev Khurshedshoh Davlatalieich
н.и.т	к.т.н	Candidat of engineering sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
<a href="mailto:khboboev-93@mail.ru">khboboev-93@mail.ru</a>		
0000-0003-3565-5763		

УДК 631.371:621.311

## КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ТАДЖИКИСТАНА

Махмадҷонов Ф.Д.<sup>1</sup>, Касобов Л.С.<sup>1</sup>, Балобанов Р.Н.<sup>2</sup>, Баласим М. Хусейн<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,  
г. Душанбе, Республика Таджикистан

<sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

<sup>3</sup>Университет Дияли, Республика Ирак

В статье предложена оптимизация метода роя частиц для улучшения работы метода опорных векторов, получена регрессионная модель метода опорных векторов, также метода опорных векторов с оптимизацией метода роя частиц. По методу опорных векторов были построены суточные графики нагрузки с погрешностью 2,78%. При использовании метода опорных векторов с алгоритмом оптимизации роя частиц погрешность уменьшилась до 2,26%. Учет фактора температуры в зависимости от исследуемого дня времени года улучшает качество прогнозирования при использовании метода опорных векторов с алгоритмом оптимизации роя частиц для электроэнергетической системы Республики Таджикистан.

**Ключевые слова:** прогнозирование электропотребления, модель, нагрузка, суточный график, мощность, энергосистема.

## ПЕШГУИИ КҶОҲМУДДАТИ ЧАДВАЛИ БОРИ ЭЛЕКТРИКИИ ШАБОНАРҶИИ СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКИИ ТОҶИКИСТОН

Ф.Д. Махмадҷонов, Л.С. Қасобов, Р.Н. Балобанов, Баласим М. Хусейн

Дар мақола оптималӣ намудани усули сели зарраҳо барои беҳтар намудани қори усули векторҳои тақвият пешниҳод шуда, модели регрессионии усули векторҳои тақвият, ҳамчунон усули векторҳои тақвият бо оптималӣ қардани усули сели зарраҳо ба даст омадааст. Аз рӯи векторҳои тақвият чадвали шабонарӯзии борбаст бо ҳатогии 2,78 % сохта шудаанд. Ҳангоми истифодаи усули векторҳои тақвият бо алгоритми оптимализунии сели зарраҳо ҳатогӣ то 2,26 % кам шудааст. Бо назар гирифтани далели ҳарорат вобаста аз рӯзи тадқиқшавандаи вақти сол сифати пешбиниро ҳангоми истифодаи усули векторҳои тақвият бо алгоритми оптимализунии сели зарраҳо барои системаи электроэнергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон беҳтар мекунад.

**Калимаҳои калидӣ:** пешгуи истифодаи энергияи электрикӣ, тамсила, бор, чадвали шабонарӯзӣ, тавоноӣ, системаи энергетикӣ.

## SHORT-TERM FORECASTING ELECTRICAL LOADS FOR THE POWER SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

F. D. Mahmadjonov<sup>1</sup>, L.S. Kasobov<sup>1</sup>, R.N. Balobanov<sup>2</sup>, Balasim M. Hussein<sup>3</sup>

In this paper, optimization of the particle swarm method is proposed to improve the performance of the support vector machine (SVM), a regression model of the SVM is obtained, as well as the SVM with optimization of the particle swarm method. Using the support SVM, daily load curves were constructed with an error of 2.68%. When using the SVM with the PSO algorithm, the error decreased to 2.26%. Taking into account the temperature factor depending on the studied day of the season improves the quality of forecasting when using the SVM method with the PSO algorithm for the electric power system of the Republic of Tajikistan

**Key words:** forecasting power supply, model, power consumption, daily schedule, power, system.

### Введение

Население Республики Таджикистан (РТ) составляет 10 миллионов человек, а общая площадь – 143100 км<sup>2</sup>. Суммарная установленная мощность электростанций составляет 6178 МВт (гидроэлектростанция – 5578, тепловая – 598 МВт) с годовой выработкой электроэнергии 20 млрд. кВт·ч. РТ почти полностью зависит от гидроэнергетики. РТ обладает огромными запасами гидроэнергетических ресурсов, которые оцениваются в 527,0 млрд. кВт·ч. в год, из которых 317 млрд. кВт·ч в год технически возможно освоить. В настоящее время для выработки электроэнергии гидроэлектростанциями используются 4-5% из этих ресурсов. РТ занимает восьмое место в мире после России, США, Китая, Бразилии, Заира, Канады и Индии и первое место по сравнению со странами Центральной Азии. Основу энергетики РТ на 95 % составляет гидроэнергетика [1]. Тем не менее, из-за нехватки воды на водохранилищах зимой ограничиваются потребители третьей категории. Пик спроса приходится на зиму, когда население использует обычные обогреватели. Потери в энергосистеме РТ чрезвычайно высоки и составляют более 24%.

Гидроэнергетический потенциал РТ во много раз превышает его текущее потребление электрической энергии во всей Центральной Азии. Для обеспечения недорогой и с точки зрения зеленой энергетики экологически чистой электроэнергии соседних стран необходимо эффективно использовать гидроресурсы бассейнов реки Пяндж, Вахш, Кафарниган, Зеравшан, Хингоб и Бартанг.

Энергетическая система Таджикистана в настоящее время разделена на три части: Южная часть, Северная часть и Центральная часть. Год за годом наблюдается рост потребления электроэнергии во всех городах республики, особенно в ее северной части, в Согдийской области (ОС) [2].

Эта область является промышленной, в которой построены заводы и фабрики. Актуальными вопросами являются прогнозирование электропотребления потребителей ОС и анализ пропускной

способности линии электропередачи 500 кВ Душанбе - Сугд. В этом направлении необходимо выполнить прогнозирование электрической нагрузки области Сугд для определения пиковой нагрузки в зимнее и летнее время года.

В настоящее время в энергосистеме Таджикистана реализуются три крупных проекта реконструкции гидроэлектростанций, в том числе «Реконструкция Нурекской ГЭС мощностью 3000 МВт», «Реконструкция Кайрокумской ГЭС (КГЭС)» и «Реконструкция Головной ГЭС мощностью 240 МВт». Реконструкция крупных ГЭС усложняет задачу регулирования режимов работы энергосистемы Таджикистана в направлении выработки электроэнергии. В связи с этим актуально выполнение прогнозирования электропотребления северной и южной частей Таджикистана. Таджикистан также связан с энергосистемами соседних стран Афганистана и Узбекистана, с которыми у него есть договор на передачу электроэнергии в зимний и летний периоды года.

По вопросу прогнозирования суточных графиков электрических нагрузок в энергосистеме РТ проведено исследование на основе метода главных компонент [3]. Этот метод использовался для прогнозирования долгосрочных суточных графиков электрических нагрузок северной части РТ. Также в настоящее время для энергосистемы РТ актуальным вопросом является краткосрочное и долгосрочное прогнозирование суточных графиков электрических нагрузок потребителей ОС. Выработка активной мощности в ОС производится на КГЭС мощностью 126 МВт, а общая нагрузка региона составляет 980 МВт.

Осуществление краткосрочного прогнозирования электропотребления в ОС на основе метода вектора опорных машин (Support vector machine) является актуальным [4,5]. Так как этот метод имеет наименьшую погрешность и широко применяется для краткосрочного прогнозирования потребителей энергосистем. Суточные данные потребителей электроэнергии в северной части энергосистемы получены от энергокомпании ОАО «Барки Точик».

Краткосрочное прогнозирование электропотребления является актуальной задачей для выполнения исследования энергетических систем. В этом направлении выполнено много исследований с использованием разных методов, и созданы модели для краткосрочного прогноза. В работах [6,7] выполнено краткосрочное прогнозирование электропотребления посредством использования теории наименьших квадратов.

Географическое расположение энергосистемы РТ обусловлено таким образом, что Южная часть является избыточной, в которой построены основные генерирующие гидроэлектростанции (ГЭС) [3]. В Центральной части энергосистемы РТ функционируют две теплоэлектроцентрали мощностью 600 МВт. Северная часть энергосистемы (область Сугд) питается от ЛЭП 500 кВ Душанбе-Сугд, которая соединяет две крупные подстанции Душанбе 500 и Сугд 500 [1].

По вопросам долгосрочного прогнозирования для энергосистемы РТ были также выполнены исследования с использованием метода главных компонент. Целью данных исследований было определение характера электропотребления в зимний период (в энергосистеме наблюдается нехватка электроэнергии из-за уменьшения течения воды на реке Вахш) и летний период (в котором наблюдается избыток электроэнергии при ее производстве в гидроэлектростанциях) [8].

По имеющимся данным электропотребление потребителей ОС увеличивается посредством активного строительства новых заводов, фабрик, а также строительства многоэтажных жилых домов. В этом контексте исследование прогнозирования электропотребления и определения пропускной способности ЛЭП 500 кВ Душанбе-Сугд важно для устойчивого и надежного регулирования режимов работы энергосистемы РТ.

В данной работе выполнено краткосрочное прогнозирование электропотребления посредством метода опорных векторов. Модель энергосистемы, созданной по методу опорных векторов, имеет наименьшую погрешность и широко применяется для краткосрочного прогнозирования потребителей энергосистем [9].

### Методы исследования

Метод опорных векторов (МОВ) был изобретен Вапником В.Н., которая состоит из наборов методов классификации и регрессии [10,11]. Данная методика формируется для классификации моделей, а также и для регрессионных нелинейных моделей. По сравнению с другими методами МОВ имеет меньше параметров-кандидатов вместо исходных ограничений неравенства и ограничений равенства, тем самым квадратичная задача программирования в решении линейных уравнений снижает вычислительную сложность, скорость решения [12,13,14,15].

Р. Бербидж и др. al., [16] показали, что машина опорных векторов алгоритма классификации доказывает его потенциал для связи структура-активность анализа. В контрольном тесте они сравнили МОВ с различными методами машинного обучения методов, используемых в настоящее время в этой области. Задача классификации включает в себя прогнозирование ингибирования дигидрофолатредуктазы пиримидинами, используя полученные данные из репозитория машинного

обучения. Среди трех испытанных искусственных нейронных сетей они обнаружили, что МОВ значительно лучше, чем все они.

В. Джорджио [17] предложил методы классификации, основанные на нелинейных МОВ с гауссовым и полиномиальным ядрами и выходным кодированием, ансамбли изучаемой машины, которая различает нормальные ткани от злокачественных. Также в работе [17] изучено классифицирование разных видов лимфомы. В этом направлении использованные данные показали, что МОВ может правильно отличать опухолевые ткани, а также ансамбли выходных кодирования могут быть активно применены для классификации многих типов лимфомы.

Шутао Ли и другие [18] применили МОВ, взяв DWFT в качестве входных данных для классификации текстуры с использованием инвариантных к переводу признаков текстуры. Они использовали слияние схемы, основанной на простом голосовании среди нескольких МОВ, каждая с разными настройками параметра ядра, для облегчения проблемы выбора точного значения параметра ядра в обучении МОВ. В работе также выполнено исследование на подмножестве натуральных текстур из альбома Brodatz, которые по сравнению с традиционными байесовскими классами МОВ в целом представляют намного точные результаты классификации.

Метод обучения для повышения эффективности МОВ был представлен Yiqiang Zhan [19] за быструю классификацию без деградации системы. Экспериментальные результаты на реальных снимках УЗИ простаты показывают хорошую эффективность обучения метода различения тканей предстательной железы от других тканей, и они утверждают, что предложенный ими метод обучения способен генерировать более эффективные МОВ с лучшими классификационными способностями. Ючунь Тан и др. al., [20] разработали инновационную модель обучения под названием Гранулированные машины опорных векторов для задач классификации данных, строя только две информационные гранулы в направлении сверху вниз. Результаты эксперимента на трех проблемах медицинской бинарной классификации показывают, что гранулированные машины опорных векторов, предложенные в их работе, представляют собой интересный новый механизм для решения сложных проблем классификации, которые распространены в медицинской или биологической информации обработки заявок.

Бо-Сук Ян и др. al., [21] представили новую схему обнаружения дефектных продуктов на стадии полуфабриката в автоматической линии массового производства возвратно-поступательного движения компрессоров для малогабаритных холодильников, используемых в бытовых электроприборах. Они представили точность классификации с использованием ANN, SVM, LVQ, SOFM и SOFM с LVQ (SOFM-LVQ) и найденному SOFM-LVQ дают высокую точность, что является лучшим методом классификации здоровых и неисправных состояний малых поршневых компрессоров. Результат показывает, что SOFM с LVQ может улучшить эффективность классификации SOFM, но не может устранить ошибку классификации, что указано в заключительных замечаниях. Рунг-Чинг Чен [22] предложил метод классификации веб-страниц для извлечения векторов признаков из методов LSA и WPFS с использованием МОВ на основе взвешенной схемы голосования. LSA классифицирует семантически связанные веб-сайты, страницы, предлагая пользователям более полную информацию. Результаты эксперимента показывают, что функция ядра апова дает наилучший результат из этих четырех функций ядра [4]:

$$\min J = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + \frac{1}{2} C \sum_{i=1}^l e_i^2 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (\omega^T \varphi(x_i) + b + e_i - y_i) \quad (1)$$

Вид нелинейного выражения для модели прогнозирования состоит [4]:

$$y = \sum_{i=1}^l \alpha_i K(x_i, x) + b \quad i=1, \dots, l \quad (2)$$

### Результаты и обсуждения

В данной работе в качестве функции ядра в регрессионной модели применяется радиально-базисная функция [4]:

$$K(x, x_i) = \exp(-\|x - x_i\|^2 / \sigma^2) \quad (3)$$

где:  $x$  -  $m$ -мерный входной вектор;  $\sigma$  - стандартизированный параметр, определяющий разброс функции вокруг центральной точки;  $x_i$  -  $m$ -мерный вектор координат центра рассеяния;  $\|x - x_i\|$  - норма вектора  $x - x_i$ , показывает расстояние между  $x$  и  $x_i$ .

Оптимизация роя частиц (ОРЧ) - основанная на процедуре инициализации группы частиц с методом итераций для последующего поиска оптимального решения.

Формула для определения ее положения и обновления скорости частиц имеет вид [4]:

$$v_{id} = wv_{id} + c_1r_1(p_{id} - z_{id}) + c_2r_2(p_{gd} - z_{id}) \quad (4)$$

где,  $w$  - весовой коэффициент инерции;  $C_1$  и  $C_2$  - две неотрицательные постоянные, определяющие ускорения;  $r_1$  и  $r_2$  случайные числа в диапазоне (0, 1).

На рисунке 1 приведен алгоритм оптимизации параметров  $C$  и  $\sigma$  в прогнозной модели ОРЧ –МОВ [4].

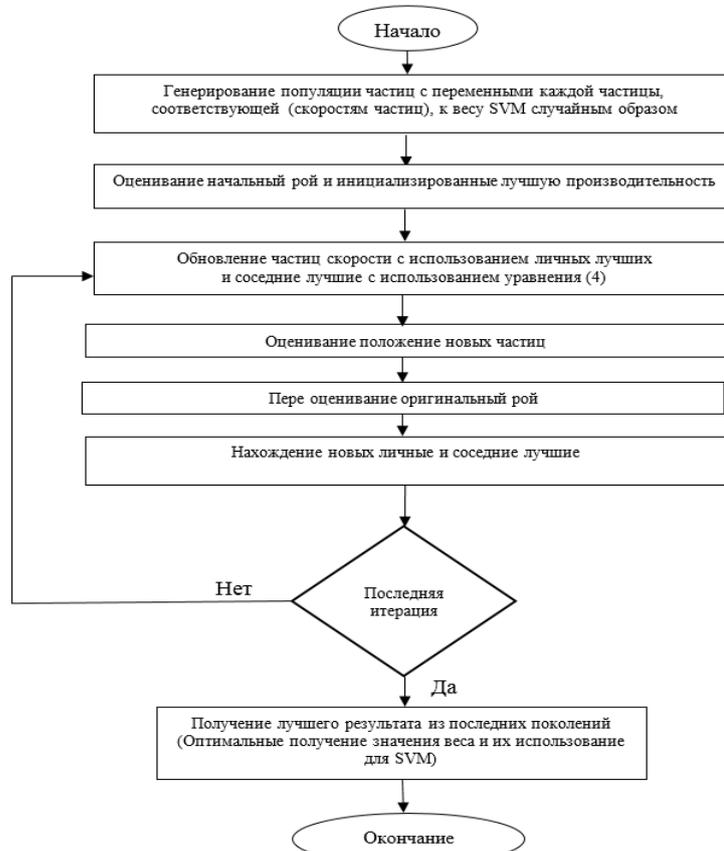


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма оптимизации параметров  $C$  и  $\sigma$  в прогнозной модели ОРЧ –МОВ.

Выбор параметров  $C$  и  $\sigma$  в методе ОРЧ –МОВ формируется на результатах исследования. В работе выбираются параметры функции ядра и параметры регуляризации равные  $\sigma = 2$ ,  $\gamma = 31$ . Необходимо отметить, что в работе [13] принимались значения  $\sigma = 7,228$  и  $C = 9078,15$ .

Средой моделирования является MATLAB2011a. Результаты прогнозирования и фактические электропотребления за 24 часа в весенний (месяц май) и осенний (месяц ноябрь) режим работы энергосистемы РТ приведены на рисунках 2,3. В таблицах 1,2 приведены данные о погрешности моделей прогнозирования (MAPE- средней абсолютной ошибки) в процентах [4].

$$MAPE = \frac{|P^{прогн} - P^{факт}|}{P^{факт}} \cdot 100\%$$

Таблица 1 - Погрешности прогнозирования по модели МОВ для разных сезонов года при  $\gamma = 31$ ,  $\sigma = 2$

Время года	Весна	Осень
Погрешность (MAPE) %	0,5289	0,5123
MAPE 0,0771%		

Таблица 2 - Погрешности прогнозирования по модели ОРЧ –МОВ для разных сезонов года

ОРЧ-МОВ		
Время года	Весна	Осень
$\gamma$	138,0321	75,3423
$\sigma$	5,9347	8,8324

MAPE %	0,06247	0,1236
MAPE 0,0691 %		

Результаты прогнозирования, представленные в таблице 1 и таблице 2, показывают, что погрешность прогнозирования для всех сеансов почти одинакова, это указывает на то, что МОВ является надежным и стабильным методом. Однако необходимо отметить, что в ходе исследования также было выявлено, что погрешность в таблице 2 меньше, чем погрешность в таблице 1, и следовательно это показывает, как ОРЧ алгоритм улучшил производительность МОВ.

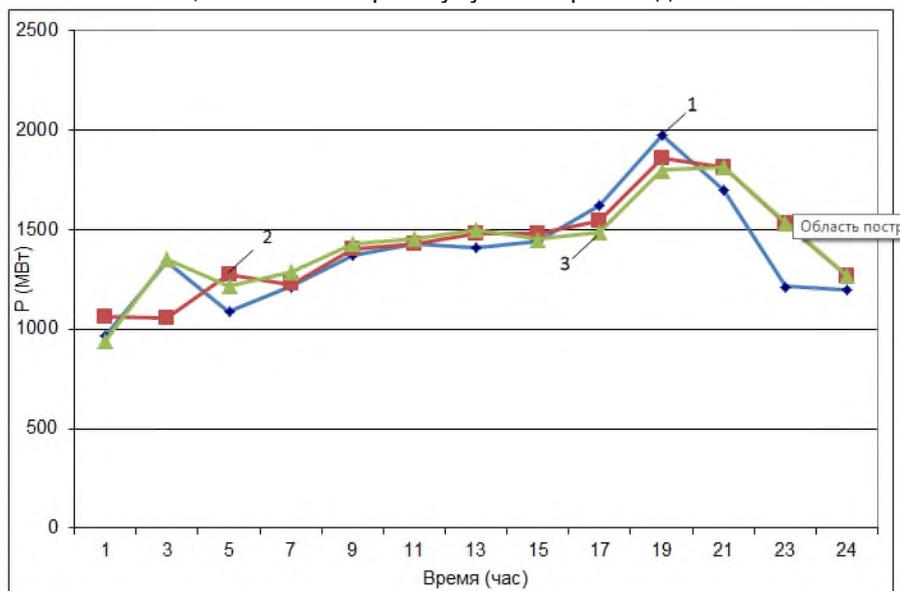


Рис 2. Пример прогнозирования электропотребления на 15.11.2020 (1- Фактическое потребление энергосистемы РТ, 2- прогноз МОВ, 3- прогноз ОРЧ-МОВ (MAPE= 2,8%).

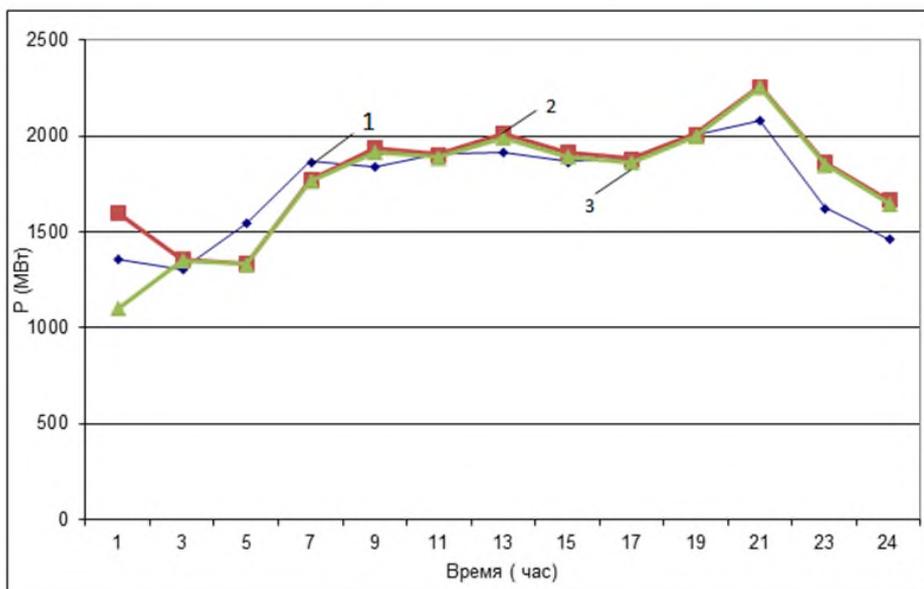


Рис 3. Пример прогнозирования суточного графика электрической нагрузки на 15.05.2020 (1- Фактическое потребление ЭЭС РТ, 2- прогноз МОВ, 3- прогноз ОРЧ-МОВ (MAPE= 2,3%).

На рисунках 2 и 3 приведены фактические и прогнозные по МОВ и ОРЧ-МОВ потребления суточных графиков электрической нагрузки на 15 мая 2020г. и 15 ноября 2020г. Как видно из графиков, погрешность MAPE по методу ОРЧ-МОВ для данных электропотребления на 15 ноября 2020 года составляет 2,8 %, а для данных электропотребления на 15 мая 2020 года составляет 2,3%. В этом направлении можно сделать вывод, что ОРЧ алгоритм улучшил производительность МОВ, и вследствие чего были получены хорошие результаты прогнозирования.

### Заключение

В данной работе применена методика краткосрочного прогнозирования электропотребления потребителей ОС. МОВ рассматривает рабочие и нерабочие дни, возможности прогнозирования максимальных и минимальных нагрузок, а также основные метеорологические факторы, влияющие на электропотребление ОС энергосистемы РТ. Полученные результаты иллюстрируют, что погрешность прогнозирования для всех сеансов почти одинакова, это указывает на то, что МОВ является надежным и стабильным методом. Однако необходимо отметить, что в ходе исследования также было выявлено, что ошибка при использовании метода МОВ больше, чем ошибка при использовании метода МОВ - ОРЧ.

Комплексное использование ОРЧ алгоритмов улучшили производительность МОВ всех указанных модификаций и это привело к уменьшению ошибки до 2,259%. Вследствие чего, уменьшение ошибки равняется 0,656 п.п или 22%. Возможно сделать вывод, что для энергосистемы РТ при прогнозировании электропотребления необходимо учитывать данные о рабочих и выходных днях всех дней предыдущего месяца (без учета максимальных и минимальных суточных графиков нагрузки), чтобы получить точный результат прогнозирования. В ходе исследования были выявлены следующие два недостатка.

Многодневные нерабочие периоды, масштабные аварии и плановые ремонты, отключение электроэнергии у потребителя отрицательно влияют на вычисление результата прогноза. В этом направлении значительно снижается точность прогнозирования. При рассмотрении изменения на метеофакторы, если среднее значение изменения на метеофакторы меньше 1, данная поправка не учитывается.

### Литература

1. Информационный сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.mewr.tj/>.
2. Надтока И.И. Исследование режимов работы в энергосистеме Таджикистана при управлении конденсаторными установками на подстанциях 500 кВ Душанбе и Сугд / Надтока И.И., Ф.Д. Махмадджонов // Изв. вузов. Электромеханика. 2015. № 6 (542). С. 88-92.
3. Надтока И.И. Прогнозирование максимальных электрических нагрузок для Северной части энергосистемы Республики Таджикистан на основе метода главных компонент. / И.И. Надтока, Ф.Д. Махмадджонов Современные энергетические системы и комплексы и управление ими материалы XIII Междунар. Науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 24 июня 2015 г. // Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) им. М. И. Платова. – Новочеркасск, 2015. С. 55-60.
4. Аль-Зихери Баласим. Краткосрочное прогнозирование нагрузки с помощью теории наименьших квадратов опорных векторов (Is-svm). / Аль-Зихери Баласим., Надтока И.И. // Современные проблемы науки и образования, № 6. 2013 – С. 517-621.
5. Аль-Зихери Баласим. Improvement and comparison mathematical models of short-term load forecasting for the regional dispatcher utility / Аль-Зихери Баласим, Надтока И.И // Изв. вузов. Электромеханика. 2015. № 6. С. 5-11.
6. Надтока И.И. Анализ взаимосвязей главных компонент ортогонального разложения с формой суточного графика электрической нагрузки / Надтока И.И., Ф.Д. Махмадджонов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2016. №4. С. 46-50.
7. А.М. Дубров. Обработка статистических данных методом главных компонент, М.:Статистика, 1978.
8. Махмадджонов Ф.Д. Прогнозирование максимальных суточных графиков нагрузки энергосистемы Таджикистана на основе регрессионных моделей / Махмадджонов Ф.Д., Б.М. Гиёев, Х.С. Сангов, С. Холмухаммадзода // Вестник Таджикского технического университета. 2020. №2 (50). С. 37-42.
9. Qiang S, Pu Y. Short-term power load forecasting based on support vector machine and particle swarm optimization. *Journal of Algorithms & Computational Technology*. 2019;13. doi:[10.1177/1748301818797061](https://doi.org/10.1177/1748301818797061)
10. Pei-Yi Hao, Jung-Hsien Chiang, Yu-De Chen,; "Possibilistic classification by support vector networks," *Machine Learning, Neural Networks, 2022, Volume 149, Pages 40-56*,
11. Pimentel, J.S.; Ospina, R.; Ara, A. Learning Time Acceleration in Support Vector Regression: A Case Study in Educational Data Mining. 2021, 4, 682-700. <https://doi.org/10.3390/stats4030041>
12. Arfan Ali Nagra, Tahir Alyas, Muhammad Hamid, Nadia Tabassum, Aqeel Ahmad, "Training a Feedforward Neural Network Using Hybrid Gravitational Search Algorithm with Dynamic Multiswarm Particle Swarm Optimization", *BioMed Research International*, vol. 2022, Article ID 2636515, 10 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2636515>.
13. Надтока И. И. Краткосрочное прогнозирование нагрузки с помощью теории наименьших квадратов опорных векторов (LS-SVM) / Надтока И. И., Аль-Зихери Баласим М. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6., С. 3-6.

14. Lynn Houthuys, Rocco Langone, Johan A.K. Suykens, " Multi-View Least Squares Support Vector Machines Classification," Neurocomputing, vol. 282, (2018), pp. 78-88.
15. Christopner J.C. Burges, "A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition" Journal of Data Mining and Knowledge Discovery, vol. (2), Springer, Netherlands, 2013.
16. Maciej Staszak, Katarzyna Staszak, Karolina Wieszczycka, Anna Bajek, Krzysztof Roszkowski, "Machine learning in drug design: Use of artificial intelligence to explore the chemical structure–biological activity relationship", Computers and Chemistry, vol. 26, 06 August 2021 <https://doi.org/10.1002/wcms.1568>, pp. 5-14.
17. Guo et al. [9] and Valentini et al., "Predicting profitability of listed construction companies based on principal component analysis and support vector machine - Evidence from China", Artificial Intelligence in Medicine, vol. 26, 2015, Automation in Construction.
18. Anand, R., Shanthi, T., Sabeenian, R.S., Paramasivam, M.E., Manju, K., "GLCM Feature-Based Texture Image Classification Using Support Vector Machine. 3rd EAI International Conference on Big Data Innovation for Sustainable Cognitive Computing. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. (2022).
19. Y. Zhan and D. Shen, "Design efficient support vector machine for fast classification", Pattern Recognition, vol. 38, (2015), pp. 157-161.
20. Wojciech Dudzik, Jakub Nalepa, Michal Kawulok, "Evolving data-adaptive support vector machines for binary classification", Knowledge-Based Systems, CIBCB '04, (2021), pp. 73-78.
21. Medina, R.; Cerrada, M.; Yang, S.; Cabrera, D.; Estupiñan, E.; Sánchez, R.-V. Fault Classification in a Reciprocating Compressor and a Centrifugal Pump Using Non-Linear Entropy Features. Mathematics 2022. <https://doi.org/10.3390/math10173033>.
22. Hioual, O., Hemam, S.M., Hioual, O., Maif, L. A hybrid approach for web pages classification. Ingénierie des Systèmes d'Information, (2022). Vol. 27, No. 5, pp. 747-755. <https://doi.org/10.18280/isi.270507>

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

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Махмадҷонов Фирӯз Додарҷонович	Махмадҷонов Фирӯз Додарҷонович	Mahmadjonov Firuz Dodarjonovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должностъ, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail	firuz_7773@mail.ru		
ORCID Id	0000-0003-3171-4607		
	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Қасобов Лоик Сафарович	Қасобов Лоик Сафарович	Kasobov Loik Safarovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должностъ, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail	loiknstu@mail.ru		
ORCID Id	0000-0002-9271-6908		
	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Балабонов Руслан Николаевич	Балабонов Руслан Николаевич	Balobanov Ruslan Nikolaevich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должностъ, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	Донишгоҳи давлатии энергетикии Казан	Казанский государственный энергетический университет	Kazan State Power Engineering University
e-mail	rassel_ipek@mail.ru		
ORCID Id	0000-0002-9924-2952		
	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Баласим Муҳаммад Хусейн	Баласим Мухаммед Хусейн	Balasim Muhammad Hussein

Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	Донишгоҳи Дияли, Ироқ	Университет Дияли, Республика Ирак	University of Diyala, Iraq.
e-mail			
ORCID Id			

УДК 621.311.001

## МОДЕЛИРОНИИ ХАТИ ИНТИҚОЛИ БАРКИ БАЛАНДШИДДАТИ 35 кВ ДАР БАРНОМАИ MATLAB

Мирхолиқова Д.С.

Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд

Коркарди модели компютери хати интиқоли баландшиддати 35 кВ дар барномаи MATLAB. Дар равиши тадқиқот усулҳои математикӣ ва компютери элементҳои системаи таъминоти барқ истифода шудааст. Модели компютерӣ барои тадқиқоти анвоҳи кори хати интиқоли барқи шиддати 35 кВ коркард карда шудаанд. Усули тадқиқоти элементҳои системаи таъминоти барқи баландшиддати хати интиқоли барқ дар воситаҳои технологияи информатсионӣ пешниҳод карда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** хати интиқоли барқ, шиддат, ҷараён, иқтидори активӣ, иқтидори реактивӣ, моделиронии компютерӣ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ В СРЕДЕ MATLAB

Мирхаликова Д.С.

Разработка компьютерной модели высоковольтных линий электропередач напряжением 35 кВ в среде MATLAB. В ходе исследования были использованы методы математического и компьютерного моделирования элементов системы электроснабжения. Разработана компьютерная модель для исследования рабочих режимов линий электропередачи напряжением 35 кВ. Предложена методика исследования элементов системы электроснабжения, как высоковольтных линий электропередачи посредством информационных технологий.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, напряжение, ток, активная мощность, реактивная мощность, компьютерное моделирование.

## SIMULATION OF 35 kV HIGH-VOLTAGE POWER LINES IN THE MATLAB

Mirkhalikova D.S.

Development of a computer model of high-voltage power lines with a voltage of 35 kV in the MATLAB. In the course of the study, methods of mathematical and computer modeling of the elements of the power supply system were used. A computer model has been developed to study the operating modes of a 35 kV transmission line. A technique for studying the elements of the power supply system, such as high-voltage power lines by means of information technology, is proposed.

**Keywords:** power line, voltage, current, active power, reactive power, computer simulation

## МУҚАДДИМА

Хатҳои интиқоли барқ (ХИБ) дар умум ҳамчун ноқиле, ки дар масофаи дароз саф шуда ва барои интиқоли энергияи электрикӣ хизмат мекунад. Ҳангоми интиқоли энергияи электрӣ аз ХИБ бо мақсади паст намудани талафоти он шиддаташро баланд менамоянд, ки он ба пайдошавии синфҳои шиддат дар хати интиқол меоварад. Имрӯз қариб тамоми олам бо энергияи электрикиро бо ХИБ - ҳои сефазаи ҷараёни тағйирёбандаи басомади 50 ё 60 Ҳс интиқол дода мешавад. Ҳангоми интиқоли энергияи электрии ҷараёни тағйирёбанда аз ХИБ, майдони электромагнитӣ дар ноқилҳои он паҳн меҳӯрад, ки қисми он дар фазо паҳн мешавад. Ҳамин тавр, майдони электростатикӣ тағйирёбанда ҳосил мешавад ва он пайдошавии ҷараёнҳои заряднокро, ки дар навбати худ он ҷараёни бори хатро ҳосил мекунад, ки он тадриҷан қимати ҷараён дар ХИБ оварда мерасонад.

Майдони магнитӣ, бо ҷараёни ноқил ҳосил мешавад ва бо шадидиятнокӣ тавсиф карда мешавад, ки ба ҳосилшавии ҚЭҲ-ҳои худиндуксия ва индуксияи мутақобилӣ оварда мешавад. Ин ҚЭҲ нобаробар дар минтақаҳои ноқил тақсим мешавад, ки он қонуни тағйирёбии шиддати мураккабро дар хат муайян карда мешавад.

Якчанд равиш ва усулҳои барои муайян намудани параметрҳои ХИБ – ҳавоӣ бо мақсади моделиронӣ ва таҳқиқи анвои кори мавҷуд аст. Кори фундаменталӣ оид ба масъалаи муайян кардани параметрҳои хатҳои интиқоли барқи ҳавоӣ аз тарафи [1] Carson J.R. дар соли 1926 формулаи муайян намудани параметрҳои ХИБ бо назардошти ҷараён, ки ба воситаи замин бармегардад, пешниҳод шудааст.

Дар кори [2] Паздерина А.В. муаммоҳои оид ба коркарди моделҳо, усулҳои ҳисоб ва таҳлили тақсими энергия дар шабакаҳои барқӣ дида баромада шудааст. Муаммоҳои усулҳои моделиронии анвои шабакаҳои тақсимоти барқӣ дар асоси технологияҳои муосири информатсионӣ дар кори [3] Кононова Ю.Г. таҳлил шудаанд. Дар кори [4] Бернас С. ва Цёк З. модели математикӣ схемаҳои таъвизии хатҳои электрикӣ, мошинҳои синхронӣ, трансформаторҳо ва дигар элементҳои системаи электроэнергетикӣ коркард карда шудаанд. Сараввал ин модел барои таҳлили анвоҳои барқароршуда ва гузариши системаи электроэнергетикӣ пешбинӣ шуда буданд. Дар кори [5] Сивокобыленко В.Ф. усулҳои тартиб додани муодилаҳои дифференсиалии системаи электрикӣ, усулҳои интегриронии шуморавии аён ва ноаён ва ғайра дида баромада шудаанд.

Ба шарофати фаъолияти муҳаққони номбурда, имрӯз мо барои моделсозии математикӣ усулҳои ва тарзҳои гуногун дорем. Лекин бо рушди техника ва технология дар соҳаи электроэнергетика, барои

баланд бардоштани устуворӣ, эътиמודиятноқӣ ва сифати кори системаҳои электроэнергетикӣ торафт зиёдтар талаботии нав гузошта мешаванд. Ин вазъият такмил додани усулҳо ва тарзҳо барои таҳқиқи элементи системаҳои электроэнергетикӣ ба анвоҳҳои корӣ ва муқаррариро талаб мекунад.

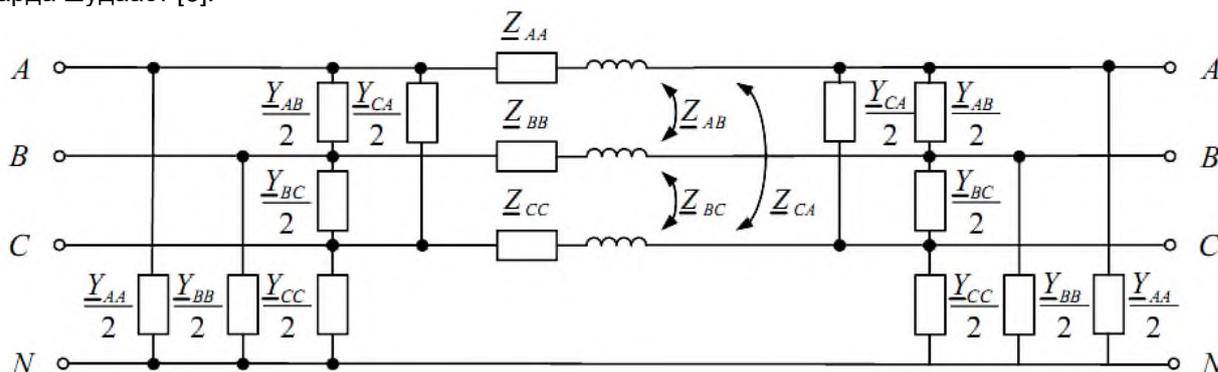
Мақсади кор: коркарди модели компютери хати интиқоли барқи баланди шиддати 35 кВ дар муҳити MATLAB.

Объекти тадқиқот: хати интиқоли барқи баланди шиддати 35 кВ.

**Аҳамияти илмӣ ва амалӣ** дар мақола бо истифодаи системаи MATLAB модели компютери хати интиқоли барқи баланди шиддати коркард карда шудааст, ки бо ин усул ҳисоби меҳнатталабии зиёд бартараф мегардад ва гирифтани натиҷаҳо дар муддати кӯтоҳ ба даст оварда мешавад.

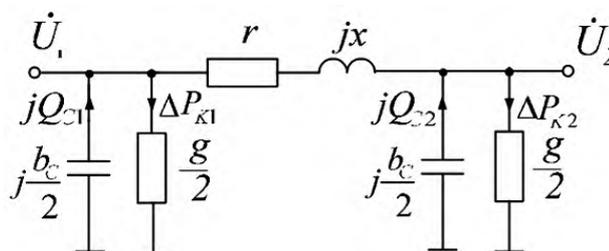
### МАВОДҲО ВА УСУЛҲО

Модели математикии элементҳои асосии системаи электроэнергетикӣ (СЭЭ), ҳангоми модели математикии СЭЭ ҳисоб мешавад, ки дақиқии он дурустии натиҷаҳои моделсозиро бо назардошти хатогиҳои имконпазир муайян мекунад. Одатан, дар амалия барои моделиронии математикӣ ХИБ, схемаи таъвизии П – шаклро истифода мебаранд. Дар расми 1 нақшаи таъвизии ХИБ-и сефазагӣ оварда шудааст [6].



Расми 1 - Схемаи таъвизии ХИБ сефазагӣ

Схемаи таъвизии ХИБ сефазагӣ (Расми 1) ҳисоби муодилаи алгебравиро мушкул менамояд ва барои содда намудани ҳалли он схемаи таъвизиро истифода мебаранд (Расми 2) [7].



Расми 2 - Схемаи таъвизии якхаттаи ХИБ

Дар схемаи таъвизий (Расми 2) муқовимати активӣ  $r$  аз рӯи буриши кӯндалангии ноқил ва масолеҳи ноқил, муқовимати индуктивӣ  $x$  аз рӯи майдонҳои магнитии дохилӣ ва беруна ҳисоб карда мешавад. Муқовимати индуктивӣ ноқилҳои фазавии ХИБ дар бисёр ҳолатҳо аз ҳамдигар фарқ мекунад ва барои ғайританосубиро маҳдуд намудан, ҷойивазкунӣ ва муқовимати хоси индуктивии ноқилҳо дар ҳар як фаза интихоб менамоянд [8-10].

Ноқилияти ғунҷоишӣ  $b_c$  ноқилияти байни фаза ва замин, байни худӣ фаза ва иқтидори зарядии ҳамаи ХИБ-и сефазаро инъикос мекунад:

$$Q_{c1} = \frac{1}{2} b_c U_1^2,$$

$$Q_{c2} = \frac{1}{2} b_c U_2^2.$$

Ноқилияти активии ХИБ  $g$  суммаи иқтидорҳои активӣ дар тоҷбанди сефазагӣ низ ба назар гирифта мешавад:

$$\Delta P_{K1} \frac{1}{2} g U_1^2,$$

$$\Delta P_{K2} \frac{1}{2} g U_2^2.$$

Дар анвои кори, ноқилияти активӣ бисёр кам мебошад ва барои ҳисоби он одатан  $g=0$ . Ҳамин тавр:

$$\begin{aligned} r &= r_0 l, \\ x &= x_0 l, \\ b &= b_0 l. \end{aligned} \quad (1)$$

дар ин ҷо  $l$  – дарозии хат (км);  $r_0$  (Ом/км),  $x_0$  (Ом/км),  $b_0$  (мкСм/км) – параметрҳои погонии хат.

Агар дарозии хати ХИБ зиёда аз 300 км бошад, ба ифодаи (1) коэффитсиентҳои иловагиро ҳамроҳ мешавад, ки чунин намудро мегирад:

$$\begin{aligned} r &= k_r r_0 l, \\ x &= k_x x_0 l, \\ b &= k_c b_0 l. \end{aligned} \quad (2)$$

дар ин ҷо

$$\begin{aligned} k_r &= 1 - \frac{l^2}{3} x_0 b_0, \\ k_x &= 1 - \frac{l^2}{6} \left( x_0 b_0 - r_0^2 \frac{b_0}{x_0} \right), \\ k_c &= 0,5 \frac{3 + k_r}{1 + k_r}. \end{aligned} \quad (3)$$

Модели математикаии додасудаи ХИБ бо чунин системаи муодилаҳо шарҳ дода мешавад [11]:

$$\begin{aligned} (L_{\Phi i} - M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{Ai}}{\partial t} + r_{\Phi i} i_{Ai} + (L_{3i} - 3M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{0i}}{\partial t} + r_{3i} 3i_{0i} &= -\frac{\partial u_{Ai}}{\partial l_i}; \\ (L_{\Phi i} - M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{Bi}}{\partial t} + r_{\Phi i} i_{Bi} + (L_{3i} - 3M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{0i}}{\partial t} + r_{3i} 3i_{0i} &= -\frac{\partial u_{Bi}}{\partial l_i}; \\ (L_{\Phi i} - M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{Ci}}{\partial t} + r_{\Phi i} i_{Ci} + (L_{3i} - 3M_{M\Phi i}) \frac{\partial i_{0i}}{\partial t} + r_{3i} 3i_{0i} &= -\frac{\partial u_{Ci}}{\partial l_i}. \end{aligned} \quad (4)$$

Бо назардошти ғунҷоиши он, муодилаи иловагӣ ҳосил мешавад:

$$\begin{aligned} C_{\Phi i} \frac{\partial u_{Ai}}{\partial t} + 3C_{M\Phi i} \frac{\partial (u_{Ai} - u_{0i})}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{Ai}}{\partial l_i}; \\ C_{\Phi i} \frac{\partial u_{Bi}}{\partial t} + 3C_{M\Phi i} \frac{\partial (u_{Bi} - u_{0i})}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{Bi}}{\partial l_i}; \\ C_{\Phi i} \frac{\partial u_{Ci}}{\partial t} + 3C_{M\Phi i} \frac{\partial (u_{Ci} - u_{0i})}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{Ci}}{\partial l_i}, \end{aligned}$$

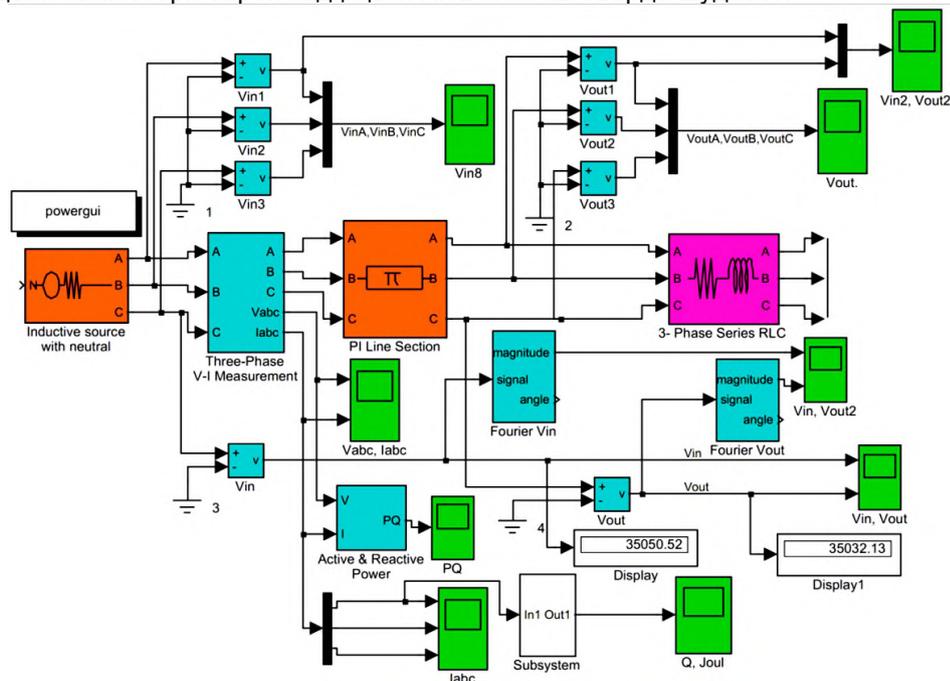
дар ин ҷо  $L_{\Phi i}$  – индуктивияти контур;  $L_{3i}$  – индуктивияти контури иловагӣ;  $M_{M\Phi i}$  – алоқаи индуктивии байни контурҳои фаза – замин;  $r_{\Phi i}$  – муқовимати активии ноқили фазаи ХИБ;  $r_{3i}$  – муқовимати активии замин;  $C_{\Phi i}$  – ғунҷоиши ноқили фазагӣ нисбат ба замин;  $C_{M\Phi i}$  – ғунҷоиши байни ду ноқилҳои фазаҳои ХИБ;  $i_{Ai}$ ,  $i_{Bi}$ ,  $i_{Ci}$  – қимати лаҳзавии ҷараёнҳои фазагӣ;  $u_{Ai}$ ,  $u_{Bi}$ ,  $u_{Ci}$  – қимати лаҳзавии шиддатҳои фазагӣ;  $i_0 = (i_{Ai} + i_{Bi} + i_{Ci})/3$  – қимати лаҳзавии ҷараёни сифрии пайдарҳамӣ;  $u_0 = (u_{Ai} + u_{Bi} + u_{Ci})/3$  – қимати лаҳзавии шиддати сифрии пайдарҳамӣ;  $l_i$  – дарозии ХИБ-и  $i$ -ум.

Бо мақсади назорати ҳатҳои параллелии ҳодисаҳои алоқамандии магнитӣ ва электростатикӣ, ифодаи муодилаи дар системаи ташкилдихандаҳои ғайританосубӣ  $\alpha, \beta, 0$  оптималӣ ҳисоб мешавад. Дар натиҷа системаи муодилаҳои  $\alpha, \beta, 0$  барои ХИБ  $i$ -ум чунин намуд дорад [11-13]:

$$\begin{aligned}
 L_i \frac{\partial i_{\alpha i}}{\partial t} + r_i i_{\alpha i} &= -\frac{\partial u_{\alpha i}}{\partial t}; & C_i \frac{\partial u_{\alpha i}}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{\alpha i}}{\partial t}; \\
 L_i \frac{\partial i_{\beta i}}{\partial t} + r_i i_{\beta i} &= -\frac{\partial u_{\beta i}}{\partial t}; & C_i \frac{\partial u_{\beta i}}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{\beta i}}{\partial t}; \\
 L_{0i} \frac{\partial i_{0i}}{\partial t} + r_{0i} i_{0i} &= -\frac{\partial u_{0i}}{\partial t}; & C_{0i} \frac{\partial u_{0i}}{\partial t} &= -\frac{\partial i_{0i}}{\partial t}; \\
 i_{\alpha i} &= \frac{2}{3} i_{A_i} - \frac{1}{3} (i_{B_i} + i_{C_i}); & u_{\alpha i} &= \frac{2}{3} u_{A_i} - \frac{1}{3} (u_{B_i} + u_{C_i}); \\
 i_{\beta i} &= -\frac{1}{\sqrt{3}} (i_{B_i} - i_{C_i}); & u_{\beta i} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (u_{B_i} - u_{C_i}); \\
 i_{0i} &= \frac{1}{3} (i_{A_i} + i_{B_i} + i_{C_i}); & u_{0i} &= \frac{1}{3} (u_{A_i} + u_{B_i} + u_{C_i}).
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

дар ин ҷо  $i_{\alpha i}, i_{\beta i}, i_{0i}$  – қимати лаҳзавии ҷараён дар системаи  $\alpha, \beta, 0$ ;  $u_{\alpha i}, u_{\beta i}, u_{0i}$  – қимати лаҳзавии шиддат дар системаи  $\alpha, \beta, 0$ ;  $L_i$  ва  $C_i$  – индуктивият ва ғунҷоиши сефазаи кори ХИБ;  $r_i$  – муқовимати активии ХИБ-и сефаза барои ташкилдихандаҳои рост ва акс;  $r_{0i}, L_{0i}$  ва  $C_{0i}$  – муқовимати активии худӣ, индуктивӣ ва ғунҷоиши  $i$ -ум ХИБ-и сефаза барои ташкилдихандаи сифрӣ.

Барои моделиронӣ системаи MATLAB интихоб менамоем, ки он маҷмӯаи барномаҳои амалӣ буда, барои ҳалли проблемаҳои гуногуни илмиву техникӣ мураккаб хизмат мекунад [14-17]. Хусусияти асосии система ин гузаронидани моделиронии имитатсионии элементҳои электроэнергетикӣ имконият медиҳад. Система бисёр маъмул буда, дар муассисаҳои илмӣ-тадқиқотӣ васеъ истифода мешавад ва дар саросари ҷаҳон миллионҳо истифодабарандаҳоро дорад. Яке афзалиятҳои барномаи MATLAB ин айёнияти натиҷаҳо ё ин ки ҳисобҳо, дар намуди графикҳо, диаграммаҳо, гистограмма ва ғайраҳо мебошад [18-20]. Имкониятҳои барномаи зикршуда, ин намоиши аён дар барои объекти моделироншуда, элемент ва системаҳоро дар умум, ки он корро хеле осон карда, вақти тартиб додани ҳисоботро камкунӣ, мисол шуда метавонанд. Дар системаи MATLAB зерсистемаи асосӣ Simulink бо ҷузъи китобхона, ки ба соҳаҳои алоҳидаи илм тақсим карда шудааст, мавҷуд аст. Барои моделиронии системаҳои электроэнергетикӣ ва электротехникӣ дар систем MATLAB китобхонаи SimPowerSystems хизмат мекунад [21-23]. Дар расми 3 модели компютерӣ барои тадқиқоти ХИБ-и 35 кВ оварда шудааст.



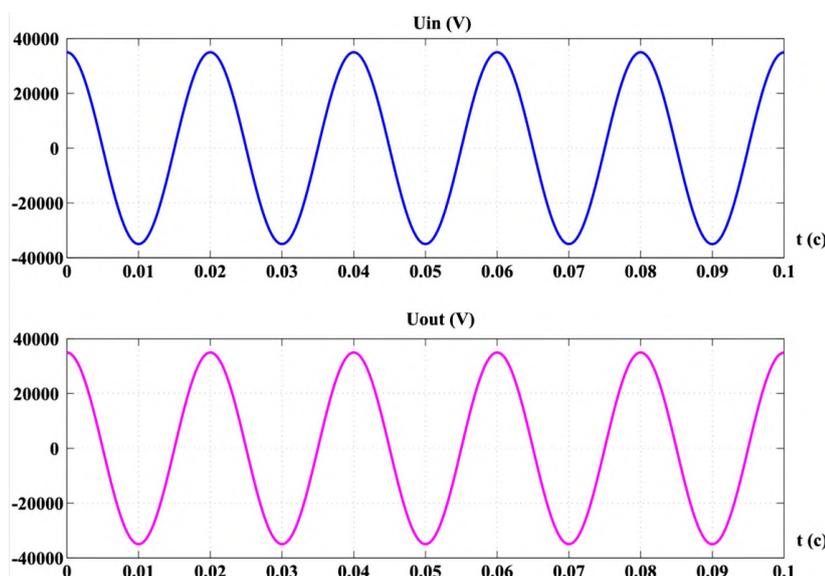
Расми 3 - Модели компютерӣ барои тадқиқоти ХИБ-и 35 кВ

Элементи асосӣ дар модел (Расми 3) инҳо мебошанд: Inductive source – манбаи шиддати сефаза; Pi Line Section – хати параметрҳояшон тақсимшуда; 3-Phase Series RLC – элементи сефазаи васли пайдарҳамии RLC; Three-Phase V-I Measurement – ченкунандаи сефазаи шиддат ва ҷараён; Active and Reactive Power – асбоби ченкунандаи иқтидорҳои активӣ ва реактивӣ; Subsystem – субсистема, барои ҳисоби энергияи ҳароратӣ хизмат мекунад.

Дар модел элементҳои ёрирасон вольтметр, остсиллограф, дисплей ва ғайра, ки барои гирифтани натиҷа дар системаи MATLAB хизмат мекунад, иборат мебошад. Остсиллограф (Scope) дар MATLAB ҳама вақт сигнали тағйирёбиро дар воҳиди вақт нишон медиҳад ва диаграммаҳои вақтиро месозад. Дар модел (Расми 3) Powergui барои таҳлили система, чӣ хеле, ки Powergui интерфейси графӣ барномаи корӣ мебошад, хизмат мекунад.

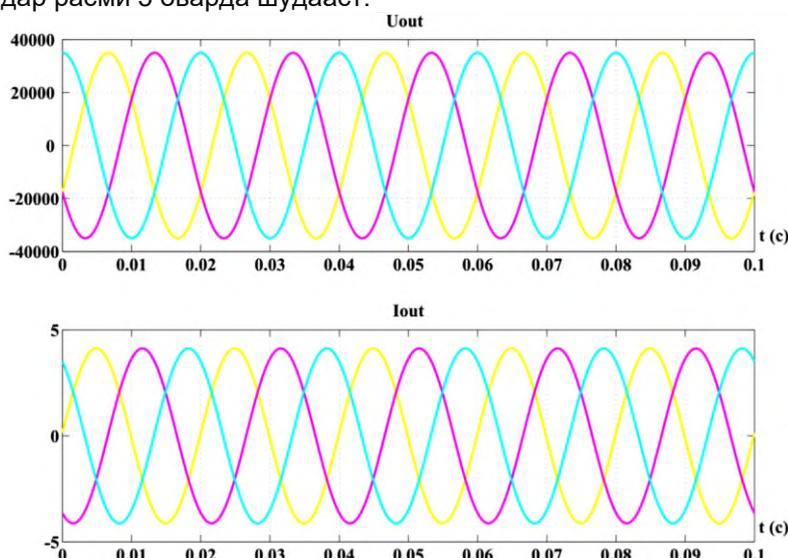
### НАТИҶА ВА МУҲОКИМА

Дар раванди моделиронии ХИБ масъалаи тадқиқоти нишондоди шиддат ва ҷараён дар ХИБ дар анвоҳои гуногуни бори хурд ва калон гузошта шудааст. Дар равиши моделиронӣ, ҳангоми борҳои хурди ХИБ, натиҷаи графикҳои шиддати раванди гузариш гирифта шудаанд (Расми 4).



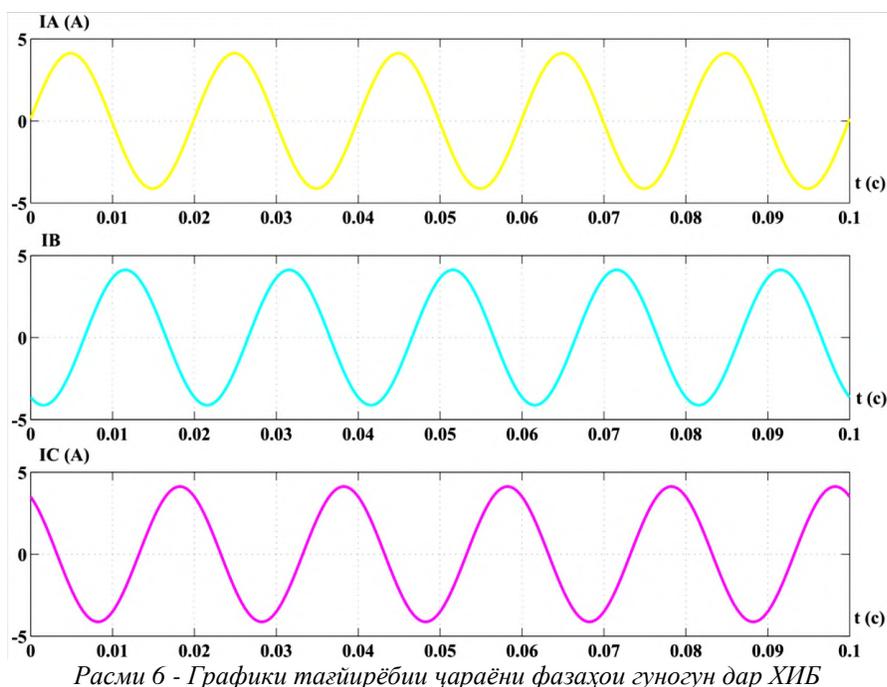
Расми 4 - Графикҳои шиддати шабака дар ибтидо ва интиҳои ХИБ

Аз рӯи графики шиддат дар бандҳои ибтидоӣ ва интиҳӣ ХИБ дида мешавад, ки ҳангоми бори хурд шиддат устувор ва мӯътадил мебошад. Графикҳои шиддат дар ибтидоии ХИБ бо ранги кабуд, дар интиҳии ХИБ бо ранги сурх тавсир шудааст. Графикҳои тағйирёбии шиддат ва ҷараёни сефаза дар интиҳӣ ХИБ, дар расми 5 оварда шудааст.



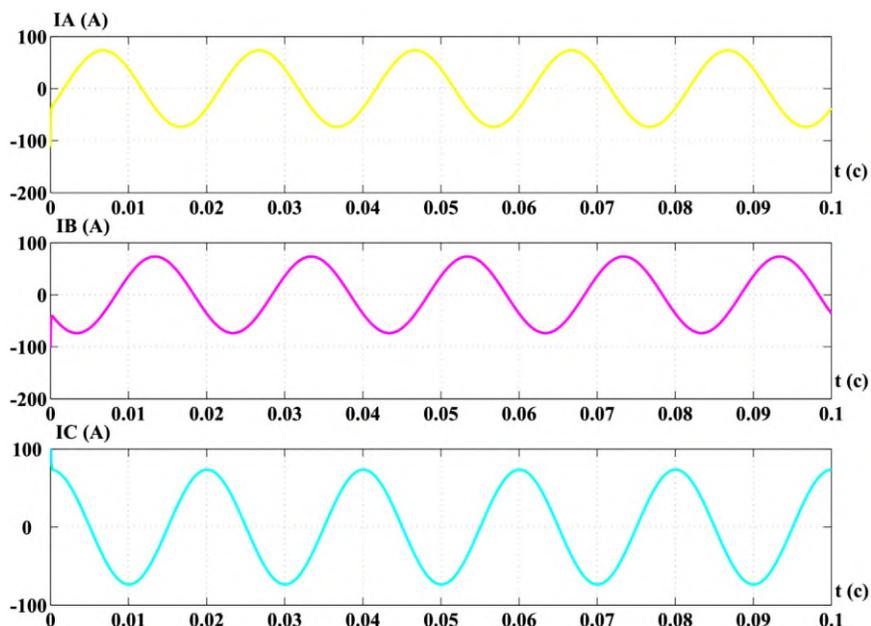
Расми 5 - Графикҳои тағйирёбии шиддат ва ҷараён дар интиҳии ХИБ

Графики расми 5 тағйирёбии шиддат ва ҷараён дар интиҳои ХИБ нишон дода шудааст ва ҳама ранҳо дорои фазаҳои муайяни худ мебошанд. Аз рӯи график маълум, ки шиддати 35 кВ, ҷараёни шабака ба 5 А баробар аст. Дар расми 6 бо алоҳидагӣ ҳамаи графики тағйирёбии ҷараёни шабака оварда шудааст.



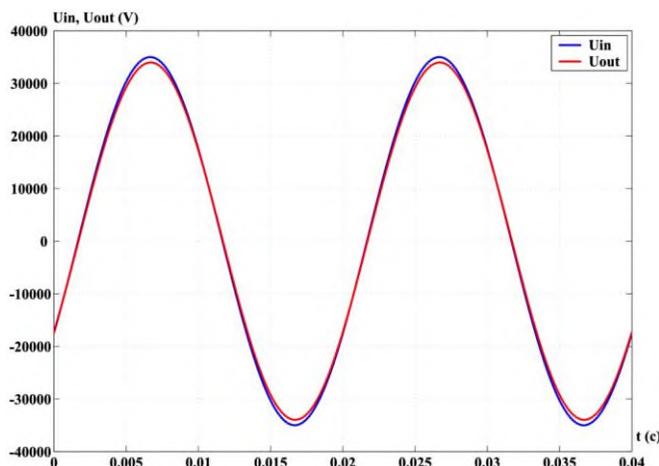
Расми 6 - Графики тағйирёбии ҷараёни фазаҳои гуногун дар ХИБ

Ҳангоми зиёдшавии бор дар ХИБ, параметрҳои электрикии шабака тағйир ёфта, ҷараён зиёд мешавад (Расми 7), шиддат бошад мӯтадилии худро гум менамояд.



Расми 7 – Графикҳои тағйирёбии ҷараён дар ХИБ модомии афзуншавии бор дар шабака

Аз расми 7 аён аст, ки модоми зиёдшавии бор қимати ҷараён назаррас калон мешавад ва дар ин ҳолат шиддат низ тағйир меёбад (Расми 8).



Расми 8 - Графики тағйирёбии шиддат дар бандакҳои ибтидоӣ ва интиҳоии ХИБ, ҳангоми зиёдшавии бори шабака

Аз рӯи расми 8 маълум гашт, ки зиёдшавии бор ба пастшавии шиддат дар ХИБ меорад. Ба ғайр аз ин фарқи хатҳо дар график (дар ибтидо – кабуд, дар интиҳо - сурх) ночиз буда, лекин ҳангоми зиёдшавии бардавоми бор дар ХИБ, қимати шиддати ХИБ дар интиҳо метавонад аз қиматҳои имконпазир ва меъёри дар стандарт қабулшуда берун шавад.

### ХУЛОСА

Умуман ҳамчун усули таҳқиқот, моделиронии компютерӣ самаранокии худро ҳангоми тадқиқоти ХИБ ва системаҳои электроэнергетикӣ хуб нишон дод. Дар асоси кори иҷро шуда, чунин хулосаҳо баровардан мумкин аст:

1. Моделиронии компютерӣ ҳамчун усули таҳқиқоти ХИБ, бешубҳа воситаи самаранок буда, ҳангоми малакаҳои моделиронии математикии васеъ доштан, натиҷаҳои боэътимодно зиёдтар медиҳад.
2. Моделиронии компютерӣ дар системаи MATLAB имконият медиҳад, ки бе ҳисобҳои муҳандисии мураккаб ва дар муддати кӯтоҳ натиҷаҳо ба даст оварда шавад.
3. Дар модели коркард гашта, таҳқиқоти гуногуни нав дар анвоҳои корӣ ва садамавии ХИБ-ро гузаронидан мумкин аст.
4. Натиҷаҳои гирифташуда дар раванди моделиронии компютери ХИБ, дар умум бо равандҳои дар хатҳои воқеӣ ба амал меомада инъикос кард.

Ҳамин тавр, натиҷаҳои ба даст омада шаҳодат медиҳанд, ки модели коркард шуда дуруст тартиб дода шуда, дар оянда ҳангоми иҷрои равиши таҷрибаҳои гуногун, тағйирдиҳӣ ва иловаҳо ворид намудан ба он мумкин аст.

### АДАБИЁТ

1. Carson J.R. Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return // Bell System Technical Journal. 1926. Vol. 5, № 4. P. 539-554.
2. Паздерин А.В. Разработка моделей и методов расчета и анализа энергораспределения в электрических сетях: автореферат диссертации д.т.н.: 05.14.02 Паздерин Андрей Владимирович. – Екатеринбург, 2006. – 41 с.
3. Кононов Ю.Г. Разработка методов моделирования режимов распределительных электрических сетей на базе современных информационных технологий: диссертация д.т.н.: 05.14.02 Кононов Юрий Григорьевич. – Ставрополь, 2001. – 390 с.
4. Бернас С., Цёк З. Математические модели элементов электроэнергетических систем. Пер. с польск. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с., ил.
5. Сивокобыленко В.Ф. Математическое моделирование в электротехнике и энергетике. Донецк: РВА ДонНТУ, 2005. – 350 с.

6. Банных П.Ю. Развитие потоковой модели установившихся режимов электрических сетей в трехфазном и однолинейном представлении. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2019. – 129 с.
7. Вайнштейн Р.А. Математические модели элементов электроэнергетических систем в расчетах установившихся режимов и переходных процессов: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 115 с.
8. Виноградов А.В., Бородин М.В., Лансберг А.А., Псарев А.И., Сорокин Н.С. Анализ типов высоковольтных коммутационных аппаратов, и оценка остаточного ресурса выключателей, установленных на подстанциях с высшим напряжением 35-110 кВ филиала ПАО "МРСК ЦЕНТРА"- "ОРЕЛЭНЕРГО" // Вестник КГУ.2021. № 1(49).С.118-127.
9. Бородин М.В., Беликов Р.П. Современное техническое состояние ВЛ 35 кВ в филиале ПАО "МРСК ЦЕНТРА"- "ОРЕЛЭНЕРГО"// Вестник КГУ.2021. № 1(49).С. 128-140.
10. Mirkhalikova, D. S., Khasanov, S. R., Gracheva, E. I., Toshkhodzhaeva, M. I., Dadabaev, S. T. (2020). Reliability modeling of high-voltage power lines in a sharply continental climate. In E3S Web of Conferences Vol. 178, p. 01051
11. Гусев А.С., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Всережимная математическая модель линий электропередачи. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7
12. Грачева Е.И., Алимова А.Н. Методы расчета и сравнительный анализ потерь активной электрической энергии в устройствах низкого напряжения // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2019. С. 361-367.
13. Mirkhalikova, D. S., Toshkhodzhaeva, M. I., Dadabaev, S. T. Modeling of Starting Transition Processes of Asynchronous Motors with Reduced Voltage of the Supply Network // European Journal of Electrical Engineering. Vol. 22, No. 1, February 2020, pp. 23-28. <https://doi.org/10.18280/ejee.220103>
14. Mirkhalikova, D. S., Gracheva, E. I., Toshkhodzhaeva, M. I., Dadabaev, S. T., Rahimov O.S., Ilyashenko S., Frolov V. / Modeling the Reliability of High – Voltage Power Transmission Lines Taking into Account the Influence of the Parameters of a Sharply Continental Climate // International Journal of Technology 11(8) 1557-1569 (2020)
15. Gracheva E.I., Naumov O.V. Estimation of Power Losses in Electric Devices of the Electrotechnical Complex. - International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), (2019).
16. Blinov I., Zaitsev I.O., Kuchansky V. V. Problems, methods and means of monitoring power losses in overhead transmission lines //Systems, Decision and Control in Energy I. – Springer, Cham, 2020. – С. 123-136.
17. Дадабаев Ш.Т. Компьютерное моделирование инвертора тока используемое для пуска высоковольтных электродвигателей. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 2. С. 370-375.
18. Тошходжаева М.И., Ходжиев А.А. Математическая модель влияния природных и эксплуатационных факторов на надёжность ВЛЭП-110 кВ в условиях резко континентального климата. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 1 (45). С. 71-81.
19. Мирхаликова Д.С. Анализ состояния системы электроснабжения и перспективы электроэнергетики Республики Таджикистан. В сборнике: Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения. сборник научных трудов. А.Ю. Александров (гл. редактор). Чебоксары, 2015. С. 161-167.
20. Вохидов А.Д., Дадабаев Ш.Т., Разинов Ф.М. К вопросу о задачах повышения надежности системы электроснабжения насосной станции первого подъема. Надежность. 2016. Т. 16. № 4 (59). С. 36-39.
21. Мирхаликова Д.С. Резерв мощности - залог надёжности работы энергосистемы (на примере Согдийских электрических сетей) В сборнике: Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. // Материалы международной научно-практической конференции. Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. Казань, 2022. С. 118-123.
22. Тошходжаева М.И., Ходжиев А.А. Перспективы применения композиционных проводов в условиях резко континентального климата. Международный технико-экономический журнал. 2018. № 1. С. 91.
23. Дадабаев Ш.Т. Моделирование мягкого пуска синхронных электроприводов. В сборнике: САПР и моделирование в современной электронике. Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции. 2019. С. 140-144.

## МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-ABOUT AUTHORS

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Мирхоликова Дилафруз Сайдуллоевна	Мирхаликова Дилафруз Сайдуллаевна	Mirkhalikova Dilafruz Saydullaevna
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	Омӯзгори калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
Ташкилот, Организация, Organization	Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар ш. Хучанд	Худжандский политехнический институт ТТУ имени академика М.С. Осими	Khujand Polytechnical Institute of Tajik Technic University named after Academician M.S. Osimi
e-mail	mirkhalikovad.@mail.ru		
ORCID Id	0000-0001-7706-8853		

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Рахимзода Дж.Б., Курбонов Ю.М.

(ТТУ имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан)

В статье произведен анализ состояния энергосистемы Республики Таджикистан со времен Советского Союза до сегодняшнего дня. Приведены новые крупные энергообъекты, которые присоединены к энергосистеме Республики Таджикистан. Проанализировано техническое состояние основных элементов электроэнергетической системы, таких как: генераторы, трансформаторы, линии электропередачи и коммутационное оборудование. Выявлено, что большая часть генераторов электростанции находится в эксплуатации свыше 40 лет. Необходимо отметить, что некоторые электростанции частично или полностью модернизированы и работают с новыми мощностями. Также из общего количества всех силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше находятся в эксплуатации в 1,5 раза выше нормированного. К примеру, трансформаторы 110 кВ – 67 %, трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ – 52,44%, трансформаторы и автотрансформаторы 500 кВ – 31,82%. Рассмотрены состояние, длина, количество и годы введения в эксплуатацию линий электропередачи разных классов напряжений. Проанализировано общее состояние коммутационных оборудований, также рекомендовано первоначально заменить 4 ОД-КЗ 220 кВ и 143 ОД-КЗ 110 кВ. Анализ показал, что есть необходимость модернизировать электрические сети напряжением 110, 220 кВ и реконструировать некоторые существующие электростанции, рекомендовано заменить изношенные оборудования на новые для оптимизации уровней токов КЗ и надежной работы энергосистемы.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, генератор, трансформатор, линия электропередачи, высоковольтные выключатели.

### ТАҲЛИЛИ ВАЗЪИ ЭЛЕМЕНТҲОИ АСАОСИИ СИСТЕМАИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Раҳимзода Ҷ.Б., Қурбонов Ю.М.

Ҳолати системаи энергетикӣи Ҷумҳурии Тоҷикистон аз замони Иттиҳоди Шӯравӣ то ба имрӯз таҳлил карда шуд. Объектҳои нави бузурги энергетикӣ, ки дар системаи энергетикӣи Ҷумҳурии Тоҷикистон пайвастанд, оварда шудаанд. Ҳолати техникӣи таҷҳизотҳои асосии системаи электроэнергетикӣ таҳлил карда шуд, ба монанди: генераторҳо, трансформаторҳо, хатҳои интиқоли барқӣ ва таҷҳизотҳои коммутационӣ. Муайян карда шуд, ки аксари генераторҳои нерӯгоҳҳо зиёда аз 40 сол истифода шуда истодаанд. Бояд қайд намуд, ки яқинд нерӯгоҳҳо қисман ва ё пурра навсозӣ карда шуда ва бо иқтидорҳои нав қор карда истодаанд. Инчунин аз шумораҳои умумии трансформатору автотрансформаторҳои қудрати 110 кВ ва боло аз он, 1,5 маротиба зиёдтар аз муҳлати истифодабарии қор карда истодаанд, Масалан: трансформаторҳои 110 кВ – 67% трансформатору автотрансформаторҳои 220 кВ – 52,44%, трансформатору автотрансформаторҳои 500 кВ – 31,82%. Ҳолат, дарозӣ, миқдор ва солҳои ба истифодадодаи хатҳои интиқоли барқӣ сатҳи шиддати гуногун дида баромада шуд. Ҳолати умумии таҷҳизотҳои коммутационӣ таҳлил карда шуда, барои ивази аввалиндараҷаи 4 мачмуъи алоҳидакунак-кутоҳваслакҳои 220 кВ ва 143 мачмуъи алоҳидакунак-кутоҳваслакҳои 110 кВ иваз карда шаванд. Таҳлил нишон дод, ки зарурят навсозии қардани шабакаҳои барқии 110, 220 кВ ва таҷдиди намудани баъзе нерӯгоҳҳо вучуд дорад, тавсия дода мешавад, ки таҷҳизотҳои фарсудашуда бо таҷҳизотҳои нав иваз карда шаванд барои оптимизатсиякунонии сатҳи ҷараёни расиши қӯтоҳ ва қори бозғимоди системаи энергетикӣ.

**Калимаҳои калидӣ:** системаи электроэнергетикӣ, генератор, трансформатор, хати интиқоли барқ, васлакҳои баландшиддат.

### ANALYSIS OF THE STATE OF THE MAIN ELEMENTS OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Rahimzoda J.B., Qurbonov Y.M.

The state of the energy system of the Republic of Tajikistan from the time of the Soviet Union to the present day is analyzed. New large power facilities that are connected to the energy system of the Republic of Tajikistan are given. The technical condition of the main elements of the electric power system, such as: generators, transformers, power lines and switching equipment, is analyzed. It was revealed that most of the generators of the power plant have been in operation for over 40 years. It should be noted that some power plants have been partially or completely modernized and operate with new capacities. Also, out of the total number of all power transformers and autotransformers for voltages of 110 kV and above, they are in operation 1.5 times higher than the normalized one. For example: 110 kV transformers - 67%, 220 kV transformers and autotransformers - 52.44%, 500 kV group of autotransformers - 31.82%. The state, length, number and years of commissioning of power transmission lines of different voltage classes are considered. The general condition of the switching equipment was analyzed, and it was also recommended to initially replace 4 OD-KZ 220 kV and 143 OD-KZ 110 kV. The analysis showed that there is a need to modernize electrical networks for voltages of 110, 220 kV and reconstruct some existing power plants, it is recommended to replace worn-out equipment with new ones to optimize short-circuit current levels and reliable operation of the power system.

**Key words:** electric power system, generator, transformer, power line, high voltage switch.

В советское время энергосистемы стран Центральной Азии работали совместно и входили в Единую энергосистему Союза. Объединенная энергосистема Центральной Азии состояла из блока энергосистем, которые были соединены между собой воздушными линиями электропередачи напряжением 220 и 500 кВ. В своё время Объединенная энергосистема Центральной Азии работала параллельно с Единой энергосистемой

России с помощью электрических сетей Казахстана. В состав Объединенной энергосистемы Центральной Азии входили энергосистемы Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Киргизии и Туркменистана.

В те времена (СССР) в республиках Средней Азии создавался централизованный водно-энергетический комплекс, который управлялся из единого центра в Республике Узбекистан. Данный комплекс способствовал балансировать сезонные колебания спроса на электрическую энергию и регулирование воды. В зимнее время Таджикистан и Киргизия накапливали воду в водохранилищах, таких как Кайракумское, Нурекское, Токтогульское и т.д., и тем самым получали электрическую энергию и топливные ресурсы из Казахстана, Узбекистана и Туркменистана. В летнее время Таджикистан и Киргизия направляли накопленную воду в Казахстан и Узбекистан для ирригационного земледелия. Помимо этого, Таджикистан и Киргизия отправляли соседям избыточную электрическую энергию.

В настоящее время такой системы в Центральной Азии не существует. Ликвидация Объединенной энергосистемы Центральной Азии привела к бесконтрольному отбору электрической энергии, что создало спорные ситуации при регулировании качества электроэнергии. После распада единого центра качество эксплуатации и технического обслуживания элементов энергосистем с годами уменьшалось, так как каждая страна боролась за самостоятельность в вопросах производства, передачи и продажи электроэнергии. Вследствие этого энергосистема Республики Таджикистан изолировалась от энергосистем соседних стран, а также северная и южная части электрических сетей оказались разделёнными. Большая часть генерирующих энергетических объектов энергосистемы Республики Таджикистан находилась в южной части, а потребители северной части электрических сетей обеспечивались от энергосистемы Республики Узбекистан воздушными линиями электропередачи напряжением 220 кВ [1].

Таким образом, обеспечение жителей и промышленных предприятий Согдийской области качественной электрической энергией в основном зависело от энергосистемы Республики Узбекистан. Отключение связующих линий электропередачи ограничивало эффективность работы энергосистемы Республики Таджикистан. Это привело к ряду других проблем, в том числе в связи с изменением конфигурации и плотности нагрузок электрических сетей в узлах энергосистемы Республики Таджикистан наблюдалось увеличение уровней токов коротких замыканий [2]. Параметры основных элементов, которые были установлены на электростанциях и подстанциях, могли оказаться не соответствующими уровню токов короткого замыкания [3].

В 1992 году в Республике Таджикистан для контроля и управления производства, транспортировки, передачи, распределения и продажи электро-и теплоэнергии была организована государственная национальная энергетическая компания Открытая Акционерная Холдинговая Компания (ОАХК) «Барки Точик». В своё время ОАХК «Барки Точик» занималась вопросами эксплуатации электрических станций, подстанций и сетей республики, выработки, передачи, распределения и реализации электрической и тепловой энергии в стране.

После реформирования ОАХК «Барки Точик» энергосистема разделилась на три акционерные компании. Обслуживание генерирующих станций и ПС этих электростанций возложено на ОАО «Барки Точик», обслуживание ЛЭП и ПС напряжением 110 (кроме 3 городов), 220 и 500 кВ возложено на ОАО «Шабакахои интиколи барк» (Передающие электрические сети), обслуживание ЛЭП и ПС ниже 110 кВ возложено на ОАО «Шабакахои таксимоти барк» (Распределительные электрические сети).

В Республике Таджикистан (РТ) в целях повышения уровня благосостояния населения и достижения энергетической независимости Правительством Республики Таджикистан была принята стратегия, имеющая ряд программ по строительству, реконструкции и модернизации электростанций, подстанций и электрических сетей. Для реализации данной стратегии в энергосистему Республики Таджикистан внедрялись новые крупные энергетические объекты, такие как Сангтудинская ГЭС-1 мощностью 670 МВт, Сангтудинская ГЭС-2 мощностью 220 МВт, Душанбинская ТЭЦ-2 мощностью 400 МВт, высоковольтные линии электропередачи номинальными напряжениями 110, 220 и 500 кВ «Душанбе-Сугд» и «Рогун-Душанбе», «Конибодом - Боткен», «Лолазор-Хатлон», «Сангтуда-Пули Хумри», «Кайраккум-Ашт», «Худжанд-Айни», «Шахринав-Хонако», подстанции 110, 220 и 500 кВ «Душанбе», «Сугд», «Рогун», «Лолазор», «Хатлон», «Шахринав», «Айни», «Хонако» и т.д. Помимо внедрения новых крупных объектов в энергосистему ряд существующих энергетических объектов был модернизирован или находится на ее стадии.

В республике в сфере энергетики реализуются более 10 проектов. Среди этих проектов есть такие крупные и межгосударственные проекты как «Проект CASA-1000», «Переподключение к объединённой энергосистеме Центральной Азии», строительство новых электростанций, подстанций и линий электропередачи.

В настоящее время мощность энергосистемы Республики Таджикистан составляет 5757 МВт, причем на долю гидроэлектростанций приходится 87,6% всей установленной мощности. На долю тепловых станций – 718 МВт, то есть всего около 12,4% [4].

В энергосистеме Республики Таджикистан системообразующими сетями являются воздушные линии электропередачи с номинальным напряжением 220 и 500 кВ.

Протяжённость линии электропередачи 500 кВ составляет около 1371 км, линии электропередачи 220 кВ – 5751 км и линии электропередачи 110 кВ – 13679 км. В электрические сети электроэнергетической системы входят 3 подстанции 500 кВ, 29 подстанций 220 кВ и 186 подстанций 110 кВ.

Несмотря на внедрение новых и реконструкцию действующих энергетических объектов, анализ показал, что существуют узлы, где основные элементы морально устарели, и тем самым вероятность безотказной работы этих элементов в аварийных ситуациях является очень низкой.

Генераторы. На сегодняшний день в энергосистеме РТ находятся в эксплуатации 5 ГЭС с 42 гидрогенераторами и 2 ТЭЦ с 8 турбогенераторами. Общее количество генераторов в энергосистеме РТ составляет 50 штук (здесь приведены электрические станции больших мощностей).

В таблице 1 приведен список электрических станций и количество генераторов с годами ввода их в эксплуатацию.

Таблица 1 – Электрические станции энергосистемы РТ

№	Наименование станции	Количество агрегатов	Год ввода в эксплуатацию	Примечание
1	Рогунская ГЭС	6 (2)	2018	-
2	Нурекская ГЭС	9	1972-1979	Из 9 ген. Г-1 в 2022 году после модернизации введена в эксплуатацию
3	Байпазинская ГЭС	4	1988	ОРУ 220 кВ реконструировано.
4	Сангтудинская ГЭС-1	6	2009	-
5	Сангтудинская ГЭС-2	4	2014	-
6	Каскад Вахшской ГЭС			
	Головная ГЭС	6	1962	В 2023 завершена реконструкция с изменением мощности станции (170 до 240 МВт)
	Шаршара ГЭС	3		
	Центральная ГЭС	2		
7	Кайракумская ГЭС	6	1956	На стадии реконструкции (126 на 174 МВт)
8	Душанбинская ТЭЦ-1	4	1961-1965	-
9	Душанбинская ТЭЦ-2	4	2014-2016	-

Из таблицы видно, что большинство генераторов электрических станций энергосистемы РТ находятся в эксплуатации более 40 лет. А также несколько генераторов Нурекской, Кайракумской и Сарбандской ГЭС частично или полностью модернизированы и в данный момент работают с новыми мощностями.

**Трансформаторы и автотрансформаторы.** Одним из важнейших элементов энергосистемы являются трансформаторы и автотрансформаторы. В ЭЭС РТ на сегодняшний день имеется 4 подстанции 500 кВ, 35 подстанций 220 кВ и более 185 подстанций 110 кВ. Количество силовых трансформаторов и автотрансформаторов энергосистемы РТ приведено в таблице 2, а годы ввода их в эксплуатацию приведены в таблице 3.

Таблица 2 - Силовые трансформаторы и автотрансформаторы

№	Класс напряжения, кВ	Количество АТ и ТР, шт.	Мощность, МВА
1	ПС 500 кВ	22	12510
2	ПС 220 кВ	82	10442
3	ПС 110 кВ	328	5519,7

Таблица 3 - Годы введения в эксплуатацию силовых АТ и ТР

№	Годы	Количество трансформаторов, %		
		АТ и ТР 500 кВ	АТ и ТР 220 кВ	ТР 110 кВ
1	1950-1960	-	-	7,02
2	1960-1970	-	8,54	11,9
3	1970-1980	27,27	13,42	22,25
4	1980-1990	4,55	30,48	26,23
5	1990-2000	4,55	3,65	3,65
6	2000-2010	13,63	17,08	12,8
7	2010-2022	50	26,83	16,15

На рис. 1 приведена гистограмма силовых трансформаторов в зависимости от года ввода их в эксплуатацию.

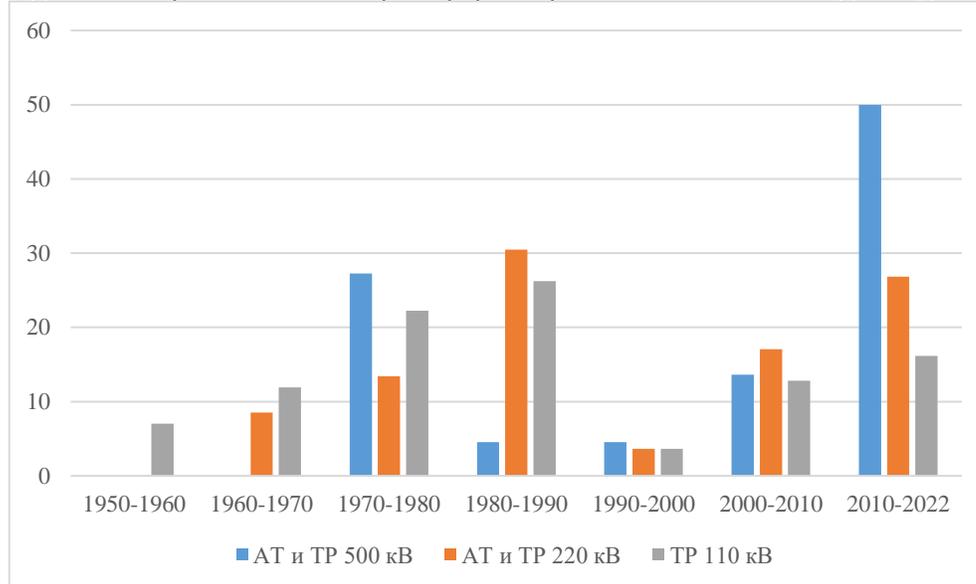


Рисунок 1 - Годы введения в эксплуатацию силовых трансформаторов системы разных классов напряжения (в процентах)

Из данной гистограммы видно, что большинство трансформаторов и автотрансформаторов 110 кВ и 220 кВ эксплуатируются больше своего нормированного срока.

**ЛЭП.** Другим немаловажным элементом системы являются линии электропередачи. Передача выработанных мощностей осуществляется по ЛЭП. Анализируя состояние ЛЭП, можно оценивать устойчивую работу электрических сетей, так как большая доля аварий в системе приходится на ЛЭП. Количество и длина ЛЭП, эксплуатирующихся в ЭЭС РТ, приведены в таблице 4, а годы введения их в эксплуатацию в таблице 5.

Таблица 4 – Количество и длина ЛЭП

№	Класс напряжения, кВ	Количество, шт.	Длина, км
1	ЛЭП-500 кВ	6	1371,053
2	ЛЭП-220 кВ	63	5751

3	ЛЭП-110 кВ	168	13679
---	------------	-----	-------

Таблица 5 - Годы введения в эксплуатации ЛЭП ЭЭС РТ

№	Годы	Количество ЛЭП 500 кВ, шт	Количество ЛЭП 220 кВ, шт	Количество ЛЭП 110 кВ, шт
1	1950-1960	-	-	15
2	1960-1970	-	8	40
3	1970-1980	1	10	24
4	1980-1990	1	16	60
5	1990-2000	-	2	9
6	2000-2010	2	14	6
7	2010-2022	2	13	14
		6	63	168

На рис. 2 приведена гистограмма напряжения ЛЭП в зависимости от года введения их в эксплуатацию

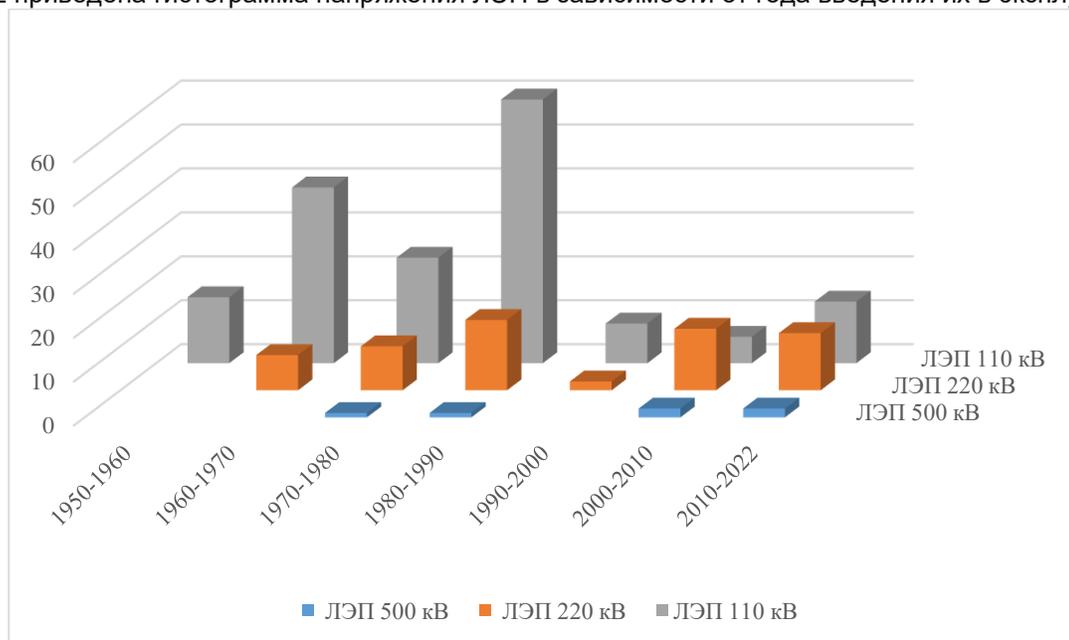


Рисунок 2 - Годы введения в эксплуатацию ЛЭП разных классов напряжений

Из данной гистограммы видно, что большая часть ЛЭП напряжением 110 и 220кВ эксплуатируются больше своего эксплуатационного срока.

**Коммутационные оборудования.** В нашем случае из всех видов коммутационного оборудования ЭЭС РТ мы рассмотрим выключатели и ОД-КЗ напряжением 110 кВ и выше. В ЭЭС РТ эксплуатируются шестьдесят (60) выключателей 500 кВ, двести тринадцать (213) выключателей 220 кВ, четыреста девяносто (490) выключателей 110 кВ, четыре (4) ОД-КЗ 220 кВ и сто сорок три (143) ОД-КЗ 110 кВ. Из общего количества выключателей 110 кВ 195 комплектов являются масляными выключателями. В таблице 6 приведено общее количество коммутационных оборудования ЭЭС РТ, а в таблице 7 типы этих коммутационных оборудования.

Таблица 6 – Общее количество коммутационных оборудования (без учета разъединителей)

Количество коммутационных оборудования в ЭЭС Республики Таджикистан, комплектов

Выключатели 500 кВ	Выключатели 220 кВ	Выключатели 110 кВ	ОД-КЗ-220 кВ	ОД-КЗ-110 кВ
60	213	490	4	143

Таблица 7 - Виды коммутационных оборудования

Наименование	Количество выключателей и ОД КЗ ЭЭС РТ		
	110 кВ	220 кВ	500 кВ
Элегаз	295	213	60
Масляный	195	-	-
ОД-КЗ	143	4	-

На рис. 3 приведена гистограмма, в которой показаны количество и типы коммутационного оборудования ЭЭС РТ.

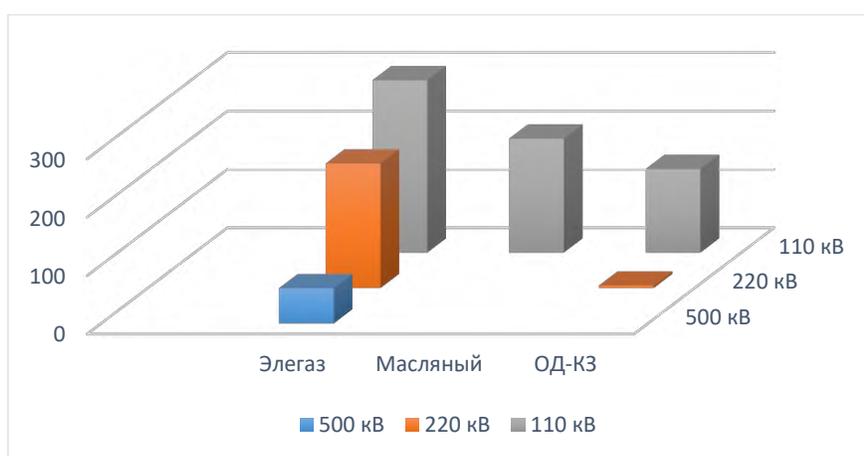


Рисунок 3 – Количество и выключателей и ОД-КЗ

Исходя из гистограммы, можно сделать вывод, что более 60% коммутационного оборудования 110 кВ эксплуатируется больше нормированного срока.

### Выводы

Анализируя техническое состояние электрооборудования энергосистемы и годы их эксплуатации с учетом её развития, можно прийти к выводу, что 67% трансформаторов 110 кВ, 52,44% АТ и ТР 220 кВ, 31,82% АТ 500 кВ работают на 1,5 раза больше своего нормированного срока. При анализе ЛЭП напряжений 110, 220 и 500 кВ в более неудовлетворительном состоянии находятся ЛЭП напряжением 110 кВ, так как эксплуатационные сроки большинства этих линий переработаны. Также вероятность возникновения частых аварий ЛЭП приходится на ЛЭП напряжением 110 кВ, т.к. плотность этих ЛЭП обширна.

На устойчивость энергосистемы также влияют виды и работы коммутационного оборудования. В энергосистеме эксплуатируются 143 ОД-КЗ 110 кВ, 4 ОД-КЗ 220 кВ и 195 масляных выключателей. Как указывалось выше, эксплуатационный срок указанных оборудования выше нормированного, и характеристики этих оборудования не соответствуют нынешним стандартам (IEC и ГОСТ). От характеристик этих оборудования зависит работа электрических сетей ЭЭС РТ.

Для надежной работы, уменьшения количества аварий и внедрения новых энергетических объектов в ЭЭС РТ с учетом перспективного развития необходимо модернизировать и внедрять новые оборудования, в том числе высоковольтные выключатели.

### Литература

1. Таджикистан: углубленный обзор энергоэффективности / Секретариат Энергетической Хартии. – Boulevard de la Woluwe, 56. B-1200 Brussels, Belgium. – 2013.
2. Неклепаев, Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах / Б.Н. Неклепаев. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.
3. Гусев, Ю.П. Обзор технического состояния электрооборудования в развивающейся энергосистеме Республики Таджикистан / Ю.П. Гусев, А.Г. Каюмов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2020. -Т. 20, № 1. - С. 76-84. DOI: 10.14529/power200109.
4. Официальный сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. – [https://www.mewr.tj/?page\\_id=552](https://www.mewr.tj/?page_id=552) (дата обращения: 18.04.2023).

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

TJ	RU	EN
Раҳимзода Ҷамшед Бобомурод	Рахимзода Джамшед Бобомурод	Rahimzoda Jamshed Bobomurod
н.и.т. дотсенти кафедраи «Неругоҳҳои электрикӣ»	к.т.н. доцент кафедры «Электрические станции»	Ph.D. Associate Professor of the Department "Electric Power Plants"
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Телефон: (+992) 987-47-77-71		
E-mail: jam-rahimov@mail.ru		
TJ	RU	EN
Қурбонов Юсуф Маҳмадалиевич	Курбонов Юсуф Махмадалиевич	Kurbonov Yusuf Makhmadalievich
докторант PhD дар кафедраи «Неругоҳҳои электрикӣ»	докторант PhD кафедры «Электрические станции»	doctoral student PhD of the department "Electric power plants"
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Телефон: (+992)930-99-39-19 E-mail: qym01@mail.ru		
TJ	RU	EN
Воҳидов Миробид Мирвобидович	Вохидов Миробид Мирвобидович	Vohidov Mirobid Mirvobidovich
н.и.т. и.в. дотсенти кафедраи «Электротабминкуни»	к.т.н., и.о. доцента кафедры «Электроснабжение»	Ph.D., acting Associate Professor, Department of Power Supply
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Телефон: (+992) 93-56-37-37, E-mail: supergold84@mail.ru		

УДК 631.371:621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Махмадҷонов Ф.Д., Қасобов Л.С.

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

В статье исследованы установившиеся режимы работы энергосистемы Республики Таджикистан с учетом ввода новых генерирующих мощностей, линий электропередач и подстанций напряжением 220-500 кВ. Разработана расчетная схема и выполнены расчеты установившихся режимов для оценки надежной и устойчивой связи между Северной, Южной и Центральной частями энергосистемы Республики Таджикистан в программном комплексе MUSTANG. Определены основные потоки активной и реактивной мощности между избыточными частями энергосистемы и дефицитной частью, и, следовательно, рассчитана остаточная пропускная способность линий связи напряжения 500 кВ. Основные результаты моделирования установившихся режимов работы энергосистемы способствуют применению актуальных решений по эффективному использованию пропускной способности линий высокого напряжения.

**Ключевые слова:** мощность, энергосистема, режим, подстанция, напряжения, гидроэлектростанция, устойчивость, связь.

## ТАҲҚИҚИ РЕҶАҲОИ КОРИИ БАРҚАРОРШАВАНДАИ СИСТЕМАҲОИ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Ф.Д. Махмадҷонов, Л.С. Қасобов

Дар мақола таҳқиқи реҷаҳои кори барқароршавандаи системаҳои энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон бо дарназардошти истифодаи иқтидорҳои нави истеҳсоли, хатҳои интиқ барқ ва зеристгоҳҳои шиддати 220-500 кВ баррасӣ шудааст. Барои ҳисоби реҷаҳои барқароршаванда, нақшаи ҳисобӣ тартиб дода шуда, алоқаи бозътимод ва устувор байни қисмҳои шимолӣ, ҷанубӣ ва марказии системаи энергетикӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон дар барномаи комплекси MUSTANG арзёбӣ карда шуд. Интиқоли тавоноии ҷабл ва ғайриҷабл дар қисматҳои барзиёд ва камчӣи системаҳои энергетикӣ ҳисоби шуда, гузаронандагии боқимондаи хати интиқоли барқӣ шиддати 500 кВ ҳисоб карда шудааст. Натиҷаҳои асосии ҳисоби реҷаҳои барқароршавандаи системаи энергетикӣ имконият медиҳанд, ки аз ҷониби маъсулин қарорҳои муфид дар самти истифодаи пураи гузаронандагии хатҳои интиқоли барқӣ шиддати баланд қабул карда шаванд.

**Калимаҳои калидӣ:** тавоноӣ, системаи энергетикӣ, реҷа, зеристгоҳ, шиддат, нуругоҳи барқии обӣ, устуворӣ, алоқа.

## PROSPECTING STEADY-STATE MODE OF THE POWER SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

F. D. Mahmudjonov, L.S. Kasobov

The article examines the established modes of operation of the energy system of the Republic of Tajikistan, taking into account the commissioning of new generating capacities, power lines and substations for voltages of 220-500 kV. A design scheme has been developed and steady state calculations have been performed to assess the reliable and stable connection between the Northern, Southern and Central parts of the energy system of the Republic of Tajikistan in the MUSTANG software package. The main flows of active and reactive power between the redundant parts of the power system and the deficient part are determined, and therefore the residual capacity of 500 kV communication lines is calculated. The main results of the simulation of the steady state operation of the power system contribute to the use of relevant solutions for the efficient use of the capacity of high voltage lines.

**Key words:** power, energy system, mode, substation, voltages, hydroelectric power station, stability, communication.

Развитие отрасли энергетики является важнейшим ключом к надежному и устойчивому экономическому развитию Республики Таджикистан. Географическое расположение Таджикистана обусловлено таким образом, что ее энергосистема разделена на три части: Южная часть, где на реке Вахш построены основные генерирующие гидроэлектростанции, Центральная часть, в которой построены душанбинские теплоэлектроцентрали и Варзобская ГЭС 1, 2 и 3, а также Северная часть, которая является дефицитной, и выработка электроэнергии выполняется только на Кайрокумской ГЭС мощностью 126 МВт [1].

Общая установленная мощность энергетической системы Таджикистана составляет 6 124,79 МВт. Из них 5 406,79 МВт (88 %) составляет мощность ГЭС, а оставшаяся часть (718 МВт) приходится на три ТЭЦ: Душанбинская ТЭЦ-1,2 и Яванская ТЭЦ. Основная информация о существующих мощностях приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Список существующих мощностей энергосистемы Республики Таджикистан

Электростанции	Мощность, МВт
Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)	
ТЭЦ Душанбе-2	400
ТЭЦ Душанбе-1	198
ТЭЦ Яван	120
Гидроэлектростанций (ГЭС)	
Нурекская ГЭС	3000
Сангтудинская ГЭС-1	670
Байпазинская ГЭС	600
Сарбандская (Головная) ГЭС	248
Сангтудинская ГЭС-2	220
Кайраккумская ГЭС	126
Перепадная ГЭС	29,95
Центральная ГЭС	15,1
Каскад Варзобских ГЭС	29,1
Рогунская ГЭС (установленная мощность двух агрегатов)	400
<b>ГЭС-и ОАО «Памир Энерджи»</b>	<b>44,14</b>
<b>МГЭС по всей стране (всего 280 единиц)</b>	<b>24,5</b>
<b>Итого:</b>	<b>6 124,79</b>
В том числе:	
ГЭС	5 406,79
ТЭЦ	718

Для расчета и анализа установившихся режимов работы энергосистемы была создана расчетная схема, в которой учтены мощности всех генераторов электростанций, которые функционируют в напряжениях 220-500 кВ. Всего расчетная схема имеет 50 узлов и 65 ветвей. Моделирование выполнено в программе комплексе Mustang, в котором также учтены основные устройства генерирующей реактивной мощности на существующих подстанциях [2-5]. На рисунке 1 приведена схема соединения линий электропередачи и подстанций энергосистемы Республики Таджикистан напряжением 500 кВ.

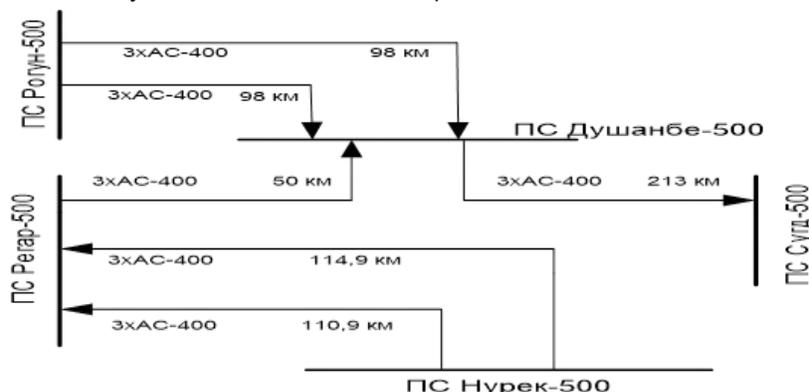


Рисунок 1 - Схема соединения линий электропередачи и подстанций энергосистемы Республики Таджикистан напряжением 500 кВ

Результаты моделирования и расчетов нормальных и утяжеленных установившихся режимов зимних нагрузок воздушной линии электропередачи (ВЛЭП) Душанбе–Сугд, энергосистемы Республики Таджикистан приведены в таблице 2. В расчетной модели также учтены мощности батареи статических конденсаторов (БСК) подстанции (ПС) Душанбе-500 и Сугд-500 и шунтирующие линейные реакторы (ЛР), которые установлены в начале и конце данной линии. Особое внимание в исследовании уделено ВЛЭП Душанбе-Сугд, так как в настоящее время надежность электроснабжения Северной части республики зависит от данной линии [6-7].

Таблица 2 – Результаты моделирования нормальных и утяжеленных установившихся режимов зимних нагрузок ВЛЭП Душанбе – Сугд с учетом ЛР и БСК на ПС

Нормальный установившийся режим зимних максимальных нагрузок 2022						
№ узла ПС	Напряжение, кВ	Переток активной и реактивной мощности по ВЛЭП		Ток, кА	Активные и реактивные потери ВЛЭП	
		МВт	Мвар		МВт,	Мвар,
5003	495,3	808,5	-50,9	1	15,47	194,6
5004	501,2	-793	76,3	0,98	6	6
Предельный установившийся режим зимних максимальных нагрузок 2022 года с учетом включения схемы БСК на 3х40 Мвар ПС Душанбе, 8х40 Мвар ПС Сугд и по ЛР 3х40 МВар в начале и конце линии						
5003	488,2	902,1	-10,5	1,13	19,94	250,8
5004	492,6	-882,2	98,2	1,12		



Рисунок 2 - Увеличение потребления активной мощности Северной части энергосистемы в период 2020-2022

Как видно из рисунка 2, электропотребление Северной части республики увеличивается год за годом и необходимость расчета установившихся режимов для оценки пропускной способности ВЛЭП-500 кВ Душанбе-Сугд возрастает. При анализе режимов работы БСК ПС Душанбе-500 в программном комплексе Mustang дают возможность определить уровни напряжения в начале линии. Режим работы БСК на ПС Душанбе-500 зависит от уровня напряжения в начале линии Душанбе-Сугд. Включение и отключение БСК напряжением 35 кВ выполняется дистанционно дежурным персоналом подстанции в зависимости от режимов работы энергосистемы [8-10]. Результаты моделирования установившихся режимов работы энергосистемы Республики Таджикистан приведены на рисунке 3. Как видно из рисунка 3, при включении БСК уровни напряжения в начале линии Душанбе-Сугд увеличиваются, и оно способствует увеличению уровней напряжения в конце линии.

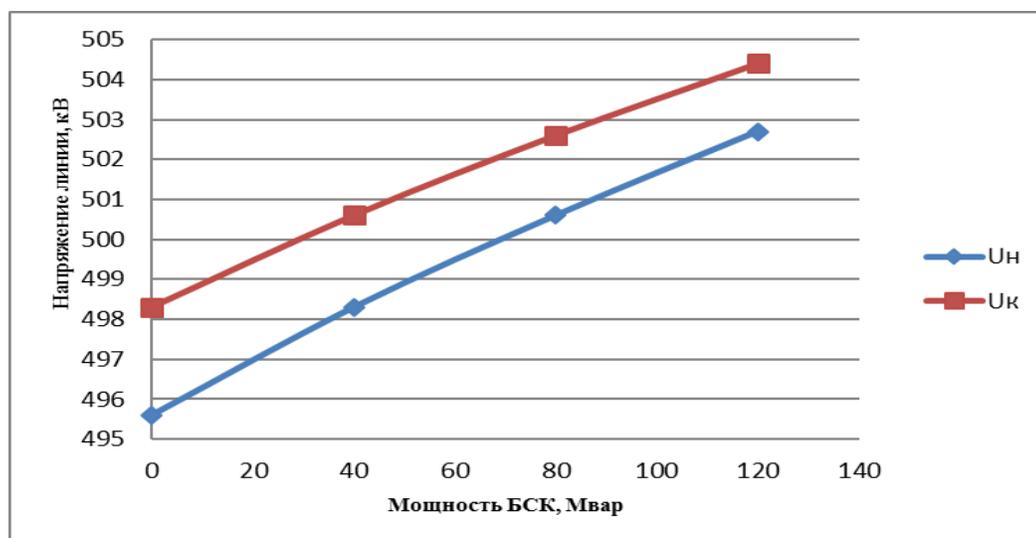


Рисунок 3 - Результаты моделирования установившихся режимов и уровни напряжений ВЛЭП-500 кВ Душанбе-Сугд с учетом БСК на ПС Душанбе-500

### Выводы

1. По реальным данным энергосистемы Республики Таджикистан в программном комплексе Mustang создана расчетная модель для анализа установившихся режимов работы, а также решение задач в направлении балансов активных и реактивных мощностей между генерацией и потреблением электрической энергии.

2. По полученным результатам моделирования установившихся режимов работы энергосистемы и исследования режимов работы БСК ПС Душанбе-500 выявлено, что при включении мощности БСК (от 40 до 120) в зависимости от режима энергосистем уровень напряжения в начале линии Душанбе-Сугд увеличивается и это дает возможность увеличения уровня напряжения в конце данной линии.

3. Применение автоматических устройств для регулирования реактивной мощности на ПС Душанбе-500 и Сугд-500, таких как СТАТКОМ, СТК и системы FACTS, способствует повышению устойчивости линии связи Душанбе-Сугд напряжением 500 кВ.

### Литература

1. Информационный сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.mewr.tj/>.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем/под ред. Л.А. Жукова. М.: Энергия, 1979. 456 с.
3. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики). Учеб. Пособие для вузов / В.А. Веников. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. Школа, 1976. – 479 с.
4. Заболотский В.П., Оводенко А.А., Степанов А.Г. Математические модели в управлении. Учебное пособие. – Санкт-Петербург.: СПбГУАП, 2001. – 196 с.
5. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие / С.Г. Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 84 с.
6. Надтока И.И. Исследование режимов работы в энергосистеме Таджикистана при управлении конденсаторными установками на подстанциях 500 кВ Душанбе и Сугд / Надтока И.И., Ф.Д. Махмадджонов // Изв. вузов. Электромеханика. 2015. № 6 (542). С. 88-92.
7. Надтока И. И., Махмадджонов Ф.Д. Прогнозирование максимальных электрических нагрузок для Северной части энергосистемы Республики Таджикистан на основе метода главных компонент // Современные энергетические системы и комплексы и управление ими: Материалы 13-ой Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 25 июня 2015г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. – С. 55 – 60.

8. И.И. Надтока, П.А. Васильев, Ф.Д. Махмадҷонов. Проблемы совершенствования балансов мощности в энергосистеме Республики Таджикистан.// Современные энергетические системы и комплексы и управление ими: Материалы XI Международной научной конференции г. Новочеркасск, 25 июня 2014 г./ Юж.-Рос. Гос. Политехн. Ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), -С-42-45.
9. Надтока И.И., Васильев П.А., Махмадҷонов Ф.Д. Моделирование переходных процессов и анализ динамической устойчивости энергосистемы Республики Таджикистан// Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. -2015. -№3. – С. 50-53.
10. Надтока И.И., Махмадҷонов Ф.Д. Анализ динамической устойчивости энергосистемы Таджикистана с учетом ввода Душанбинской ТЭЦ-2// Научно-техническая конференция и выставка инновационных проектов, выполненных вузами и научными организациями ЮФО в рамках участия в реализации федеральных целевых программ и внепрограммных мероприятий, заказчиком которых является Минобрнауки России: сб. материалов конф., г. Новочеркасск, 14-16 дек. 2014 г. /Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т им. М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2014. С. 39-39.

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

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Махмадҷонов Фирӯз Додарҷонович	Махмадҷонов Фирӯз Додарҷонович	Mahmadjonov Firuz Dodarjonovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail	firuz_7773@mail.ru		
ORCID Id	0000-0003-3171-4607		
	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Қасобов Лоик Сафарович	Қасобов Лоик Сафарович	Kasobov Loik Safarovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidat of engineering sinces, Associate Professor
Ташкилот, Организация, Organization	ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail	loiknstu@mail.ru		
ORCID Id	0000-0002-9271-6908		

## ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОМ КОМПЛЕКСЕ

Воҳидов М.М., Исмоилов Ф.О.

(ТТУ имени акад. М. С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан)

В статье рассмотрены методы уменьшения статического отключения основных электрооборудований подстанции «Сохили» посредством тепловизионных методов. В системах электроснабжения нарушения, как правило, приводят к снижению качества электроэнергии и эффективности энергопотребления из-за недоотпуска выпускаемой продукции.

Ключевые слова: подстанция, качество, потребитель электроэнергии, повреждения.

## ТАҲҚИҚОТИ САДАМАҲО ДАР КОМПЛЕКСҲОИ ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКӢ

Воҳидов М.М., Исмоилов Ф.О.

Дар мақола усулҳои кам кардани хомӯшавии статикӣ дар дастгоҳҳои ососии зеристгоҳи барқии Сохилӣ ва манфиатҳои усулҳои тепловизионӣ баррасӣ мешавад. Дар системаи электрогаминкунии вайронкуниҳо ҳам чун қоида ба пастшавии сифати энергияи электрикӣ ва самаранокии истеъмолкунандагони нуруи барқ боиси норасоии маҳсулоти истеҳсолшуда мегардад.

Ключевые слова: зернеругоҳ, сифат, истеъмолкунандаи энергияи электрикӣ, осеббинӣ

## RESEARCH OF ACCIDENTS IN THE ELECTRIC GRID COMPLEX

Vohidov M.M., Ismoilov F.O.

The article considers methods for reducing the static shutdown of the main electrical equipment of the Sokhili substation using thermal imaging methods. In power supply systems, disturbances tend to lead to a decrease in power quality and energy efficiency due to undersupply of manufactured products.

Key words: substation, quality, consumer of electricity, damage.

В результате процессов аварийного характера в энергосистеме наблюдаются:

- повреждение основного технологического оборудования;
- нарушения целостности изоляций токоведущих частей;
- ошибочное функционирование различных по назначению устройств, оборудования и аппаратов;
- ошибки, допускаемые электротехническим персоналом во время выполнения рабочего процесса.

Как показывает опыт эксплуатации электрических сетей, среди всевозможных причин аварийного состояния различных элементов системы электроснабжения особое внимание следует отдать следующим видам аварий, которые приводят к длительным перерывам в электроснабжении объекта:

- поломка турбин;
- поломка генераторов;
- поломка силовых трансформаторов.

Исследование проблематики возникновения аварий в системах электроснабжения, как принято, сводится в первую очередь к подробному изучению основных характеристик аварий. К основным характеристикам аварий в данном случае могут быть отнесены следующие характеристики:

1) разнообразность элементов электрической сети. Известно, что электрическая сеть состоит из большого числа разнообразных по назначению, функции и производственных характеристик оборудования и аппаратов.

2) постоянное развитие и совершенствование как производственный механизм. Данная характеристика предусматривает постоянное проведение плановых и внеплановых ремонтных мероприятий, внедрение передовой технологии в производственный процесс без перерыва основного технологического процесса объекта.

3) приспособляемость к влияниям внутренних и внешних факторов. Данная характеристика предусматривает адаптивность электрической сети и способность сохранить рабочее состояние сети в целом при изменении определенных характеристик отдельных элементов. Однако, если в таком случае возникнут какие-нибудь технологические нарушения, то они будут квалифицироваться как нарушения работы системы или повреждения.

Как показывают опыты исследования аварийных случаев в системах электроснабжения, причины сбоя технологического характера удобнее всего классифицировать на следующие типы:

1) сбои, связанные в основном с состоянием технологического оборудования, аппаратов и конструкций производственных объектов. Эти виды нарушения в определенном смысле определяют эффективность функционирования элементов системы электроснабжения;

2) сбои, возникающие в результате допущения ошибок во время эксплуатации. Они в основном отражают уровень профессиональной подготовленности электротехнического персонала системы;

3) сбои, возникающие в результате вмешательства факторов внешнего характера на функционирование электрической сети и её элементов.

В соответствии с руководящими документами главной задачей при регулировании систем электроснабжения является минимизация потерь вследствие уменьшения потребления электроэнергии и выхода из строя различных элементов системы электроснабжения. В связи с этим задача минимизации потерь сводится к ликвидации источника аварий и последующему принятию мероприятия по предотвращению ее распространения.

В данной работе при исследовании и анализе различных повреждений в системе электроснабжения и самих элементов электрической сети рассмотрены результаты наблюдения за этими объектами в течение одного года эксплуатации. Важно отметить, что исследования подстанции «Сохили» осуществлялись для каждого конкретного месяца года в отдельности в отношении каждого отдельного участка электрической сети. Результаты наблюдения за сбоями в работе в электрических сетях подстанции «Сохили» показаны на рис.1. Анализируя полученный график повреждений ПС «Сохили», можно прийти к выводу, что повреждения в основном возникли в январе, феврале, ноябре и декабре. Такой результат показывает, что именно в указанные месяцы года возрастает потребление электроэнергии потребителем.

В ходе исследования было установлено, что увеличение количества аварий и связанные с ними отключения в течение одного календарного года в сети подстанции «Сохили» в основном имеет прямую связь с факторами старения основного технологического электрооборудования. Установлено, что морально и технически устаревшие элементы просто не в состоянии выдерживать повышенные нагрузки зимнего периода работы. Это явление показывает важность замены устаревших элементов на новые. Однако такая работа, как правило, выполняется не сразу. Кроме того, аварийные повреждения зимнего периода также связаны с внешними факторами, имеющими случайный характер. К ним в основном относятся гроза, сильный ветер и выпадение большого количества осадков.

Результаты анализа нарушений энергоснабжения по видам повреждений электрооборудования представлены в таблице 1. Повреждения опор, изоляторов, часто связанные с проведением различного рода работ, вызывали 113 отключений. По причинам, связанным с коммутационной аппаратурой - выключателями и разъединителями, произошло 34 отключения. По причинам неисправностей с повреждениями трансформаторов и кабелей произошло 44 отключения. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее частые отключения связаны с неисправностями выключателей и разъединителей, а также трансформаторов.

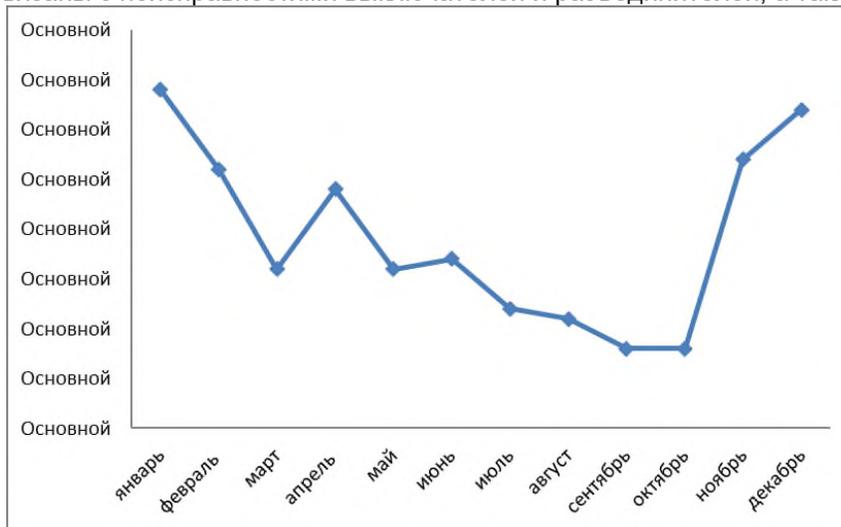


Рисунок 1 - Статистика отключений в электроэнергетических сетях ПС «Сохили»

Таблица 1 – Сбои в СЭС в зависимости от нарушения в работе конкретного оборудования

№ п/п	Причина отключений	Число отключений
1	Повреждения опор линий электропередачи и их изоляторов	113
2	Повреждения кабелей и кабельных муфт	32
3	Повреждения самих трансформаторов	11
4	Повреждения выключателей и разъединителей напряжением 110 кВ	16
5	Повреждения выключателей и разъединителей распределительных устройств напряжением 10кВ	18
6	Отключения без повреждения оборудования подстанции	297

Проведен анализ причин аварийных отключений из-за пробоев изоляции, результаты которых представлены в таблице 2. Выявлено, что основное количество аварийных отключений происходит из-за пробоев изоляции в кабелях и муфтах. Необходимо отметить, что аварийные отключения из-за пробоев изоляции в кабельной сети являются одним из тяжелых повреждений в системе электроснабжения. Отыскание и ремонт поврежденного элемента вызывает простой энергопотребления в течение нескольких часов.

Вероятность возникновения аварии в электроустановках, а также вероятность перебоев в передаче электроэнергии определяется в функциональной зависимости от более своевременного проведения профилактических и ремонтно-наладочных работ.

Таблица 2 - Статистика причин аварийного отключения из-за пробоев изоляции

№ п/п	Наименование объектов	Кол-во аварий	Количество пробоев			Доля пробоев в кабелях и муфтах, %
			Кабели	Муфты	Другие	
1	ООО «Султони Кабир»	12	6	2	4	67
2	Колхоз «Россия»	25	12	5	8	68
	Итого	37	18	7	12	67

По полученным данным экспериментального анализа, полученным в ходе исследования, проводимого в электрических сетях и понизительной подстанции «Сохили» в течение одного календарного года, предложены следующие выводы:

- в период экспериментального наблюдения был зафиксирован рост аварийности в электрических сетях и подстанции «Сохили». По результатам исследований такое явление было связано со старением основного технологического электрооборудования;
- обнаружено значительное число отключений аварийного характера, имеющих непосредственную связь с аварийными ситуациями ВЛЭП 10 кВ;
- в результате подробного анализа было установлено, что по средним оценкам приблизительно до 50% отключений возникли без выхода из строя самого технологического оборудования;
- результаты исследования показывают, что из общего числа пробоев изоляций, приведшие к аварийным отключениям, до 67% приходится на долю кабельных линий и муфт;
- как было установлено в ходе исследования системы электроснабжения, при увеличении реализации общих объемов профилактических и ремонтно-наладочных мероприятий уменьшается частота аварийных случаев элементов системы.

По итогам исследования пришли к выводу, что контроль качества рабочей изоляции и улучшение качества организационных работ профилактической направленности являются весьма важными направлениями работы электротехнического персонала любого электроэнергетического объекта. Таким образом, обосновано подтверждается, что проведение обследования правильности функционирования электрооборудования является одним из наиболее эффективных методов получения достоверной информации.

### Литература

1. Абрамова Е.А., Алешина С.К., Чиндиянскин В.И. «Расчет понизительной подстанции в системах электроснабжение». Учебное пособие по курсовому проектированию. 2-е изд. Перераб. и доп. Оренбург; ГОУ ОГУ. 2004-91с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1981.

3. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. Издание 6./М.: ЭНАС 1998 г. Приложение 3. Тепловизионный контроль электрооборудования и воздушных линий электропередач.
4. Поляков В.С. Из опыта тепловизионной диагностики высоковольтного оборудования энергосистем. Энергетик №5.2000 г.
5. Рожкова Л.Д. Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М. Энергоатомиздат, 1981 г.

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

TJ	RU	EN
Вохидов Миробид Мирвобидович	Вохидов Миробид Мирвобидович	Vohidov Mirobid Mirvobidovich
н.и.т. и.в. дотсенти кафедраи «Электротаминкуний»	к.т.н., и.о. доцента кафедры «Электроснабжение»	Ph.D., acting Associate Professor, Department of Power Supply
ДТТ ба ноами академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
Телефон: (+992) 93-56-37-37, E-mail: supergold84@mail.ru		
TJ	RU	EN
Исмоилов Фирдавс Олимшоевич	Исмоилов Фирдавс Олимшоевич	Ismoilov Firdavs Olimshoevich
н.и.т. и.в. дотсенти кафедраи «Электротаминкуний»	к.т.н., и.о. доцента кафедры «Электроснабжение»	Ph.D., acting Associate Professor, Department of Power Supply
ДТТ ба ноами академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
(+992) 93-588-86-60.		

УДК 627+004.94

## ОМУЗИШИ ПАДИДАИ ЛОИҚАБАНДИИ ОБАНБОРИ ОБГИРЕҲИ НОРАК Обидҷони Ш. Қ.

Донишкадаи энергетикаи Тоҷикистон

Обанбори обгиреҳи Норақ, ки дар дарёи Вахш мавқеъ гирифтааст, тавони идорасозии мавсимии маҷрои оби ин дарёро доро буда, амалан дар ҳаҷми пурра маҷрои обовардхоро дар худ таҳшин менамояд.

Дар вақти асосноккунии лоиҳаи обгиреҳи Норақ, ҳисоби лоиқабандии обанбори он бо инобати нишондиҳандаи миёнасолаи маҷрои обовардхо дар давраи бисёрсола ва пуршавии он то таррози сатҳи обтақиядиҳандаи нормалӣ гузаронида шуда буд.

Маълумотҳо оид ба ҳаҷми обовардхои маҷрои дарёи Вахш то замони маҳкамсозии имтидоди обгиреҳи Норақ ва пуррсозии обанбори он соли 1972 аз пойгоҳҳои обченкунии дар худуди минтақаи зериобмонанда гирифта мешуд ва баъди ташкилшавии обанбор ин маълумотҳо аз пайгоҳҳои обченкуние, ки дар минтақаи бунёди НБО-и “Роғун” ҷойгир аст, гирифта шудаанд. Неругоҳи барқи обии “Роғун” амалан даромадгоҳи обанбори Норақ ба ҳисоб меравад.

Тадқиқоти мазкур фарогири 29 соли ченкуниҳои маҷрои об ва обовардхо буда, дар ин миён хусусиятҳои зиёди аз ҳам фарқкунандаи давраҳои серобӣ, хушқолиҳо ва ҳолатҳои муътадил мариди омӯзиш ва баррасӣ қарор гирифтаанд.

Дар раванди тадқиқоти мазкур муайян гардид, ки дар баробари обовардхои тариқи маҷрои дарё ба обанбор воридшаванда, манбаъҳои дигари маводи таҳшин ба монанди ҳаҷми маводҳо аз ҳисоби шусташавии соҳилҳои обанбор, маводҳои маҳсули эрозия ва деградатсия низ сабабгори бо сурат лоиқабандии обанбар гардидааст, ки ин падидаҳо дар раванди асосноккунии лоиҳаи обгиреҳи Норақ ба инобат гирифта нашуда буд.

**Калидвожаҳо:** обанбор, пойгоҳҳои обченкунӣ, обовардхо, таҳшиншавӣ, обгиреҳ, ғунҷоиши обанбор, лоиқабандӣ, дарё, маҷро, буришҳои кундалангӣ.

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЗАИЛЕНИЯ В НУРЕКСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ Обидҷони Ш.К.

Водохранилище Нурекского гидроузла, которое расположено на реке Вахш, имеет возможность регулировать сезонный сток этой реки и практически полностью аккумулирует сток наносов реки. При обосновании проекта Нурекской ГЭС расчет заиления водохранилища выполнялся на среднее многолетнее значение стока наносов и наполнение до отметки НПУ. Со времени ввода в эксплуатацию сооружения в 1972 г. информация о стоке наносов пополнилась значительным периодом исследований на участке строящейся Рогунской ГЭС, являющимся практически входным створом для Нурекского водохранилища.

Данные исследования стока воды и наносов, полученные за 29 лет, охватывают годы, характеризующиеся значительной изменчивостью водности и чередованием циклов с повышенной водностью и ниже средней многолетней.

В процессе данного исследования было выявлено, что наряду с речным наносом есть и другие источники наносов, такие как материалы за счет подмыва берегов водохранилища, эрозии и деградации, что вызвало заиливание водохранилища, которое не было учтено в проекте Нурекского гидроузла.

**Ключевые слова:** водохранилище, водомерные станции, наносы, осажжение, гидроузел, емкость водохранилища, заиление, река, русло реки, поперечные разрезы.

## STUDY OF THE PHENOMENON OF SILTING IN NORAK RESERVOIR Obidjoni Sh.K.

The reservoir of the Norak hydroelectric complex, which is located on the Vakhsh River, has the ability to regulate the seasonal flow of this river and almost completely accumulates the sediment runoff of the river. When justifying the design of the Nurek HPP, the calculation of reservoir silting was carried out for the average long-term value of sediment runoff and filling up to the mark normal retaining level. Since the commissioning of the facility in 1972, information on sediment runoff has been supplemented by a significant period of research at the site of the Rogun HPP under construction, which is practically the inlet to the Nurek reservoir.

Present studies of water and sediment runoff, obtained over 29 years, cover years characterized by significant variability of water content and alternation of cycles with high water content and below the long-term average.

In the process of this study, it was revealed that, along with river sediment, other sources of sediment, such as materials due to the erosion of the banks of the reservoir, erosion and degradation, also caused silting of the reservoir, which was not taken into account in the design of the Nurek hydroelectric complex.

**Keywords:** reservoirs, water measuring stations, sediment, sedimentation, Complex of hydraulic structures, capacity, reservoirs, silting, river, riverbed, cross sections

Муқаддима

Омили боэътимод барои баҳодиҳии ҳолати ғунҷоиши обанбори Норақ ин тадқиқотҳои саҳроии муҳандисӣ-геологӣ ва топографии қарри обанбор мебошад, ки ба ин васила мо на танҳо ҳаҷми кунунии

обанборро муайян менамоем, балки сохти морфологии қисматҳои қаъри обанборро муайян месозем. Ҳамзамон мо ба ин восита дақиқияти маълумотҳои гидрологиро низ муайян намудем.

Мақсади асосии тадқиқоти мазкур ин муайян намудани ғунҷоиши воқъии обанбор ва ҳиссаи ҳаҷми қобили истифода дар он, инчунин суръати лоиқабандӣ вабаста ба давраҳои гуногуни фаъолият мебошад. Бо мақсади ноил шудан ба мақсади гузошташуда, маҷмуи маводҳои тадқиқоту мушоҳидаҳои солҳои қаблро чамоварӣ, коркард, таҳлил ва рақамӣ кунонидем. Натиҷаи тадқиқоти мазкур имкон медиҳад, ки дар ҳолатҳои зарурӣ меъёри истифодабарии мавсимии маҷрои дарёи Вахш барои таъйинотҳои гидроэнергетикӣ, обёрӣ ва истифодаи маҷмуии силсила-неругоҳҳо таҳия шуда, раванди захирасозӣ ва истифодаи ҳаҷми қобили истифодаи обанборро танзим созем. Инчунин натиҷаҳои бадастомадаро метавон ҳамчун замина барои ояндабинии ҳолати эҳтимолии ҳам обанбори Норақ ва ҳам обанбори сохташавандаи Роғун истифода намуд.

#### Маводҳо ва усулҳо

Усули иҷрои корҳои илмӣ-тадқиқотии мазкур мувофиқ бо меъёрҳо ва қоидаҳои танзимкунандаи соҳа буда, дар вақти иҷрои кори мазкур тадқиқотҳои ҳамшабеҳи қаблан дар дигар иншоотҳо гузаронидашуда, ки аз ҷониби доираҳои илмӣ эътироф гардидаанд, омӯхта шудааст.

Дарёи Вахш яке аз шохобҳои асосии дарёи Ому ба ҳисоб рафта, аз бо ҳам рехтани дарёи Сурхоб ва Обихингоб оғоз гардида, минтақаҳои ҷуғрофии кӯҳӣ, наздикӯҳӣ ва водигиро убур намуда, дар резиш ба дарёи Панҷ анҷом меёбад. Вале ба ақидаи яке аз муҳаққиқони соҳа В.Л. Шулдс дарёи Вахш аз резиши дарёҳои Қизилсу ва Муксу дар баландии 3680 м аз сатҳи баҳр оғоз мегардад (дар дигар адабиёт маҳсули ин ҳамроҳшавиро дарёи Сурхоб меноманд).

Новобаста аз печуби дарё дар масири худ амалан ин дарё то резиш ба д. Панҷ ба самти ҷанубу-ғарб ҳаракат менамояд. Ба сифати қуллаҳои обтақсимкунанда ё сарҳади табиӣ ҳавзаи дарё қаторкӯҳҳои Сарикол аз шарқ, Пасиолой, Академияи илмҳо, Дарвоз ва Вахш аз ҷануб, Қоқ-тау ва Қара-тау аз ғарб, Олой ва Қаротегин аз шимол иҳота намудаанд. Қуллаи аксарияти қаторкӯҳҳои ҳавзаи дарё аз баландии 5000 м баланд аз сатҳи баҳр ҷойгиранд, ки дар ҳамгирӣ бо амбуҳи намнок шароити хуберо барои ташаккули яхбандӣ фароҳам меорад. Ҳамин аст, ки дар ҳудуди ин ҳавза пиряхҳои калонтарини Осиёи Марказӣ ба монанди Федченко ва Мушкетова мавқеъ гирифтаанд.

Аз рӯи баҳодиҳии В.Л. Шулдс ба ҳисоби миёна аз як километри муррабаи ҳавзаи дарёи Вахш 17,4 л/с.км<sup>2</sup> об ташаккул меёбад.

Маҷрои дарёи Вахш дар минтақаи тадқиқот (обанбор) шакли V-ро доро буда, нисбати пасхамиҳои соҳил хеле чуқур ҷойгир аст. Қаъри маҷрои дарё бо моилии аз 0,04 то 0,0007 хобида, суръати ҳаракати об дар дарё вобаста аз морфометрия аз 2,0 то 5,0 м/сонияро ташкил дода, дар минтақаҳои алоҳида ин нишондиҳанда то 8 м/с рафта мерасад.

Сарчашмаҳои ташаккули дарёи Вахш омехта буда, аз манбаъҳои барфию яхӣ ва қисман обҳои зеризаминӣ иборат мебошад. Қисмати асосии ҳаҷми солонаи оби дарё аз моҳи апрел то сентябр бо нишондиҳандаи максималӣ дар моҳи июн мегузарад.

Дарёро ҳаҷми зиёди маводҳои омехта дар намуди қум ва лоиқа ҳамроҳӣ менамояд. Илова бар ин аз сабаби суръати баланд доштани дарё дар қаъри он обовардҳои сангин бо андозаҳои гуногун ғел хӯрда ба самти поён ҳаракат менамояд.

Ба ҳисоби миёнасола сарфаи дарёи Вахш дар имтидоди обгиреҳи Норақ дар давраи мушоҳидаҳои бисёрсола ба 636 м<sup>3</sup>/с баробар буда, нишондиҳандаи максималии он ба 1616 м<sup>3</sup>/с ва минимали бошад ба 178 м<sup>3</sup>/с рафта мерасад.

Сарбанди обгиреҳи Норақ дар 255 километрии дарё аз имтихо ҷойгир буда, сохтмони он сабабгори ташкилшавии обанбор ба ғунҷоиши 10,5 км<sup>3</sup> гардидааст. Сатҳи обтақиядихӣ дар обанбор (СОТН) 910,00 м аз сатҳи баҳр буда, то таррози 857,00 м ҳаҷми қобили истифода ба ҳисоб рафта, ҳаҷми он ба 4,5 км<sup>3</sup> баробар аст.

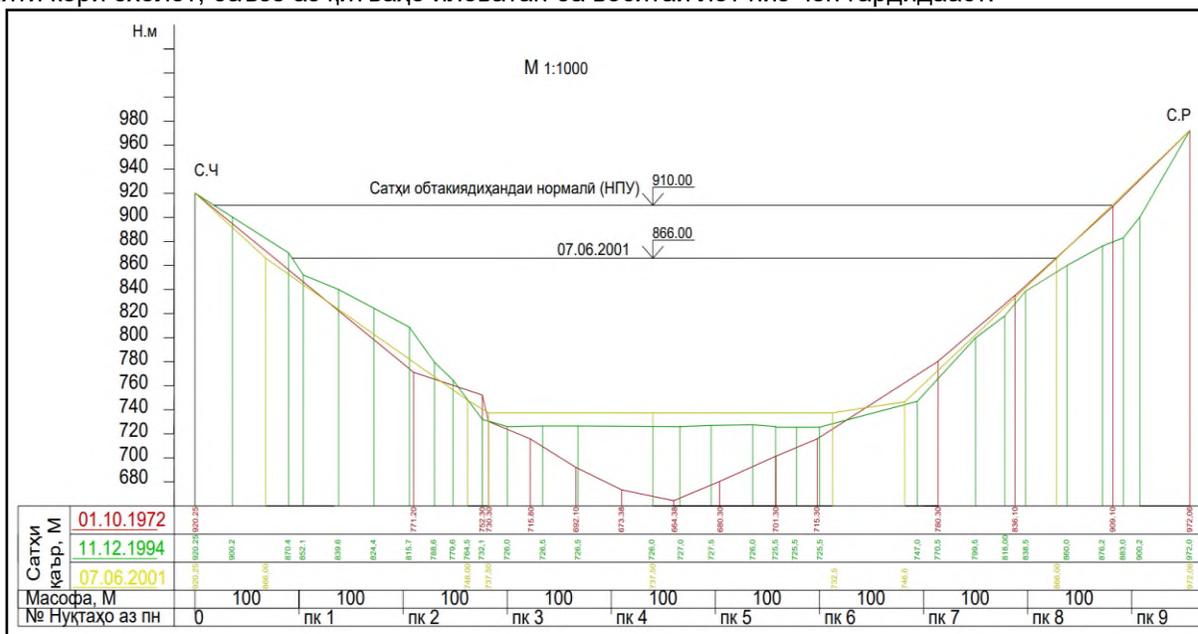
Боло аз сарбанди Норақ дар масофаи 339 км аз интиҳои дарё сохтмони сарбанди Неругоҳи барқи оби "Роғун" идома дорад, ки баъди пурра ба истифода додан, обанбори он метавонад тамоми обовардҳоро дар худ тоқшин намояд ва ба ин васила обанбори Норақро аз падидаи бо суръат камшавии ғунҷоиш начот диҳад.

Гидроагрегати аввали НБО "Норақ" соли 1972 бо сатҳи пастарин обанбор ба истифода дода шуд. То соли 1976 таррози обанбор то сатҳи 771,8 м баланд шуда, ҳаҷми он ба 1,6 км<sup>3</sup> расида буд. Соли 1979 таррози пуркунии обанбор ба сатҳи 890,00 м баромад ва моҳи октябри соли 1983 обанбор то сатҳи обтақиядихандаи нормалии (СОТН) 910,00 м пур карда шуд.

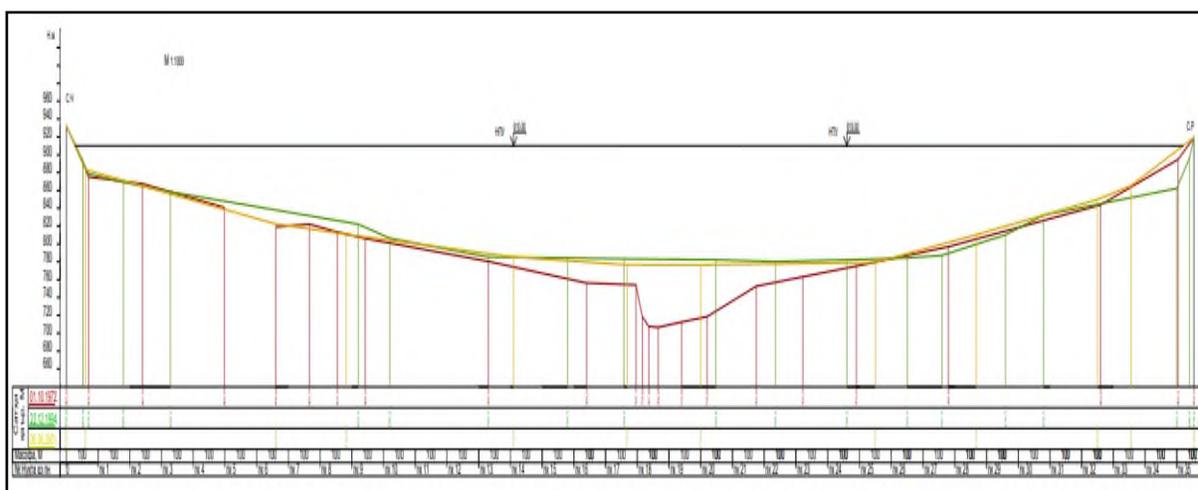
Вобаста ба речаи пуркунӣ ва истифодабарии обанбор ҳамзамон бо таъя ба ҳолати обташаккулёбӣ дар сол, раванди пуркунӣ аз моҳи май оғоз ёфта, то моҳи июн давом менамояд. Раванди истифодабарии он бошад, аз моҳи октябр оғоз ёфта, то даҳаи 2-юми моҳи март давом менамояд

Ҷузъи таркибии татқиқоти мазкур ин рақамикунони маълумотҳои мушоҳидаҳои солҳои қаблӣ оид ба ҳолати буришҳои кундалангии 21 имтидоди ченкунии мавҷуда мебошад, ки дар 4 давра тадқиқот гузаронида шудааст. Ҳамзамон ба хотири қиёс намудани нисбати ҳолати ибтидоӣ ва ҳамдигар, инчунин аён намудани сохти геометрӣ ва морфометрии онҳо вобаста ба солҳо ҳамаи маълумотҳо дар шакли графикӣ гардонда шуда, дар як ҳамворӣ болоиҳам гузоштааст. Имтидодҳои ченкунии 1 то 10, ки намуна натиҷаи ченкуниҳои онҳо дар расмҳои 1 ва 2 оварда шудааст, пеш аз раванди пуркунии обанбор соли 1972 дар мавқеъҳои кунунӣ насб карда шуда буданд. Имтидодҳои ченкунии аз рақами 11 то 21, ки намуна натиҷаи ченкуниҳои онҳо дар расмҳои 3 ва 4 оварда шудааст пасон мутахассисони КИЭ №3 баъдтар соли 1989 ҳангоми тайёри ба корҳои ченкунии саҳроӣ дар мавқеъҳои кунунияшон насб намудаанд.

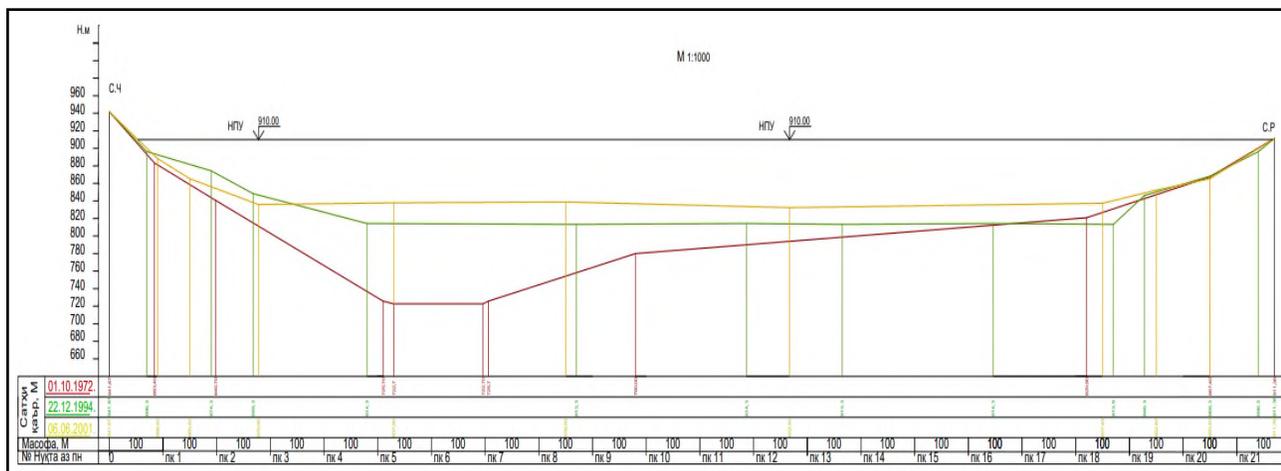
Дар раванди иҷрои корҳои ченкунӣ эҳолоти дар қайқ насбгардида истифода гардидааст. Бо мақсади дақиқияти кори эҳолот, баъзе аз қитъаҳо иловатан ба воситаи лот низ чен гардидааст.



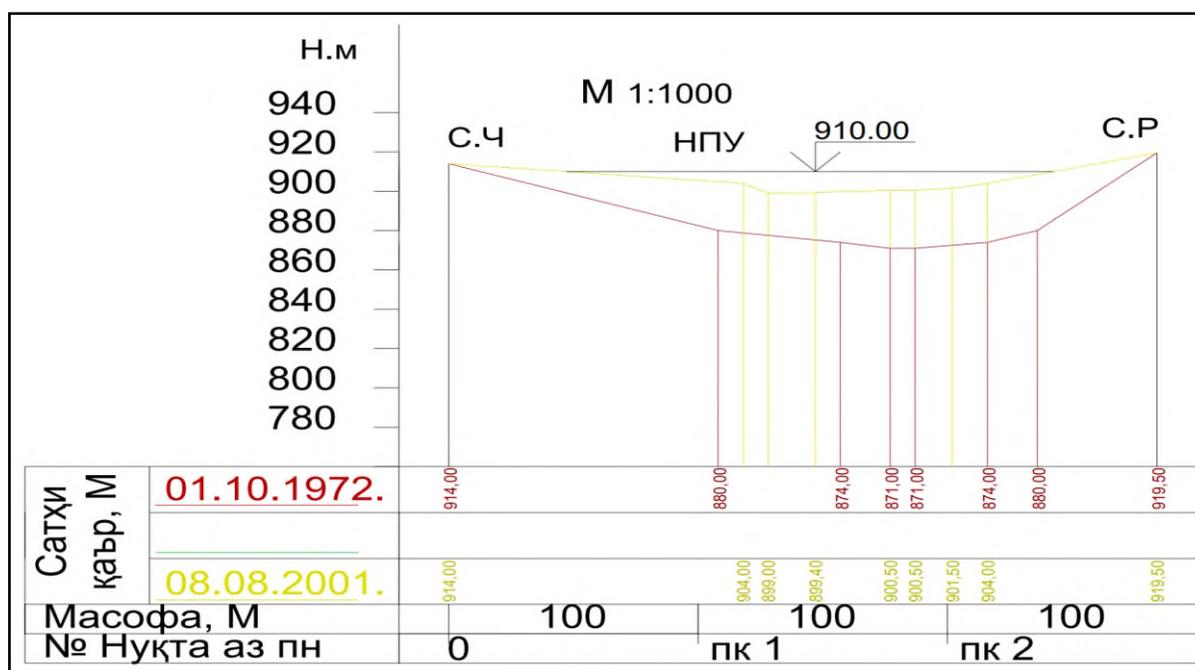
Расми 1 - Буриши кундалангии обанбор дар имтидоди ченкунии №1



Расми 2 - Буриши кундалангии обанбор дар имтидоди ченкунии №10



Расми 3 - Буриши кундалангии обанбор дар имтидоди ченкунии №11



Расми 4 – Буриши кундалангии обанбор дар имтидоди ченкунии №21

Бо мақсади баҳодиҳии ҳолати соҳилҳо маводҳои картографӣ бо миқёси М1:25000, ки солҳои 1989, 1994 ва 2001 сабт гардидаанд, истифода бурда шудааст.

#### Натиҷаҳо

Натиҷаи корҳои мушоҳидавии саҳроӣ, ки соли 2001 гузаронида шудааст, бо мақсади аёнсозии мазмуни масъалаи мазкур ба шакли графикаи электронӣ гузаронида, онро бо буришҳои кундалангии ҳамшабеҳ, ки соли 1994 гузаронида шудааст, дар як ҳамвории графикӣ гузоштем (буришҳои кундалангии аз 1 то 18). Илова бар ин дар буришҳои кундалангии аз 1 то 10 натиҷаҳои ченкунии соли 1972- ро низ гузоштем, ки таҷассумкунандаи ҳолати ибтидоии обанбор (минтақаи зеробмонанда) мебошад. Дар буришҳои 11 ва аз 18 то 21 маълумотҳои мушоҳидаҳои соли 1989 низ гузошта шудааст, ки аз харитаҳои топографии соли 1954, ки дар миқёси М1:25000 буд гузоштем. Дар буришҳои кундалангии аз 12 то 17 бошад, маълумотҳои топографии харитаи соли 1964-ро бо меқёси М1:1000000 мавҷуд буд қорқард намуда, дар ҳамвории графикӣ гузоштем.

Пас аз дар як ҳамворӣ бо ҳам якҷо овардани буришҳои кундалангии давраҳои гуногуни мушоҳидаҳои саҳроӣ чунин хулоса намудем:

Ғафсии қабати обовардҳои тақшиншуда дар давраи мушоҳидаҳои солҳои 1994-2001, дар дарозии кафи обанбор нобаробаранд.

Дар буришҳои кундалангии аз 1 то 9 (эҳтимолан 10 низ) ғафсии қабат тақрибан якхела буда, он аз 7 м оғоз ёфта то 10 м мерасад ва дар қитъаҳо назди сарбанд ба 12 м мерасад.

Дар буриши кундалангии 11 зуд ғафсшавии қабат дар давраи солҳои 1994-2001 мушоҳида гардид, яъне пешонаи тақшонӣ бо баландии то 24 м ташаккул намудааст.

Ибтидо аз буриши кундалангии 12 то 17 дар давраи солҳои 1994 ва 2001 обовардҳои тақшиншуда мавқеи аввалаи худро тағйир доданд. Дар баъзе қитъаҳо сатҳи болоии қабати обовардҳо то андозаи 20 м аз сатҳи соли 1994 паст фаромадааст, ки ин нишондиҳанда хеле шубҳасовар аст. Аз ҳамин лиҳоз бо назардошти хуб набудани вазъи сиёсӣ дар ҷумҳурии соли 1994 ва гузаронидани мушоҳидаҳо дар ҳолати хеле мураккаб махсусан дар минтақаи ҷойгиршавии обанбор, шояд дар қорҳои ченкунӣ низ ба хатоӣҳо дида шаванд.

Дар имтидодҳои буришҳои кундалангии 19, 20 ва 21, дар таққоти соли 1994 қорҳои мушоҳидавӣ гузаронида нашудаанд ва дар вақти ҳисоби ҳаҷми обовардҳо ворид гардида, дар давраи солҳои 1994-2001 дар ин буришҳо, шартан ғафсии қабати ҳамшабеҳ яъне буриши кундалангии 18 -ро қабул намудем.

Ҳаҷми умумии обовардҳои тақшиншуда дар обанбор дар давраи солҳои 1994-2001 ба  $V_0=0.4893 \text{ км}^3$ , ки ба камшавии ҳаҷми қобили истифодаи обанбор оварда расонидааст.

Дар давраи солҳои 1994-2001 аз ғунҷоиши ғайриқобили истифода дар ҳаҷми  $V_{o. \text{ғқ}}=0,422 \text{ км}^3$  ва аз ғунҷоиши қобили истифода бошад дар ҳаҷми  $V_{o. \text{қ}}=0,0673 \text{ км}^3$ .

Дар зери таъсири суръати бо мавқеи худро тағйир доданд маҷмуан  $V_{\text{мт}}=0,2973 \text{ км}^3$  аз он ҷумла аз ҳисоби ҳаҷми қобили истифода  $V_{o. \text{қ}}=0,196 \text{ км}^3$ .

Бо назардошти далелҳои дар боло овардашуда, таҳлили тақшинии обовардҳо аз давраи пуркунии обанбор яъне давраи солҳои 1972-2001 гузаронида шуд. Дар ин давра дар қисмати поёнии обанбор дар қитъаҳои буришҳои кундалангии аз 1 то 9 обовардҳо бо ғафсии якхелаи аз 57 то 70 м хобидаанд, ки сатҳи ҳамворро дар қарр ташкил медиҳанд. Дар минтақаҳои назди сарбанд буришҳои кундалангии аз 1 то 3 баландии он то таррози 737,5 м баланд баромадааст.

Дар давраи солҳои 1972 то 2001 қисми асосии ҳаҷми обовардҳои дар қисмати мобайнии обанбор аз буриши кундалангии 5 то 14 тақшин гардидааст. Ғафстарин қабати тақшиншудаи обовардҳо дар миқёси буришҳои кундалангии 10-16 мушоҳида гардид. Масоҳати майдони лоиқабандӣ гардида, дар буриши кундалангии 11 то 94269 м<sup>2</sup> мерасад.

Дар қитъаи байни буришҳои кундалангии аз 1 то 12, ки дарозии умумии он 31,6 км мебошад, сатҳи болоии обовардҳои тақшиншуда пасттар аз сатҳи ҳаҷми ғайриқобили истифодаи обанбор қарор дорад. Ибтидо аз буриши кундалангии 12 то ба охири обанбор зина ба зина тақшиншавӣ ба ҳаҷми қобили истифодаи обанбор меварад.

Ҳаҷми умумии маводҳои тақшиншуда дар давраи солҳои 1972-2001 ба  $V_0=2,0066 \text{ км}^3$  баробар аст, ки аз ғунҷоиши умумии обанборро  $V_y=10,5 \text{ км}^3$  лоиҳавӣ то  $V_b=8,5439 \text{ км}^3$  воқеӣ дар соли 2001 оварда расонидааст (бо назардошти шусташавӣ ба ҳавзаи поёнӣ  $V_{\text{ш}}=0,0505 \text{ км}^3$ ).

Дар ҳудуди ҳаҷми ғайриқобили истифода яъне поён аз таррози 857,0 м ҳаҷми маҳсулоти тақшиншуда ба  $V=1,8 \text{ км}^3$  баробар буда, ин нишондиҳанда дар ҳаҷми қобили истифода  $V=0,2066 \text{ км}^3$  баробар аст.

Дар қадвали 1 ғафсии қабати маводҳои тақшиншуда дар обанбори Норак дар давраи солҳои 1972-2001 ва 1994-2001 оварда шудааст, ки имкони бевосита тафсир кардани суръати раванди лоиқабандиро дар обанбор фароҳам меорад.

Ҷадвали 1 - Нишондиҳандаҳои ғафсии қабати маводҳои таҳшиншудаи обанбори Норақ дар давраи солҳои 1972-2001 ва 1994-2001

№№ Буришҳои кундалангӣ	Нуқтаи пасттарини қабри обанбор, м			Ғафсии қабати обовардҳо дар давраҳои, h, м	
	лоихавӣ	1994 г.	2001 г.	1972-2001	1994-2001 гг.
1	664,30	725,5	737,50	73,2	12
2	670,14	730,3	737,50	67,36	7,2
3	672,14	730,0	737,50	65,36	7,5
4	676,14	730,5	738,00	61,86	7,5
5	678,14	729,5	739,50	61,36	10,0
6	681,14	730,2	740,90	59,76	10,7
7	685,64	734,2	741,20	55,56	7,0
8	687,57	740,2	749,50	61,93	9,3
9	693,62	752,2	757,40	63,78	5,2
10	706,68	780,3	776,40	69,72	-3,9
11	722,70	813,3	832,4	109,7	19,1
12	759,00	872,2	858,30	99,3	-13,9
13	771,00	871,5	862,00	91	-9,5
14	799,00	880,1	862,00	63	-18,1
15	808,00	881,0	868,50	60,5	-12,5
16	818,00	882,5	876,30	58,3	-6,2
17	830,00	885,0	875,30	45,3	-9,7
18	831,00	878,0	885,10	54,1	7,1
19	833,00	Чен карда нашудааст	888,90	55,9	қиёсан 7,3
20	852,00	Чен карда нашудааст	896,80	44,8	қиёсан 5,9
21	871,00	Чен карда нашудааст	899,00	28,0	қиёсан 3,67

Натиҷаҳо

Барои муайян намудани ҳаҷми маводҳои такшингардида дар обанбори Норақ то ҳолати 2001, нишондодҳои 21 буришҳои кундалангиро таҳлил намудем, ки ин имтидодҳо баёнгари тамоми падидаҳои вобаста ба обовардҳоро дар давраи солҳои 1972-2001 таҷассум менамояд.

Ҳангоми лоиҳавии обанбори Норақ дар асоси майдони планиметрии уфуқии ҷаритаи миқёскалони М1:25000 бо зина ба зина зарбшавии дар масофаи байни уфуқҳо сохта шудааст. Натиҷаи ин ҳисобкунӣҳо ҳамчун нишондиҳандаи ибтидоӣ қабул менамоем. Ҳаҷми ҳар як буришҳои кундалангиро ба воситаи муайянсозии масоҳати буриши кундалангӣ ва масофаи байни онҳо бо ҳамгироии зарби муқарраркунанда дар амудҳои гуногуни пурсозии обанбор, ки ба воситаи боҳамгузори қачхатаҳои ҳаҷми амудҳои ҳисобӣ ва буришҳои кундалангӣ муайян гардидааст, ҳисоб менамоем.

Барои обанбори Норақ зарби гузариш дар ҳудуди аз 0,95 то 1,28 тағйир меёбад.

Мушоҳидаҳои соли 2001 дар буришҳои кундалангии имтидодҳои обанбори Норақ гузаронида шуд чунин тафсириро аён намуд:

Ҳаҷми умумии маводҳои такшонӣ дар обанбори Норақ аз ибтидо (соли 1972) то давраи мушоҳидаҳои соли 2001 ба 2,0066 км<sup>3</sup> баробар мебошад.

Ҳаҷме, ки аз ҳисоби шусташавии соҳилҳои ҳудуди обанбор ба обанбор ворид гардидааст 0,0505 км<sup>3</sup> ташкил медиҳад.

Ҳунҷоиши умумии обанбор ба ҳолати соли 2001 ба:

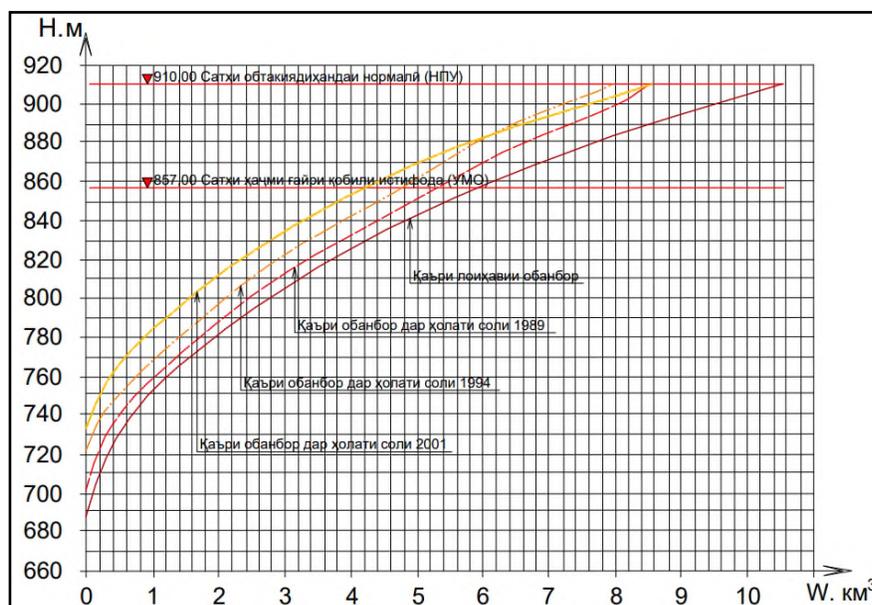
$$V_B = 10,5 - 2,0066 + 0,0505 = 8,4429 \text{ км}^3,$$

Яъне ҳаҷми обанбор то ҳолати соли 2001 ба миқдори 1,9561 км<sup>3</sup> кам гардидааст.

Бо ҳамин тартиб буришҳои кундалангиро таҳлил намуда, қачхатаи ҳаҷми обанбори Норахро таҳия намудем, ки ҳолати зерини ҳунҷоиши обанборро дар соли 2001 инъикос менамояд.

Ҷадвали 2 - Ҳунҷоиши обанбор, км<sup>3</sup>

Таррозо, м	Ҳунҷоиши лоиҳавӣ	Ҳунҷоиш дар ҳолати соли 1989	Ҳунҷоиш дар ҳолати соли 1994	Ҳунҷоиш дар ҳолати соли 2001
645	0	0	0	0
680	0,0147	0	0	0
700	0,0977	0	0	0
720	0,32	0,169	0	0
740	0,68	0,471	0,255	0,0696
760	1,22	1,027	0,75	0,355
780	1,91	1,7	1,41	0,8444
800	2,724	2,45	2,09	1,5788
820	3,7	3,35	2,92	2,3518
840	4,84	4,36	3,86	3,244
860	6,17	5,45	4,92	4,393
880	7,72	6,63	6,025	5,8325
900	9,464	8,01	7,295	7,5274
910	10,5	8,66	7,965	8,5439



Расми 5 - Қачхатаҳои ҳунҷоиши обанбори Норақ вобаста ба давраҳои фаъолият

## Хулоса

Мақсади гузошташудаи мавзуи тадқиқот пурра иҷро гардида, аз рӯи натиҷаҳои бадастомада чунин хулоса намудан мумкин аст:

Ғунҷоиши обанбор аз ҳисоби таҳшиншавии обовардҳои омехта ва қабри, инчунин шусташавии соҳилҳо дар давраи солҳои 1972-2001 дар ҳаҷми 1,9561 км<sup>3</sup> кам гардида, иқтидори вай аз 10,5 км<sup>3</sup> лоиҳавӣ ба 8,5439 км<sup>3</sup> расидааст;

Дар давраи солҳои 1972-2001 обанбори Норақ дар ҳудуди ҳаҷми ғайриқобили истифода яъне поён аз таррози 857,0 м дар ҳаҷми 1,7495 км<sup>3</sup> маводҳои обоварди таҳшин гардидааст, дар қисмати ҳаҷми қобили истифода бошад ҳудуди 0,2066 км<sup>3</sup> мавод таҳшин гардидааст;

Дар ҳолати соли 2001 ҳаҷми қобили истифодаи обанбор 4,324 км<sup>3</sup> ташкил дода, ин нишондиҳанда дар ҳаҷми ғайриқобили истифода ба 4,22 км<sup>3</sup> баробар аст, ки дар умум ғунҷоиши обанбор ба 8,5439 км<sup>3</sup> рост меояд.

Пешниҳод: Иқдоми пешгирифтаи роҳбарияти олии кишвар дар самти сохтмони обгиреҳи Роғун муҳим ва саривақти буда, мебояд суърати сохтмонро тезонид то дар наздиктарин муҳлатҳо раванди пурсозии обанбори онро дар сурати том оғоз намуда, бо ин васила обанбори Норақро аз падидаи пуршавӣ, ки обанборро аз тавони идорасозии мавсимӣ маҳрум месозад, наҷот дод.

## Адабиёт:

1. База данных: Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан (Таджикгидромет).
2. Гидрологические условия. Климат. Режим реки в проектных условиях. Средазгидропроект, Ташкент, 1978 г.
3. Гидрологический очерк и режим реки в проектных условиях. Средазгидропроект, Ташкент, 1963 г.
4. Нурекская ГЭС на р. Вахш. Технический проект. Том 1, Книга 2.
5. Нурекская ГЭС на р.Вахш. Натурные наблюдения. Технический отчет о инженерно-гидрологических работах на водохранилище Нурекской ГЭС за 1973- 1975 гг. Средазгидропроект, Ташкент.
6. Нурекская ГЭС. Внестадийно. Уточнение емкости Нурекского водохранилища. СП КИЭ-3. Роғун, 1995 г.
7. Обиджони Ш.К. Оценка заиления Нурекского водохранилища и совершенствование методов его предотвращения: дис. ... канд. техн. наук. Душанбе, 2019.
8. Отчет по теме: «Выполнение камеральных работ по инженерной гидрологии Нурекского водохранилища». Таджикский государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидроэнергопроект». Душанбе, 2001 г.
9. Роғунская ГЭС. Технический отчет. Инженерно-гидрологические натурные наблюдения на водохранилище Нурекской ГЭС за 1977-78г.г.
10. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании, водохранилищ. Л., Гидрометеиздат, 1984 г.
11. Шерышева Н.Г., Ракитина Т.А., Поветкина Л.П.\* Условия формирования гранулометрического состава иловых отложений на территории национального парка «самарская лука» © 2009

**Маълумот дар бораи муаллиф:** Обидҷони Шаҳобиддини Қуватзода, номзади илмҳои техникӣ, муовини ректор оид ба илм, инноватсия ва рабобити хоричии Донишқадаи энергетикӣи Тоҷикистон. Тел: (+992) 985303010; e-mail: obidjon.sh@mail.ru

**Сведения об авторе:** Обидҷони Шаҳобиддини Қуватзода, кандидат техникӣи ҷиҳтҳои илмӣ, проректор по науке, инновации и международным отношениям Института энергетикӣи Таджикистана. Тел: (+992) 985303010; e-mail: obidjon.sh@mail.ru

**About the author:** Obidjoni Shakhobiddini Kuvatzoda, Candidate of Technical Sciences, Vice-Rector for Science, Innovation and International Relations Institute of Energy of Tajikistan. obidjon.sh@mail.ru, Tajikistan, r. Kushanian, Institute of Energy of Tajikistan. Тел: (+992) 985303010; e-mail: [obidjon.sh@mail.ru](mailto:obidjon.sh@mail.ru)

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

УДК 539.219.3

### АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АБ1 (Al+1%Be), ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЕМ

Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Сафаров А.М.

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

Приведены результаты исследования анодного поведения сплава АБ1, легированного индием, в среде электролита NaCl. Показано, что добавки индия (0.01-0.5 мас.%) улучшают коррозионную стойкость исходного сплава АБ1 в 1.5-3 раза.

**Ключевые слова:** сплав АБ1, индий, анодное поведение, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, потенциалы питтингообразования и репассивации, скорость коррозии.

### РАФТОРИ АНОДИИ ХУЛАИ АЛЮМИНИИ АБ1 (Al+1%Be) БО ИНДИЙ ҶАВҲАРОНИДАШУДА

Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Сафаров А.М.

Натиҷаҳои омӯзиши рафтори анодикии ҳулаи АБ1, ки бо индий дар муҳити электролити NaCl омехта шудаанд, оварда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои индий (0,01-0,5 вазн) тобоварӣ ба зангзани хулаи алии АБ1-ро 1,5-3 маротиба бехтар мекунад.

**Калимаҳои калидӣ:** ҳулаи АБ1, индий, рафтори анодӣ, усули потенциостатикӣ, потенциалҳои зангзани озод, потенциалҳои шакли питтингӣ ва репассиватсия, суръати зангзанӣ.

### ANODIC BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOY AB1 (Al+1%Be) DOPED WITH INDIUM

Ismonov R.D., Ganiev I.N., Odinzoda H.O., Safarov A.M.

The results of the study of the anodic behavior of the indium-doped Al alloy in the medium of the NaCl electrolyte are presented. It is shown that indium additives (0.01-0.5 wt.%) improve the corrosion resistance of the initial alloy AB1 by 1.5-3 times.

**Key words:** AB1 alloy, indium, anodic behavior, potentiostatic method, free corrosion potentials, pitting formation and repassivation potentials, corrosion rate.

### Введение

Коррозионная стойкость двойных сплавов системы Al-Be мало отличается от коррозионной стойкости чистого алюминия, однако, покрытый бериллием алюминий имеет более высокую коррозионную стойкость в каустической соде и в морской воде. Бериллий практически не оказывает модифицирующего влияния на алюминиевые сплавы. Он повышает температуру рекристаллизации чистого алюминия с ограниченной степенью нагартовки, но понижает температуру рекристаллизации технического алюминия, примерно на 20-30°C после деформации на 90% [1].

Алюминиево-бериллиевые сплавы благодаря достаточной прочности, малой способности к рассеянию и почти аморфной структуре применяются для изготовления реплик в электронной микроскопии. Бериллий оказывает заметное влияние на предел прочности, увеличивая его на 10-30%, делая его более стабильным, и более значительно увеличивает относительное удлинение сплава при комнатной температуре (на 100% и более) [2].

Цель работы заключается в исследовании влияния добавок индия на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АБ1 в среде электролита NaCl различной концентрации.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для изучения электрохимических свойств тройных сплавов применяли потенциостатический метод исследования. Сплавы для коррозионно-электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ с использованием алюминиевых лигатур. Сплав АБ1 содержал 0,01-0,5 мас.% индия.

Исследование коррозионно-электрохимического поведения алюминиево-бериллиевого сплава марки АБ1, легированного индием, проводилось в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03 и 3% при скорости развёртки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.1 по методикам, описанным в работах [3-10].

При электрохимических испытаниях образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала установившегося при погружении электрода в исследуемый раствор ( $E_{св.к}$  – потенциал свободной коррозии или стационарный), при котором происходит резкое возрастание тока (Рисунок.1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала -1.2 В, в результате чего происходило подщелачивание при электродном слое поверхности сплава (Рисунок.1, кривые II и III). Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (Рисунок.1, кривая IV), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируются потенциалы коррозии и питтингообразования. Потенциал репассивации ( $E_{р.п}$ ) определяли по пересечению кривых I и II.

Скорость коррозии (K), основной показатель коррозионной устойчивости, рассчитывалась по формуле:  $K = i_{кор} \cdot k$ , где  $k = 0,335$  г/А·час для алюминия с учетом тафелевской касательной  $b_k = 0,12$  В.

Графическое изображение методики снятия поляризационных кривых показано на рисунке 1 на примере исходного сплава АБ1 в среде электролита 3%-ного NaCl.

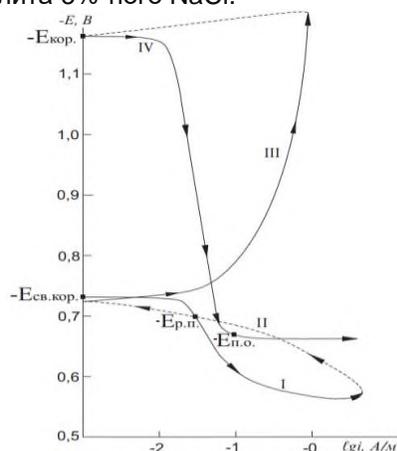


Рисунок. 1- Полная поляризационная кривая (2мВ/с) сплава АБ1 в среде электролита 3%-ного NaCl

Как видно из таблицы 1, с увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплава АБ1, легированного индием, уменьшается, что свидетельствует о снижении коррозионной стойкости сплавов под воздействием хлорид-иона. Сравнивая потенциал свободной коррозии алюминиево-бериллиевого сплава АБ1 и сплавов с добавками индия в средах электролита 0.03 и 3%-ного NaCl, можно отметить, что его значение для исходного сплава АБ1 составляет: -0.560 В; -0.728, а у сплавов с добавками 0.5 мас.% индия оно равняется: -0.468; -0.560 В, соответственно.

Анодные ветви поляризационных кривых сплава АБ1, легированного индием, в среде электролита 0,03% -ного NaCl приведены на рисунке 2. Ход кривых показывает, что с увеличением концентрации третьего компонента (индия) происходит их смещение в положительную область и при этом повышается потенциал питтингообразования у легированных сплавов. Кривые 2 и 3 с добавками 0.01 и 0.05 мас.% индия смещены в область более положительных значений потенциалов по сравнению с кривой 1 для исходного сплава АБ1. Подобная тенденция имеет место и в других исследованных средах (таблица 2).

Таблица 1 – Изменение потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{св.к.к.}$ , В) сплава АБ1, легированного индием, во времени в среде электролита NaCl

Среда, NaCl мас.%	Содержание индия, мас.%	Время, мин.								
		1/5	1/3	2	5	20	30	40	50	60
0,03	-	0.860	0.812	0.708	0.626	0.576	0.565	0.562	0.561	0.560
	0.01	0.780	0.740	0.660	0.592	0.554	0.536	0.520	0.514	0.510
	0.05	0.772	0.738	0.654	0.590	0.550	0.532	0.518	0.510	0.500
	0.1	0.765	0.726	0.648	0.584	0.546	0.531	0.516	0.506	0.495
	0.5	0.750	0.704	0.638	0.580	0.540	0.526	0.510	0.500	0.490
3	-	1.070	1.056	0.940	0.820	0.760	0.746	0.730	0.728	0.728
	0.01	0.940	0.892	0.826	0.735	0.686	0.670	0.658	0.642	0.642
	0.05	0.932	0.885	0.820	0.730	0.682	0.666	0.631	0.632	0.632
	0.1	0.926	0.880	0.810	0.725	0.680	0.660	0.646	0.630	0.626
	0.5	0.920	0.876	0.806	0.720	0.675	0.652	0.640	0.624	0.620

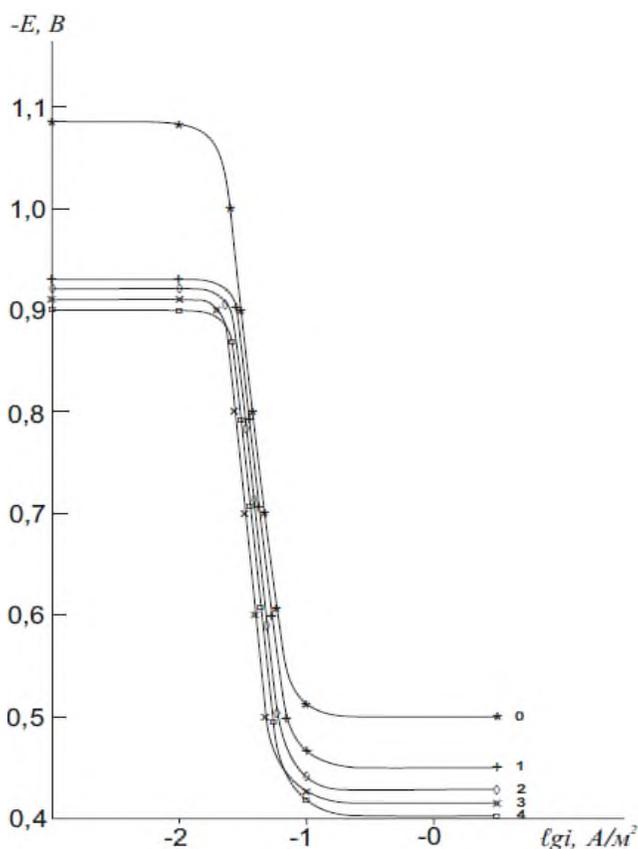


Рисунок 2 – Анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплава АБ1 (0), содержащего индий, мас. %: 0.01 (1); 0.05 (2); 0.1 (3); 0.5 (4), в среде электролита 0,03% -ного NaCl.

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплавов, представленных в таблице 2, свидетельствуют о том, что добавки индия в пределах 0.01 и 0.5 мас. % к исходному сплаву АБ1 в средах электролита NaCl сдвигают потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений и одновременно с этим повышают коррозионную стойкость исходного сплава. Скорость коррозии имеет минимальное значение при легировании исходного сплава АБ1 0.01-0.5 мас. % индия (в 1.5-3 раза меньше по сравнению с исходным сплавом), что является оптимальным в коррозионном отношении (таблица 2).

Таблица 2 – Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АБ1, легированного индием, в среде электролита NaCl

Среда, NaCl мас. %	Содержание индия в сплаве, мас. %	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В			Скорость коррозии	
		-E <sub>корр.</sub>	-E <sub>по.</sub>	-E <sub>реп.</sub>	$i_{корр.} \cdot 10^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}$
					А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> · ч
0,03	-	1.090	0.490	0.540	0.031	10.38
	0.01	0.930	0.440	0.495	0.023	7.70
	0.05	0.920	0.424	0.490	0.021	7.03
	0.1	0.910	0.412	0.484	0.019	6.36
	0.5	0.900	0.400	0.475	0.018	6.03
3	-	1.160	0.670	0.700	0.042	14.07
	0.01	1.100	0.580	0.680	0.038	12.73
	0.05	0.960	0.565	0.670	0.036	12.06
	0.1	0.950	0.540	0.660	0.034	11.40
	0.5	0.940	0.520	0.660	0.033	11.05

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

Что касается алюминийно-бериллиевого сплава АБ1, легированного индием, то результаты, приведённые в таблице 2, показывают, что с увеличением концентрации индия до 0.5 мас. % питтингоустойчивость сплавов увеличивается, о чём свидетельствует смещение потенциала питтингообразования в более положительную область значений.

Таким образом, легирование алюминийного сплава АБ1 индием позволяет рекомендовать его в качестве коррозионноустойчивого сплава (скорость коррозии которой 1.5-3 раза ниже, чем исходный сплав) с оптимальным содержанием индия 0.01÷0.5 мас. %.

## ВЫВОДЫ

Исследованием влияния добавок индия на анодное поведение алюминийного сплава АБ1 показано, что легирование позволяет повысить коррозионную стойкость исходного сплава в 1,5-3 раза в среде электролита NaCl.

Экспериментально показано, что легирование алюминийного сплава АБ1 индием смещает в положительную область значения потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации, что в целом благоприятно влияет на коррозионную устойчивость сплавов.

## Литература

1. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия. 1979. 639 с.
2. Сафаров А.М., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О. Сплавы алюминия с бериллием и РЗМ. Берлин: Изд. дом «LAP LAMBERT Academic Publishing GmdH & Co. KG». 2011. 170 с.
3. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаева Х.О., Сафаров А.М., Махмудов М. Анодное поведение алюминийного сплава АБ1 (Al+1%Be), легированного таллием. - Учёные записки Худжандского государственного университета имени акад. Б. Гафурова №2 (45) 2018. С. 58-63.
4. Сафаров А.М., Ганиев И.Н. Влияние малых добавок циркония и его аналогов на электрохимическое поведение алюминия. - Доклады АН Республики Таджикистан. 2007. т.50. №5. С. 255-261.
5. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АБ1 (Al+1%Be), модифицированного галлием. – Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, ТТУ №3 (53). Душанбе: ТТУ, 2021. С. 31-34.
6. Раджабалиев С.С., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Норова М.Т. Потенциодинамическое исследование сплава Al+2.18%Fe, легированного оловом и висмутом. – Изв. Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технологического университета). 2016. №35 (39). С. 22-25.
7. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М., Курбонова М.З. Влияние содержания галлия, индия и таллия на анодное поведение алюминийного сплава АБ1 (Al+1%Be), в нейтральной среде. – Вестник Сибирского государственного индустриального университета №2 (24), 2018. -С. 22-26.
8. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М., Алиев Ф.А. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций алюминийного сплава АБ1 с таллием. – Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, Том. 78, №2, 2022. -С. 5-9.
9. Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al+2.18%Fe, в нейтральной среде. – Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. №3. (21). С. 40 -44.
10. Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Сафаров А.М., Алиев Ф.А. Влияние добавок индия на коррозионную устойчивость, теплоемкость и изменений термодинамических функции алюминийного сплава АБ1. – Вестник Саратовского государственного технического университета, №3 (94), 2022. -С. 81-91.

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

TJ	RU	EN
<b>Исмонов Рустам Довудович</b>	<b>Исмонов Рустам Довудович</b>	Ismonov Rustam Dovudovich
номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи “Технологияи мошинсозӣ, дастгоҳҳо ва асбобҳои металлбурӣ”	к.т.н., доцент кафедраи «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Technology, Metal-cutting Machine Tools and Tools
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. osimi
: <a href="mailto:ird-78@mail.ru">ird-78@mail.ru</a> Телефон: (+992) 918786898		
TJ	RU	EN
<b>Ганиев Изатулло Наврузович</b>	<b>Ганиев Изатулло Наврузович</b>	Ganiev Izatullo Navruzovich
Академики АМИТ, доктори илмҳои химия, профессори кафедраи “Технологияи истеҳсолоти химиявӣ”	академик Национальной академии наук Таджикистана, д.х.н., профессор кафедраи «Технология химического производства»	Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Production Technology
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> Телефон: (+992) 934884879		
TJ	RU	EN
<b>Одиназода Ҳайдар Одина</b>	<b>Одиназода Ҳайдар Одина</b>	Odinazoda Hydar Odina
Аъзои-корреспонденти АМИТ, доктори фанҳои техникӣ, профессори кафедраи “Масолахшиносӣ, мошинҳо ва таҷҳизоти металлургӣ”	член-корреспондент Национальной академии наук Таджикистана, доктор технических наук, профессор кафедраи «Материаловедение, металлургические машины и оборудования»	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials Science, Metallurgical Machines and Equipment
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:odhaidar@mail.ru">odhaidar@mail.ru</a> Телефон: (+992) 987764444		
TJ	RU	EN
<b>Сафаров Ахрор Мирзоевич</b>	<b>Сафаров Ахрор Мирзоевич</b>	Safarov Akhror Mirzoevich
доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи “Технологияи мошинсозӣ, дастгоҳҳо ва асбобҳои металлбурӣ”	д.т.н., профессор кафедраи «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Technology of Mechanical Engineering, Metal-cutting Machine Tools and Tools"
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:ahrorsafarov1963@mail.ru">ahrorsafarov1963@mail.ru</a> Телефон: (+992) 935350900		

УДК 555.497.622.765.06

**АКТИВАЦИЯ АНТИМОНИТА КАТИОНАМИ СВИНЦА И МЕДИ****Соложенкин<sup>1</sup> П.М., Гадоев<sup>2</sup> С.А.**

1-Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН),

2-Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Катионы тяжелых металлов широко используют для активации сульфидных минералов в процессе их флотации. Процесс активации изучен недостаточно.

Созданы активированные свинцом и медью модели антимонита. Изучен механизм активации антимонита катионами свинца, меди. Методом ЯКР установлен факт поверхностной сорбции свинца при активации  $Sb_2S_3$ , что создает благоприятные условия для взаимодействия с ксантогенатом и гидрофобизации поверхности. Исследуемые собиратели закрепляются более предпочтительно на моделях после активации их свинцом. Катионы меди в отличие от катионов свинца мигрируют в решетку минерала, что создает неблагоприятные условия для взаимодействия с собирателем.

Применяя смесь катионов  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  при флотации сурьмяных руд, можно значительно улучшить охрану окружающей среды. Оптимальное использование  $Zn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  равно 1:1.

Проведено изучение возможности замены свинца смесью цинка и меди.

При применении в качестве активатора свинца или смеси катионов  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  получены практически одинаковые результаты.

**Ключевые слова:** флотация, антимонит, свинец, медь, сульфгидрильные реагенты, молекулярное моделирование.

**ACTIVATION OF ANTIMONITE WITH CATIONS OF LEAD AND COPPER****Solozhenkin P.M., Gadoev S.A.**

Heavy metal cations are widely used to activate sulfide minerals during their flotation. The activation process is not well understood. Antimonite models activated with lead and copper have been created.

The mechanism of antimonite activation by lead and copper cations has been studied. The NQR method established the fact of surface sorption of lead upon activation of  $Sb_2S_3$ , which creates favorable conditions for interaction with xanthate and hydrophobization of the surface. Researched collectors are fixed more preferably on the models after activating them with lead. Copper cations, unlike lead cations, migrate into the mineral lattice, which creates unfavorable conditions for interaction with the collector.

By using a mixture of  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  cations in the flotation of antimony ores, environmental protection can be greatly improved. The optimal use of  $Zn^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  is 1:1.

A study was made of the possibility of replacing lead with a mixture of zinc and copper.

When using lead or a mixture of  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  cations as an activator, practically the same results were obtained.

Keywords: flotation, antimonite, lead, copper sulfhydryl reagents, molecular modeling.

**ФАЪОЛСОЗИИ АНТИМОНИТ БО КАТИОНҲОИ СУРБ ВА МИС****Соложенкин П.М., Гадоев С.А.**

Катионҳои металлҳои вазнин баҳои фаъол кардани минералҳои сулфидӣ ҳангоми флотатсия васеъ истифода мешаванд. Раванди фаъолсозии онҳо то ҳол пурра омӯхта нашудааст.

Моделҳои антимонит, ки бо сурб ва мис фаъол шудаанд, таҳия гардид. Механизми фаъолшавии антимонит тавассути катионҳои сурб ва мис омӯхта шуд. Бо усули NQR далели сорбсияи саҳҳии сурбро ҳангоми фаъол шудани  $Sb_2S_3$  муайян кард, ки ин баҳои таъсири мутақобил бо ксантат ба гидрофобизатсияи саҳҳ, шароити мусоид фароҳам меорад. Коллекторҳои таҳқиқшуда хубтар дар моделҳо пас аз фаъол кардани онҳо бо сурб ҷойгир карда мешаванд. Катионҳои мис бар хилофи катионҳои сурб ба торҳои маъданӣ мекучанд, ки ин баҳои ҳамкорӣ бо коллектор шароити номусоид ба вучуд меорад.

Ба воситаи омехтаи катионҳои  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  дар рафти флотатсияи маъдани сурма, ҳифзи муҳити зист хеле беҳтар мегардад. Истифодаи оптималии  $Zn^{2+}$  ва  $Cu^{2+}$  ба нисбати 1:1 аст.

Имконияти ба ивази сурб истифодаи омехтаи руҳ ва мис тадқиқ карда шуд.

Ҳангоми ба сифати фаъолкунанда истифода бурдани сурб ё омехтаи катионҳои  $Zn^{2+} + Cu^{2+}$  амалан яқхела натиҷаҳо ба даст оварда шуданд.

Калидвожаҳо: флотатсия, антимонит, сурб, реагентҳои сульфгидрилӣ, мис, моделсозии молекулавӣ.

**Введение**

Катионы тяжелых металлов широко используют для активации сульфидных минералов в процессе их флотации. Катионы меди применяют для активации поверхности сфалерита, арсенопирита, пирита при флотации золота, катионы железа для активации кварца [1-2]. Катионы свинца для флотации антимонита и при выщелачивании золота цианистым натрием и т.д. [3-4].

Находит дальнейшее развитие принцип выбора реагентов для флотации различных минералов сурьмы на основе компьютерного моделирования, так как флотация данных минералов имеет теоретическое и практическое значение.

Для установления флотационной способности реагента предложен прогноз оценки активности собирателя (ПОАС) - взаимодействия собирателя с кластером минерала - в виде разницы общей энергии комплекса и суммы энергии кластера и энергии собирателя, определяемого по выражению:  $\Delta E = E_{\text{комплекс}} - (E_{\text{кластера}} + E_{\text{собирателя}})$ , эВ (ПОАС). Чем меньше величина ПОАС, тем более предпочтительно взаимодействие собирателя с кластером минерала. ПОАС хотя и не может служить физико-химической характеристикой состояния флотируемой частицы «в целом», но позволяет сделать ряд весьма важных выводов.

### Материалы и методика исследования

Современные способы построения объемных моделей минералов и реагентов реализованы в программе ChemBio 3D специализированного комплекса ChemOffice Cambridge Soft, а также модуля MOPAC 2016 в вакууме [5-6]. Данные получены после молекулярной минимизации MM 2 с использованием расчетов по PM 7.

Предложена методика создания флотационных комплексов, включающая кластер минерала и связанные с атомом (атомами) минералов различные сульфидрильные собиратели (композиты). Эти реакции впервые позволили создать комплекс, практически подобный соединению при закреплении собирателя на поверхности минерала в процессе реальной флотации.

Соли свинца являются лучшими активаторами антимонита при его флотации ксантогенатом. Например, извлечение золота в концентрат межцикловой флотации в промышленных условиях при работе на продукте Au-Sb руды составляет: 41,26% при подаче медного купороса; 42,13% при подаче азотнокислого свинца [7]. Извлечение сурьмы в концентрат межцикловой флотации при работе на продукте Au-Sb руды составляет: 18,46% при подаче медного купороса; 78,03% при подаче азотнокислого свинца.

Подача азотнокислого свинца способствует увеличению извлечения сурьмы в сравнении с режимом при подаче медного купороса на 59,57% при обогащении золото-сурьмяной руды. При флотации руды получено извлечение в концентрат Au 83,96; Sb 96,5 и As 89,46%.

### Об активации сульфидов сурьмы катионами металлов

Установлено, что катионы меди в отличие от катионов свинца мигрируют в глубь решетки минерала, что создает неблагоприятные условия для взаимодействия с собирателем. Специфичность антимонита в отношении сорбции катионов тяжелых металлов объясняется их высоким сродством к сере [3,8-9].

Физический смысл взаимодействия заключается в переносе заряда от атома полупроводника к атому примеси. Общим итогом является увеличение концентрации носителей тока и, как следствие, наиболее существенное изменение релаксации, параметра  $T_2$  ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). Известно, что смесь  $\text{Cu}^{2+}$  создает парамагнитные центры, которые обычно сильно ускоряют ядерную спин-решеточную релаксацию. В то же время на антимоните, обработанном  $\text{Cu}^{2+}$ , не замечено изменение времени релаксации  $T_2$  от этого фактора. Тем самым подтверждается вывод, что в процессе хемосорбции на антимоните двухвалентная медь восстанавливается до одновалентной. Заряды на атомах свинца значительно выше, чем на атомах меди. Возможно, этим и объясняется более распространенное использование свинца в качестве активаторов минералов сурьмы, чем меди. Общая энергия для активированного медью антимонита больше (-0.4979 кал/моль), чем для активированного свинцом антимонита (-1.2037 кал/моль). Предпочтительно антимонит будет взаимодействовать с катионами свинца.

Были построены комплексы сурьмы с сульфидрильными и смешанными собирателями при последовательном замещении одной молекулы собирателя другой.

Ксантогенаты свинца (1, 2) и меди (3, 4) показаны в табл. 1. и их компьютерные параметры.

Таблица 1 – Компьютерные параметры ксантогенатов свинца (1, 2) и меди (3, 4)

Параметры	Соединения			
	Pb(ButylKx) <sub>2</sub> * бидентатное Итерация 548 (1)	Pb(ButylKx) <sub>2</sub> Итерация 79 (2)	(CuButylKx)* бидентатное Итерация 2 (3)	(CuButylKx) Итерация 233 (4)
Растяжение валентных связей	41.7297	0.9379	18.7429	0.4526
Изгиб валентных углов	<b>318.8109</b>	<b>2.4710</b>	<b>131.0698</b>	1.0837

Поправки изгиб-растяжение	-10.5704	0.3007	-4.9225	0.1415
Внутреннее вращение	-0.7027	-0.3423	0.0072	-0.2274
Не ¼ ван-дер-ваальсовыи взаимодействия	-3.0778	-4.1561	-1.4975	-1.862
¼ ван-дер-ваальсовыи взаимодействия	15.4715	10.4500	4.2150	5.2485
Диполь/дипольное взаимодействие	4.1370	3.1836	1.5318	1.7449
Общая стерическая энергия, ккал/мол	365.7981	12.8447	149.1467	6.5809

### Соединение свинца и меди с сульфгидрильными собирателями и их компьютерные параметры

Комплексы с атомами свинца с сульфгидрильными собирателями А) Монодентатные и бидентатные ксантогенаты свинца  $Pb(ButylKx)_2$

Бидентатные ксантогенаты свинца:

а) Изгиб валентных углов 2.4710, ккал/моль      б) Изгиб валентных углов: 318.8109, ккал/моль

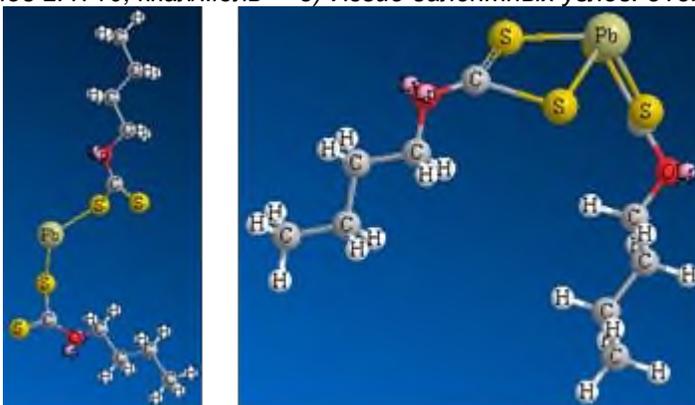


Рисунок 1 – Бутиловый ксантогенат свинца обычной (а) и бидентатной структуры (б) Ксантогенатный комплекс меди

а) Изгиб валентных углов 131.0698, ккал/моль      ПОАС=-4,74404, эВ

б) Изгиб валентных углов: 1.0837, ккал/моль

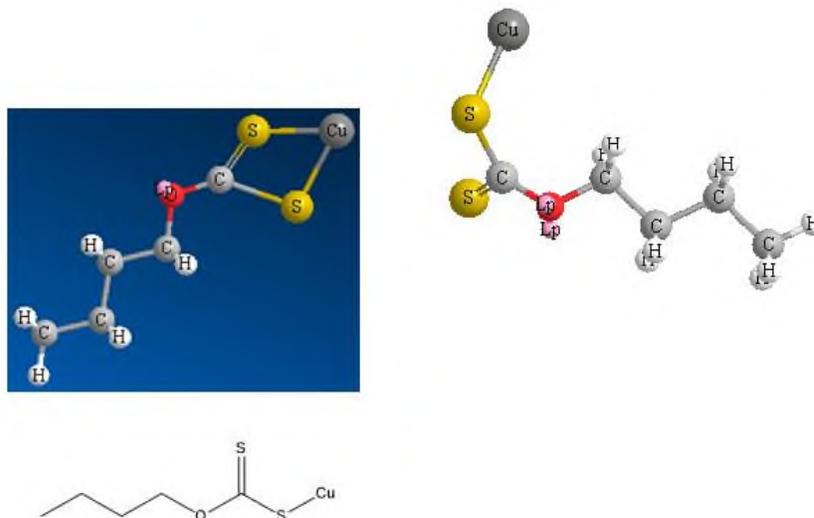
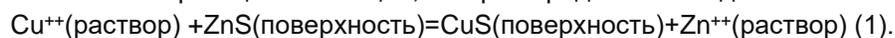


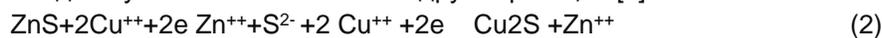
Рисунок 2 – Бутиловый ксантогенат меди а) бидентатной и обычной (б) структуры.

### Методы исследований

Установлена реакция активации, которая предложена Годэном:



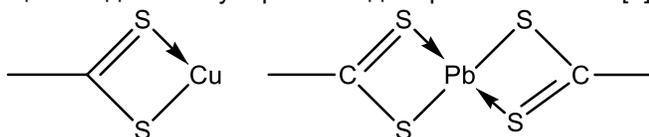
Позднее установлена несколько другая реакция [4]:



при образовании сульфида меди в степени окисления Cu (1).

Механизм активации свинцом антимонита изучен недостаточно.

Коллектив сотрудников Сибирского Федеративного университета под руководством Ю.Л. Михлина выполнил исследования ксантогената меди и свинца с использованием комплекса физико-химических методов [10-12]. Авторы изучили ксантогенат свинца и меди молекулярным моделированием типа [9].



Параметры этих структур при изгибе валентных углов занимают значительную энергию. В случае образования этих структур взаимодействие комплексов будет происходить с большей энергией. Свинец образует хелатный комплекс. На поверхности антимонита образуется гидрофобная поверхность, к которой прикрепляется пузырек воздуха и способствует флотации минералов сурьмы. Величина заряда Pb в соединении больше, чем Cu.

### Комплексы свинца с $\text{PbOH}^+$

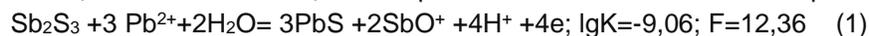
В зависимости от pH свинец может быть представлен в виде:  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{PbOH}^+$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2-}$ ,  $\text{Pb}_3(\text{OH})_4^{2+}$ . Эти соединения могут взаимодействовать с  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

Были выполнены расчеты ПОАС для минералов сурьмы с собирателем.

Установлено, что ПОАС для  $\text{PbOHnX}$  равен -5,21467, эВ, а для  $\text{PbOHnT}$  с практически одинаков -5,05625, эВ.

В случае образования  $\text{PbOH}$  самый минимальный ПОАС. Образование  $\text{PbCO}_3$  более предпочтительно, чем  $\text{PbS}_2\text{O}_3$ . Образование  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  препятствует прикреплению смеси собирателей. Полученные данные соответствуют практики флотации минерала.

Реакцию катионов свинца с поверхностью антимонита можно характеризовать следующим уравнением:



$$\lg [\text{Pb}^{2+}] = 3,02 + 0,66 \lg [\text{SbO}^+] - 0,666 \text{pH} \quad \text{или} \quad (2)$$

$$\text{Sb}_2\text{S}_3 + 3\text{Pb}^{2+} + \text{Sb}_2\text{S}_3 \rightleftharpoons 3\text{PbS} + 2\text{Sb}^{3+}; \quad K_1 \sim 0,33 \cdot 10^{-1} \quad (3)$$

Исследовали влияние катионов металлов на флотацию антимонита.

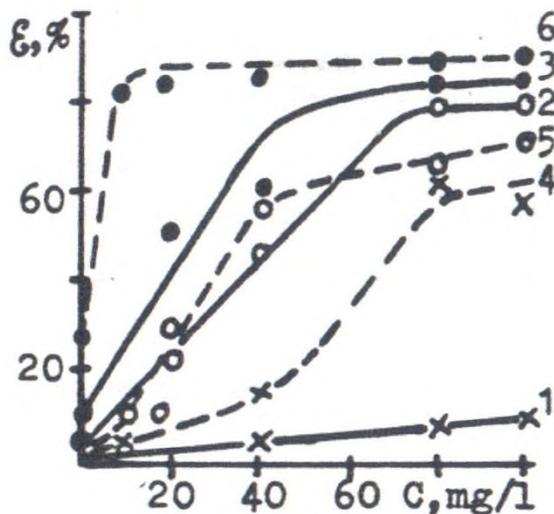


Рисунок 3 – Флотация антимонита ксантогената после активации катионами металлов (мг/дм<sup>3</sup>); 1-Zn(II), 2-Cu(II), 3-Cu(II)+Zn(II), 4-Cd(II), 5-Ag(I), 6-Cd(II)+ Ag(I).

Смесь катионов металлов более активна в качестве активаторов  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , при последовательной подаче катионов металла. Наиболее эффективна смесь Cd+Ag, а также Cu(II)+Zn(II).

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Изучали процесс активации сульфида сурьмы катионами металлов методом ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР)

Данные ЯКР позволяют косвенно судить о характере сорбции (объемной или поверхностной) и диффузии катионов. Поскольку объемная сорбция приводит к более высокой концентрации примесей в окрестностях квадрупольного атома, она должна резко сказаться на параметре спин-спиновой релаксации  $T_2$ . Наибольшее влияние на величину  $T_2$  оказывают катионы  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ag}^+$ , наименьшее –  $\text{Pb}^{2+}$  и ксантогенат.

На основе исследований авторы считают, что миграция исследованных катионов меди в глубь решетки является одной из причин, объясняющих слабую их активационную способность к антимониту по сравнению со свинцом. Добиться повышения показателей флотации можно уменьшением степени миграции катионов в глубь решетки путем последовательной обработки антимонита солями тяжелых металлов. Применяя смесь катионов  $\text{Zn}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$  при флотации сурьмяных руд можно значительно улучшить охрану окружающей среды.

### Замещение сурьмы антимонита катионами свинца

В процессе активации антимонита катионами свинца в виде  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  или  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO})_2$  происходит замещение катионов сурьмы минерала свинцом. При этом замещение возможно двух атомов сурьмы тремя катионами свинца, т.е.  $2\text{Sb} = 3\text{Pb}^{2+}$ . А в случае катионов меди (I) возможно вытеснение тремя катионами меди одного атома сурьмы, т.е.  $\text{Sb} = 3\text{Cu}^+$ .

### Докинг собирателей к активированному антимониту

На рис.4 показан докинг бутилового ксантогената к активированному антимониту  $\text{PbSb}_2\text{S}_2$ , а на рис.5 показан докинг диэтилового дитиокарбамата и бутилового ксантогената к активированному антимониту  $\text{PbSb}_2\text{S}_4$ .

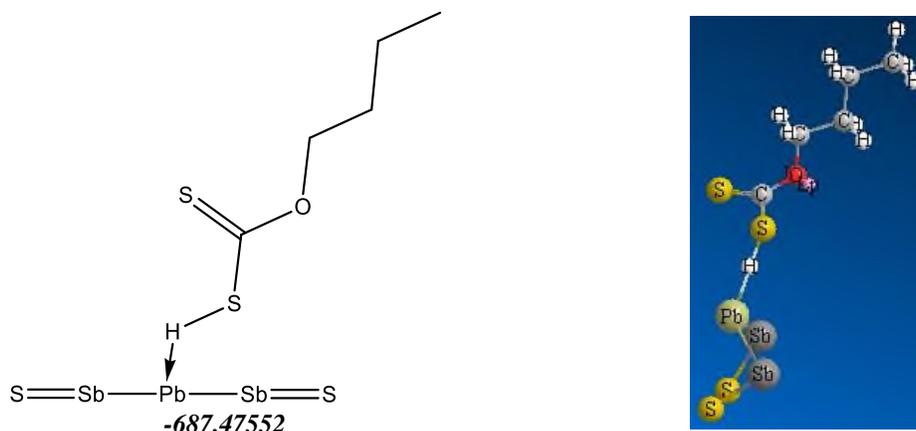
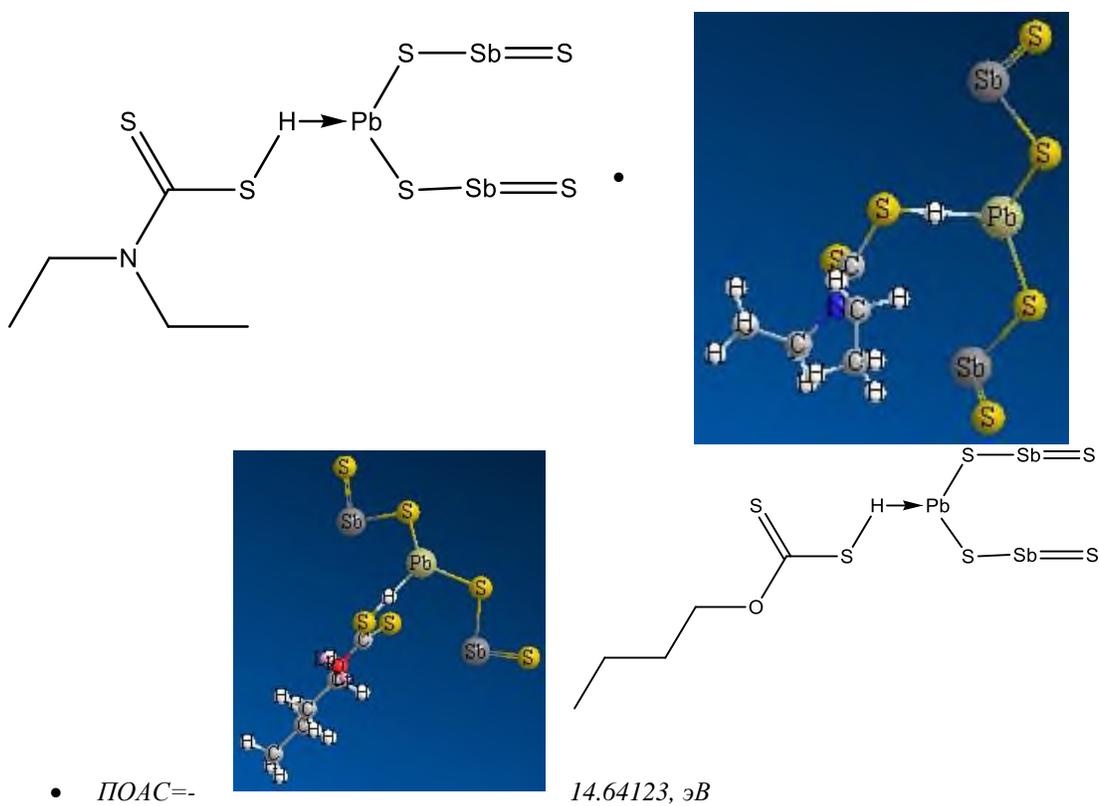


Рисунок 4 – Докинг бутилового ксантогената к активированному антимониту  $PbSb_2S_2$ .



• ПОАС=-

14.64123, эВ

Рисунок 5 – Докинг диэтилового дитиокарбамата и бутилового ксантогената к активированному антимониту  $PbSb_2S_4$ .

В табл.2 представлены расчеты ПОАС для минералов сурьмы с предложенным собирателем.

Таблица 2 – Расчеты ПОАС для  $Sb_2S_3$ ,  $Sb_2OS_2$  с собирателем

Энергия (1)	Комплекс (2)	Минерал (3)	Собиратель (4)	Сумма 4 $\Sigma$ (3+4)	ПОАС, эВ $\Delta E$ (2)-(3+4)
<b><math>Sb_2S_3</math>+ Бутиловая ксантогеновая кислота (БутилКхН)</b>					
	-2176.37078	-777.97117		-2175,669	-0,7017
<b><math>Sb_2S_3</math>+Диметил DTCH</b>					
	-1780.72087	-777.97117	-99099809802	-1768,768,7691	-11,951,9517
<b><math>Sb_2OS_2</math>+ Бутиловая ксантогеновая кислота</b>					
	-2293.79322	-895.67667	-1397,6979	-2293,3735	-0,4197
<b><math>Sb_2OS_2</math>+ Диметил DTCH</b>					
	-1898.43558	-895.67667	-99099809802	-1886,4886,4746	-11,960,9609
<b>PbSb2S4-S(=C) Бутил</b>					
	-2443,47407	-1045,79532	-1383,04752	-2428.84284	-14,6413
<b>ROC=SSPbSS=COR; AprelbutylKxS=StrSPbSStS=ButylKx</b>					
	-2860, 18573; -2858.99958	-90,332	-1383,0475 1383,04752 (-28,76404)	-(2766, 14866) 2856,71662	-3,46911

### Выводы

Наибольшие значения ПОАС для антимонита и кермезита указывают на слабую их флотированность бутилксантогеновой кислотой.

При применении диметилдитиокарбаминовой кислот **ПОАС** для антимонита уменьшается в 17,03 раза, для кермезита в 28,5 раз. Подтверждено, что диметилдитиокарбаминовая кислота способствует повышению извлечения сурьмы.

При оптимальном соотношении для флотации руды Pb(NO<sub>3</sub>)- 50 г/т, бутилового ксантогената –50 г/т, карбамата –MN-150 г/т удалось повысить извлечение сурьмы на 7,6 %.

### Литература

1. Годэн А.М. Флотация. -М.:Госгориздат.1959.-653 с.
2. Совмен В.К., Гусков В.Н., Белый Ф.В., Кузина З.П., Дроздов С.В. др. Переработка золотоносных руд с применением бактериального окисления в условиях Крайнего Севера. Новосибирск : Наука.2007. -144 с.
3. Соложенкин П.М., Зинченко З.А. Обогащение сурьмяных руд.-М..Наука.1985.-181 с.
4. Rao S. Ramachandra. Surface Chemistry of Froth Flotation. V.2: Reagents and Mechanisms. Kluwer Academic / Plenum Publishers.1982.744 P.
5. Molecular Modeling for the Design of Novel Performance Chemicals and Materials, (Ed.) Beena Rai, ISBN: 9781439840788, ISBN 10: 1439840784, Publication Date: March, 2012
6. Solozhenkin P.M. Development of principles of selection of reagent for flotation of antimony and bismuth minerals. Doklady Chemistry.2016.Vol.488, Part.2 pp.57-60.
7. Булгаков С.В., Кузина З.П., Скабин С.В.Флотационное обогащение упорных руд золотосодержащих руд месторождения «Олимпиадинское» с применением бутилового ксантогената и дитиофосфата HOSTAFLOT PEB. XI Конгресс Стран СНГ. Сборник материалов М.: МИСиС 13-15 марта 2017.С314;458 с.
8. Комин М.Ф., Ключарев Д.С., Волкова Н.М. Минерально-сырьевая база сурьмы России: проблемы и решения. Геология и разведка недр.2006. № 9-10. С.26.
9. Anderson C.G. The metallurgy of antimony. Chemie der Erde-Geochemistry. 2012.72 (S 4), pp.3-8.
10. Vorobyev, S; Saikova, S; Novikova. S; [et. al.]. Colloidal and Immobilized Nanoparticles of Lead xanthates. ACS Omega 2019, 4, 11472-11480.
11. Михлин Ю. Л, Воробьев С.Ф., Романенко А.С. и др. Ультрадисперсные частицы в переработке руд цветных и редких металлов Красноярского края: монография; под редакцией Ю. Л. Михлина. Красноярск: Сиб. Федер.ун-т.2016-108 с.80-84С.
12. Mikhlin, Y; [et al.]. Preparation and characterization of colloidal copper xanthate nanoparticles. New J. Chem.2016. V.40 P.3059-3065.

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

TJ	RU	EN
Соложенкин Петр Михайлович	Соложенкин Петр Михайлович	SOLOZHENKIN Petr Mikhaylovich
Доктори илмҳои техники, профессор, корманди хизматнишондодаи илми ФР, академики АМИТ	доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик НАНТ	Doctor of Technical Sciences. Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan
Корманди илмийи пешбари паҷуҳишгоҳи “ИПКОН РАН”	Гл. научный сотрудник ИПКОН РАН	Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences
E-mail: solozhenkin@mail.ru		
TJ	RU	EN
Гадоев Сафаралӣ Айнидинович	Гадоев Сафарали Айнидинович	Gadoev Safarali Ainidinovich
номзади илмҳои техники, дотсент	кандидат технических наук, доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi
E-mail: sgadoev@gmail.com		

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СУРЬМЫ ИЗ СУЛЬФИДНОГО СУРЬМЯНОГО КОНЦЕНТРАТА

Рахимов Х.Ш.

Таджикский горно-металлургический институт

Основная сурьмяная продукция на мировом рынке – сурьмяная руда, сурьмяные концентраты и металлическая сурьма различной степени чистоты (а также химические соединения сурьмы, включая триоксид). Китай, Таджикистан и Россия являются также и основными экспортёрами сурьмяных руд и концентратов. В странах с развитой экономикой, таких как США и Европейский Союз (ЕС), сурьма классифицируется как критическое сырьё. Европейская комиссия (ЕК) классифицировала Sb как критическое сырьё на основании риска поставок и экономической важности в 2011, 2014, 2017 и 2020 годах последовательно. С этой точки зрения исследования по переработке и производству металлической сурьмы в условиях Республики Таджикистан, с учетом наличия крупного промышленного ресурса считаются актуальной темой.

Учитывая обилие запасов металлической сурьмы на территории Республики Таджикистан, их добыча, переработка и эффективное использование имеет большое значение для развития экономики республики. Среди полезных ископаемых Таджикистана сурьма является одним из стратегических и прибыльных металлов горнодобывающей промышленности. В данной научной статье представлена технология переработки сульфидно-сурьмяного концентрата (Sb-49%) с получением металлической сурьмы (98,53%).

**Ключевые слова:** сульфидно-сурьмяной концентрат, переработка, механическая активация, хлорирующий обжиг, гидрометаллургический способ, огарки с содержанием сурьмы, сульфат сурьмы, электролиз сурьмы.

## КОРКАРДИ РАВАНДҲОИ ТЕХНОЛОГИИ ИСТЕҲСОЛИ СУРМАИ МЕТАЛЛИ АЗ КОНЦЕНТРАТИ СУЛФИДИИ СУРМАДОР

Рахимов Ҳ.Ш.

Маҳсулоти асосии сурма дар бозори ҷаҳонӣ маъдани сурма, концентратҳои сурма ва сурмаи металлӣ тозагии гуногун (инчунин пайвастагиҳои химиявии сурма, аз ҷумла триоксиди сурма) мебошанд. Чин, Тоҷикистон ва Русия ҳамчунин содиқунандагонӣ асосии маъдан ва концентратҳои сурма мебошанд. Дар кишварҳои пешрафта, ба монанди ИМА ва Иттиҳоди Аврупо (ИА), сурма ҳамчун ашёи хоми муҳим тасниф карда мешавад. Комиссияи Аврупо Sb-ро дар асоси хавфи таъминот ва аҳамияти иқтисодӣ дар солҳои 2011, 2014, 2017 ва 2020 пайдарпай ҳамчун ашёи хоми муҳим тасниф кардааст. Аз ин лиҳоз тадқиқот дар бораи коркард ва истеҳсоли металлӣ сурма дар шароити Ҷумҳурии Тоҷикистон бо дар назардошти мавҷуд будани захираи бузурги саноати мавзӯи актуалӣ ба ҳисоб меравад.

Бо дарназардошти фаровонии захираҳои сурмаи металлӣ дар қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон истихроҷ, коркард ва истифодаи самараноки онҳо барои рушди иқтисодиёти Ҷумҳурии аҳамияти калон дорад. Дар байни маъданҳои металлҳои рангае, ки дар қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон мавҷуд аст, сурма яке аз металлҳои стратегӣ ва даромадноки саноати маъдан ба шумор меравад. Дар ин мақолаи илмӣ технологияи коркарди концентрати сульфид-сурма (Sb-49%) барои ба даст овардани сурмаи металлӣ (98,53%) маълумоти илмӣ оварда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** концентрати сулфидии сурмадор, фаъолсозии механикӣ, сӯзонидани хлордор, хлориди натрий, усули гидрометаллургия, маҳсулоти сӯхташудани сурмадор, сульфати сурма, электролиз сурма.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE PRODUCTION OF METAL ANTIMONY FROM SULFIDE ANTIMONY CONCENTRATE

Rakhimov H.Sh.

The main antimony products on the world market are antimony ore, antimony concentrates and antimony metal of varying purity (as well as antimony chemical compounds, including antimony trioxide). China, Tajikistan and Russia are also major exporters of antimony ores and concentrates. In advanced economies such as the US and the European Union (EU), antimony is classified as a critical raw material. The European Commission (EC) has classified Sb as a critical raw material based on supply risk and economic importance in 2011, 2014, 2017 and 2020 consecutively. From this point of view, research on the processing and production of metallic antimony in the conditions of the Republic of Tajikistan, taking into account the presence of a large industrial resource, is considered a hot topic.

Given the abundance of metal antimony reserves on the territory of the Republic of Tajikistan, their extraction, processing and efficient use is of great importance for the development of the economy of the republic. Among the minerals of Tajikistan, antimony is one of the strategic and profitable metals of the mining industry. This scientific article presents a technology for processing sulfide-antimony concentrate (Sb-49%) to obtain metallic antimony (98.53%).

**Key words:** antimony sulfide concentrate, processing, mechanical activation, chlorinating roasting, hydrometallurgical method, antimony-containing cinders, antimony sulfate, antimony electrolysis.

### Введение

Сурьма является важным и стратегическим материалом. Мировое годовое потребление первичной сурьмяной продукции в пересчете на металл оценивается в более 120 тыс. т /год.

Обеспечение обильных поставок критически важного сырья является сложной задачей, и это привлекло широкое внимание как развитых, так и развивающихся стран [1]. Внимание уделяется не только из-за их потребности в экономическом производстве, но и из-за их использования в новых технологиях [2]. Сурьма (Sb) является одним из таких интересных металлов, который имеет широкое применение в современных

индустриальных обществах [3]. В 2018 году правительство Соединенных Штатов (США) классифицировало Sb как критическое сырье [4]. С 2016 по 2019 год Китай был основным источником импорта в США, поставляя 46% необработанного металла и порошка Sb и 63% общего количества металлов и оксидов [5]. Кроме того, Европейская комиссия (ЕК) классифицировала Sb как критическое сырье на основании риска поставок и экономической важности в 2011, 2014, 2017 и 2020 годах последовательно. Европейский Союз (ЕС) сильно зависит от импорта (100%) основного источника Sb. Эта огромная зависимость связана с отсутствием в Европе первичных Sb-руд. Турция является основным экспортером руд и концентратов Sb (около 62% от общего объема импорт) в ЕС [6]. Более того, при нынешнем уровне извлечения прогнозируется, что извлекаемые глобальные ресурсы Sb будут исчерпаны к 2050 г. [7]. В мире этот металл производится более чем в 15 странах [7].

Среди полезных ископаемых в Таджикистане сурьма является одним из стратегических и прибыльных металлов горнодобывающей промышленности и относится к группе редких металлов. По прогнозированным мировым запасам сурьмы, Таджикистан занимает лидирующие позиции в мире и Азиатском регионе (примерно 1,8 млн/т) [7].

Особое значение метода хлорирующего обжига для производства сурьмы в Республике Таджикистан обусловлено наличием природных ресурсов: большим запасом местного хлорирующего агента, относительно дешёвой электрической энергией и водой. Также с точки зрения экологии технология является перспективной, что подтверждается это в работе [8]. Летучие хлориды легко удаляются и затем конденсируются. Хлориды, присутствующие в конденсированном состоянии, можно выщелачивать, чтобы отделить их от пустой породы. Вся сера в руде превращается в  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и, таким образом, исключаются дорогостоящие операции по очистке газа [8].

### Экспериментальная часть. Методы и результаты исследования

В данной работе использовался стандартный концентрат сурьмянистый ТУ 3004 РТ 30530698.04.2004 ТА ООО «СП «Анзоб». Для анализа была отобрана проба концентрата и подготовлена в соответствии с общепринятыми требованиями [9]. Марка анализируемого концентрата КСуФ-3, влажность-8,0%. Химический анализ концентрата проводили методом искровой масс-спектрометрии индуктивносвязанной плазмы (ICP-MS) с помощью масс-спектрометра с двойной фокусировкой JMS-BM-2 (Япония) в лаборатории Таджикско-Американского общества с ограниченной ответственностью «СП Анзоб» (Испытательная лаборатория ТА ООО «СП «Анзоб», аккредитованная Агентством СМС и ТИ Аттестат № Т-762.371 00. 04. 0001-2015 от 08.01.2015г.) методов анализа ИПТМ РАН. В результате химического анализа определено следующее количество основных металлов: %: Sb-48,12; Hg-0,58.

Концентрат, измельченный до дисперсности частиц 74 мкм, был механически активирован в центробежной планетарной мельнице ЛАИР-0.015 в ударно-стирающем режиме с центробежным ускорением шаров диаметром ~5мм (сплав ВК-8) ~25г. «Сухое» активирование концентрата проведено в воздушной среде при соотношении массы шаров к концентрату 1050: 50 г. «Мокрое» активирование (измельчение в водной пульпе) проведено при соотношении массы шаров: концентрата: воды, равное 1000:50:50 г., соответственно. Продолжительность процесса механической активации концентрации варьируется от 0,5 до 7 минут.

Эффективность процесса механоактивации определена следующим образом. Активированный концентрат (массой 50 г.), полученный в течение заданного времени, растворяется в водном растворе NaOH (25% масс.) при постоянном перемешивании. Процесс проводится при одинаковых условиях: время-три часа, температура 90°C и при соотношении массы раствора к концентрату, равном 6:1. Содержание сурьмы в растворе определено атомно-абсорбционным методом.

При механоактивации концентрата более двух минут (от 2-х до 3,5 мин.) достигается резкое повышение степени извлечения сурьмы ( $\alpha=22\%$ ) [10].

Процесс хлорирующего обжига механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата с хлоридом натрия проведен на установке (рисунок 2), подробно описанной в работе [11-15].

Процесс обжига полученной смеси проведен при следующих условиях:

- при разных температурах обжига образца в интервале  $T=300\div 700^\circ\text{C}$  (с шагом варьирования  $\Delta T=50^\circ\text{C}$ ) и постоянстве соотношении массы концентрата ( $m_1$ , г) и хлорида натрия ( $m_2$ , г), равное  $m_1/m_2=4/1$  и одинаковой времени ( $t=120$  мин.) выдержки;

- при одинаковой температуре ( $T=450^\circ\text{C}$ ) и постоянстве соотношении компонентов смеси ( $m_1/m_2=4/1$ ), но с разным временем выдержки обжига образца ( $t$ , в минутах) от 30 до 210 мин., с шагом  $\Delta t=30$  мин.;

- при разных соотношениях компонентов смеси ( $m_1/m_2$ ) и постоянстве температуры ( $T=450^\circ\text{C}$ ) и времени выдержки ( $t=120$  мин.).

Фазовый состав конденсированного продукта хлорирующего обжига концентрата установлен методом рентгенофазового анализа (Дрон-3.0 Cu-анод; Ni-фильтр) и состоит в основном из  $\text{SbCl}_3$ -49,55% и  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ -25% масс., которые легко перерабатываются и технологически выгодны. Определён следующий оптимальный режим обжига концентрата  $T = 450^\circ\text{C}$ ,  $t=120$  мин. и 25% NaCl в смеси, позволяющий достичь максимальный переход из сульфидно-сурьмяной в хлоридно-сурьмяную форму.

Для определения химической основы процесс окислительно-хлорирующего обжига сульфидно - сурьмяного концентрата проведён на установке, изображённой на рисунке 1. Процесс обжига проводили в трубчатой печи Nabertherm RT 50-250/11/B410, со штативом для горизонтального и вертикального режима, работающей при температурах до  $1100^\circ\text{C}$ . Окислительно-хлорирующий обжиг сульфидных сурьмяных концентратов отличается от простого хлорирующего обжига конструкцией, обеспечивающей поток воздуха кислорода через камеру.

Обжиг проведён при установленном нами оптимальном режиме. По достижении режима в систему подавался воздух с определенной скоростью 1л/час. Наблюдается выделение соединений сурьмы в виде возгона, состоящего из хлорида ( $\text{SbCl}_3$ ), оксидов ( $\text{Sb}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaSb}_5\text{O}_{13}$ ), оксохлоридов ( $\text{Sb}_3\text{O}_4\text{Cl}$ ) и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , которые осаждаются на холодную часть трубки конденсатора. Конденсат, образующийся в виде золотистых кристаллов, при остывании приобретает темно-зеленый цвет. Газообразные продукты обжига ( $\text{SO}_2$  и другие) улавливаются в абсорберах.

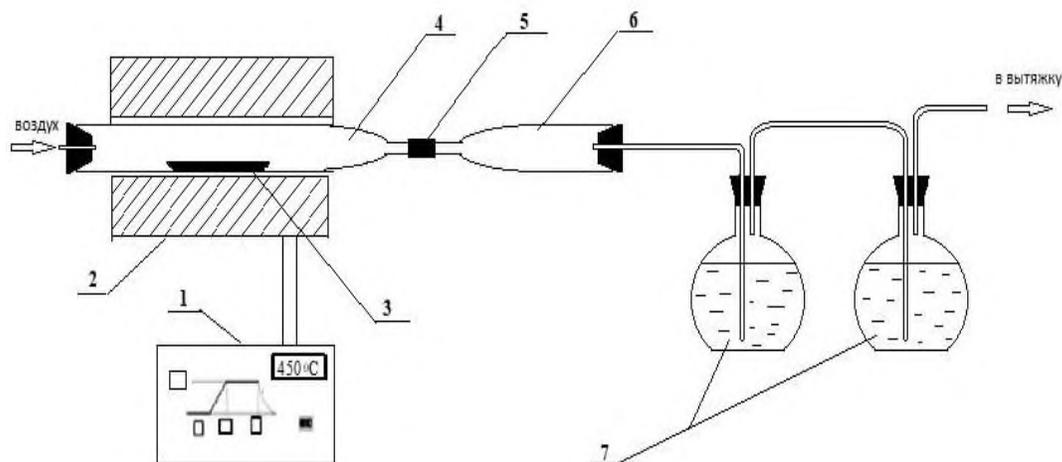
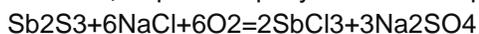


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для окислительно-хлорирующего обжига: 1 - блок управления печи; 2- поворотная трубчатая печь; 3-лоточек с шихтой; 4-реактор для обжига; 5-соединительное устройство; 6- пылеулавливающая камера (конденсатор); 7-абсорберы;

Процесс окислительно-хлорирующего обжига основного компонента  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата в присутствии кислорода воздуха можно выразить уравнением



После процесса хлорирования в качестве основы были сформированы следующие материалы:  $\text{SbCl}_3$ -49,55% и  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ -25% по массе. В то же время было определено, что полученная продукция направляется на гидрометаллургическую переработку. Отмечено, что растворение полученного материала также проводят водой, из-за того, что 25% полученного продукта находится в оксидной форме, которая растворяется в технической серной кислоте.

Твёрдый продукт обжига с содержанием сурьмы растворяется в технической  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (ГОСТ 2184-2013) при условиях, обеспечивающих полное извлечение окисленных соединений сурьмы в раствор:  $[\text{H}_2\text{SO}_4]$ –180 г/л, продолжительность –2 ч, температура -  $80^\circ\text{C}$ , Т: Ж = 1:6, скорость вращения 400-450об/мин. По окончании процесса полученный кек и раствор подвергаются анализу. Цель исследования заключается в определении степени растворения сурьмы и нахождении оптимальной точки прохождения процесса.

Спёк выщелачивался в реакторе, погружённом в ультратермостате UTU2/82. Перемешивание осуществлялось с помощью верхнеприводной мешалки Экрос ПЭ8100. Жидкости перемешивались лопастными мешалками в колбах, стаканах, бутылках и других емкостях.

После достижения требуемой температуры в реакторе, заполненном растворителем (рисунок 2), в него высыпался измельченный спёк. С этого момента отсчитывалось время выщелачивания. Скорость вращения мешалки поддерживалась постоянной и составляла 400-450 об/мин.

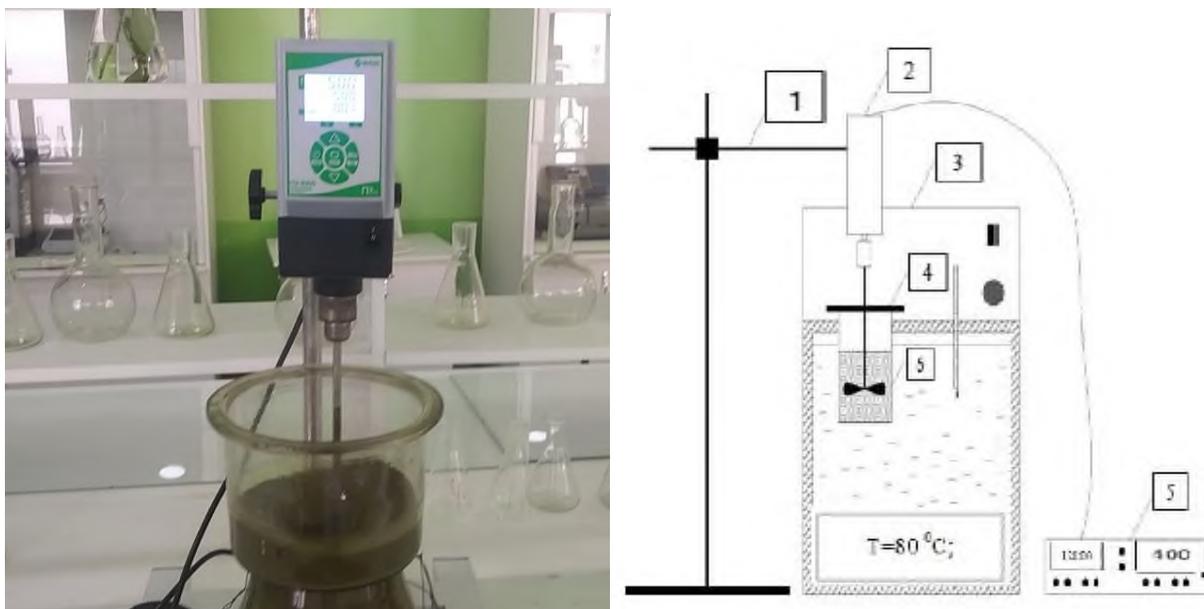


Рисунок 2 - Схема установки для выщелачивания

1 - штатив, 2 - мешалка, 3 - термостат, 4 - диск с прорезью, 5 - блок управления мешалкой, 6 - стакан с пульвы.

Исследование и анализ процесса производства сурьмы электролизным способом с целью определения оптимального его режима, соответствующего наиболее эффективному значению выхода сурьмы путём предварительного её выщелачивания, в результате которого получается раствор сульфата сурьмы  $[Sb_2(SO_4)_3]$ , на основе которого далее производится процесс электролиза.

При исследовании извлечения сурьмы из сульфата сурьмы путём электролиза определена критическая точка режима работы установки, которой соответствуют:

- оптимальное значение плотности катодного тока -  $J_{к0} = 259 \text{ A/m}^2$ ;
- соответствующий выход сурьмы по массе -  $\alpha = 83,7 \%$ ;
- соответствующий выход сурьмы по степени чистоты -  $\beta = 98,2\%$ .

Исследована зависимость степени чистоты выхода сурьмы от температуры при оптимальном значении плотности катодного тока и выявлено, что влияние температуры в пределах от 50 до 75°C на выход сурьмы по чистоте не является существенной (менее 8%). При этом рекомендуется выбрать рабочую температуру электролита исходя из экономических соображений.

Определена наиболее эффективная продолжительность ( $t=120$  мин) извлечения сурьмы при оптимальном значении других параметров электролиза. При этом скорость извлечения по массе -  $M_{\text{вых}}/t = 3,49 \text{ г/мин}$  для заданного объёма электролизной установки.

Лабораторная электролизная установка ЭЗ-10 (6/600), на которой были проведены экспериментальные исследования, состоит из блока питания, измерительных приборов, двух сменяемых электролитических ячеек и комплекта электродов (рис.3).

Основные технические данные:

- \* Вместимость ванн по электролиту, в литрах:
  - ванна №1(однообъемная), 10;
  - ванна №2 (двухобъемная с мембранным разделителем), 10.
- \* Система циркуляции электролита:
  - производительность насоса, л/час-10-30;

- рабочее давление насоса, МПа -0,01-0,02.

\* Источник питания с комплектующими:

-шкаф управления с панелями, кнопками и лампами индикации (1шт);

-соединительные кабели и провода (1 комплект);

- питающее напряжение/мощность установки-380 В (50 Гц) / 4800 Вт

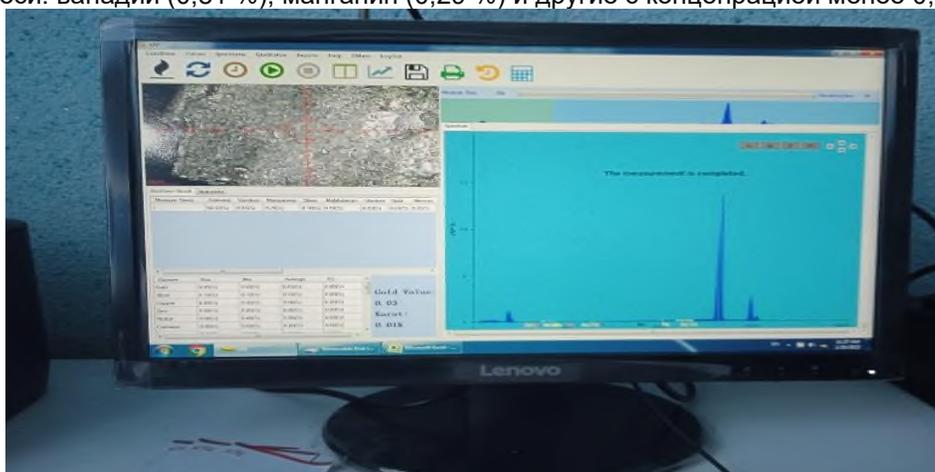
- напряжение/ток источника питания электродов, регулируемые -0...6 В / 0...600 А



Рисунок 3 – Схема лабораторной установки: 1 – блок питания; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – ячейка с электролитом; 5 – стальной анод; 6 – стальной катод.

### Анализ чистоты сурьмы

Анализ выхода сурьмы по степени чистоты для каждого цикла исследований был проведён на рентгенофлуоресцентном анализаторе PFA-DX-2800M. Пример фото спектра анализа сурьмы, полученного при оптимальных параметрах электролиза, приведён на рис.6. Из таблицы видно, что содержимое катодного осадения состоит из 98,53 % сурьмы, что близко маркировке Су2 (98,8%) по ГОСТ 1089 – 73, остальную часть составляют примеси: ванадий (0,81 %), марганец (0,29 %) и другие с концентрацией менее 0,1 %.



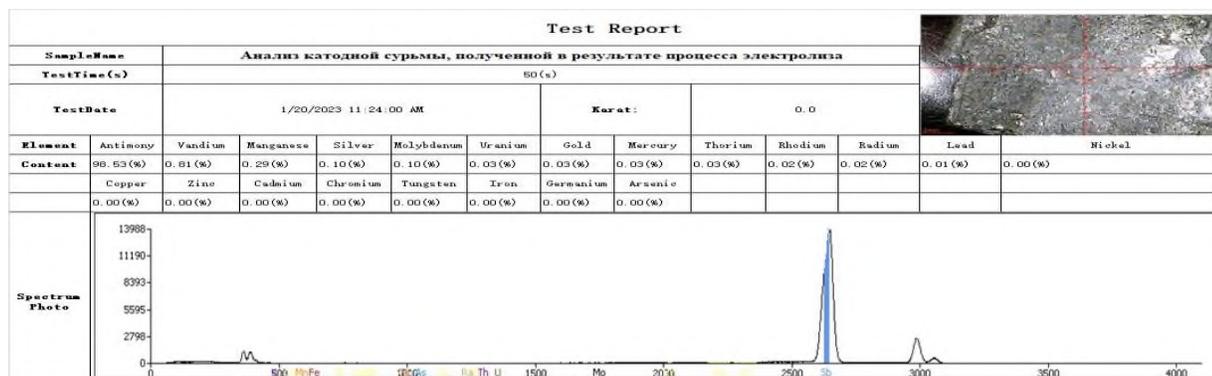


Рисунок 4 - Фото спектры рентгенофлуоресцентного анализатора RFA-DX- 2800M при анализе чистоты сурьмы

Согласно результатам анализа показатель чистоты сурьмы составляет 98,53%. Данное значение по ГОСТ 1089-73 близко к маркировке **Cy2** (Sb-98,8%).

Разработанная принципиальная технологическая схема переработки концентрата сульфида сурьмы в производстве металлической сурьмы приведена на рисунке 5.



Рисунок 5 - Принципиальная технологическая схема.

### Заклучение

Предложенная технологическая схема запатентована [16].

1. Способом предварительной механоактивации можно достичь почти двукратное повышение степени извлечения ( $\alpha_{ак.} = 22.5\%$ ) сурьмы из активированного сульфидно-сурьмяного концентрата по сравнению с неактивированным ( $\alpha_{неак.} = 13.1\%$ ) при одинаковых условиях обработки концентрата.
2. По традиционному способу процесс обжига осуществляется при высоких температурах около  $1100^\circ\text{C}$ , что является энергозатратным. Предложенный нами способ позволяет достичь тех же, даже превосходящих результатов, при низких температурах ( $T=450^\circ\text{C}$ ). В результате исследования продуктов спекания ТА ООО «СП «Анзоб» с хлоридом натрия в интервале температур  $400-450^\circ\text{C}$  установлено, что основные продукты  $\text{SbCl}_3$ ;  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
3. Вышеприведенные исследования показали, что при температуре процесса  $80^\circ\text{C}$  скорость вращения мешалки  $400-450$  об/мин, соотношение твердого вещества к жидкости  $1:8$ , при времени процесса  $t=120$  минут, концентрации  $[\text{H}_2\text{SO}_4]=180$  г/л, технология получения сурьмы является самой эффективной. При этом в маточном растворе сурьма не обнаружена.
4. Процесс извлечения сурьмы из раствора сульфата сурьмы при электролизе, где исходная концентрация сурьмы в растворе составила **83,2%**. Получены компактные осадки на катоде с содержанием сурьмы **98,53%**, который соответствует марке Су2 (Sb-98,8%) с некоторыми примесями. Определены оптимальные электрические, временные и температурные параметры электролиза, соответствующие наиболее эффективному режиму выхода сурьмы как по току, так и по другим параметрам. Дана оценка экономического эффекта по расходу электроэнергии.

### Литература

1. Panda, S., Akcil, A., 2021. Securing supplies of technology critical metals: resource recycling and waste management. Waste Manag. 123, 48–51.
2. BIO by Deloitte, 2015. Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials. Prepared
3. Qin, X., Deng, J., Lai, H., Zhang, X., 2017. Beneficiation of antimony oxide ore: a review. Russ. J. Non-Ferrous Met. 58 (4), 321–329.
4. Perpetua Resources, 2021. ANTIMONY: A Critical Metalloid for Manufacturing, National Defense and the Next Generation of Energy Generation and Storage Technologies., [WWW Document].
5. Mineral Commodity Summaries 2021. US Department of the Interior: U.S. Geological Survey, 200.
6. European Commission, 2020. Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Fan, D., Zhang, T., Ye, J., 2004. The Xikuangshan Sb deposit hosted by the Upper Devonian black shale series, Hunan. China. Ore Geol. Rev. 24 (1-2), 121–133.
7. Anderson, C.G., 2012. The metallurgy of antimony. Chem. Erde 72, 3–8.
8. A. Dahlstedt, S. Seerharaman and K. I. Jacob. Thermodynamics of salt roasting of sulphide ores, Scandinavian Journal of Metallurgy 21 (1992) 242-245
9. (ГОСТ 14180-80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. - Переизд. Июль 1990 с изм. 2. - М.: Издательство стандартов, 1990.)
10. Кодиров А.А., Рахимов Х.Ш., Бадалов А.Б. Механическая активация сульфидно-сурьмяных концентратов. - Докл. НАНТ, №7-8, 2021, с.460-465.
11. Рахимов Х.Ш., Кодиров А.А., Бадалов А.Б. Хлорирующий обжиг механоактивированных сульфидных концентратов сурьмы хлоридом натрия. Докл. НАНТ, 2021, т.64, №9-10, с.583-587.
12. Рахимов Х.Ш. Оптимальные условия процесса хлорирующего обжига механоактивированных сульфидносурьмяных концентратов хлоридом натрия. - Вестник ТТУ. №1(57) 2022, г.Душанбе, с 49-55.
13. Рахимов Х.Ш., Эшов Б.Б., Бадалов А.Б., Разыков З. А. Эффективная технология переработки сульфидно-сурьмяного концентрата хлорирующим обжигом, Горный вестник Узбекистана 2023, № 1.
14. Х.Ш.Рахимов, С.Б.Мирзажанова, Б.А. Бадалов. Термодинамические характеристики процесса обжига механоактивированного сульфидно-сурьмяного концентрата с хлоридом натрия, Узбекский Научно-технический и производственный журнал Композиционные материалы 2023, № 1.
15. Рахимов Х.Ш., Эшов Б.Б., Кодиров А.А., Бадалов А.Б. Переработка золотосодержащего сурьмяно-сульфидного механоактивированного концентрата, Известия высших учебных заведений. Горный журнал 2023, № 2.
16. Рахимов Х.Ш., Кодиров А.А., Бадалов А.С. Способ переработки механоактивированных сульфидных концентратов.- Малый патент №ТJ 1206. 2021, 8с.

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

TJ	RU	EN
Раҳимов Ҳаётқул Шифоқулович	Рахимов Хаёткул Шифокулович	Rakhimov Khayotkul Shifokulovich
Омӯзгори калон	Старший преподаватель	Senior Lecturer
ДҚМТ	ГМИТ	GMIT
<a href="mailto:hayotrahimi95@mail.ru">hayotrahimi95@mail.ru;</a>		

УДК 669.018.8.24/891.892.893

## ВЛИЯНИЕ БЕРИЛЛИЯ, МАГНИЯ И АЛЮМИНИЯ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СВИНЦА В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Умаров М. А.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье приведены результаты исследования влияния добавок бериллия, магния и алюминия (0.01 ÷ 3.0 мас. %) на анодное поведение свинца в среде электролита NaCl. Исследования проведены потенциостатическим способом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с. Показано, что со временем и с ростом концентрации (бериллия, магния и алюминия) в свинце потенциал свободной коррозии сплавов смещается в положительную сторону. Добавка бериллия к свинцу на 10 – 15%, магния на 15 – 20% и алюминия на 20– 25% повышает его коррозионную стойкость. Отмечено увеличение скорости коррозии сплавов независимо от их состава от концентрации NaCl в растворе. Показано, что рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl приводит к снижению величин потенциалов свободной коррозии, репассивации и питтингообразования сплавов.

**Ключевые слова:** свинец, бериллий, магний, алюминий, потенциостатический метод, электрохимическое поведение, электролит NaCl, потенциал свободной коррозии, скорость коррозии.

## EFFECT OF BERYLLIUM, MAGNESIUM, AND ALUMINUM ON THE CORROSION ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF LEAD IN NaCl ELECTROLYTE

Umarov M.A.

The article presents the results of a study of the effect of additions of beryllium, magnesium and aluminum (0.01 ÷ 3.0 wt.%) on the anodic behavior of lead in the NaCl electrolyte medium. The studies were carried out by the potentiostatic method in the potentiodynamic mode with a potential sweep rate of 2 mV/s. It is shown that with time and with an increase in the concentration (beryllium, magnesium and aluminum) in lead, the free corrosion potential of alloys shifts to the positive side. The addition of beryllium to lead by 10–15%, magnesium by 15–20%, and aluminum by 20–25% increases its corrosion resistance. An increase in the corrosion rate of alloys was noted, regardless of their composition from the NaCl concentration in the solution. It is shown that an increase in the concentration of the chloride ion in the NaCl electrolyte leads to a decrease in the potentials of free corrosion, repassivation, and pitting formation of alloys.

**Key words:** lead, beryllium, magnesium, aluminum, potentiostatic method, electrochemical behavior, NaCl electrolyte, free corrosion potential, corrosion rate.

## ТАЪСИРИ БЕРИЛЛИЙ, МАГНИЙ ВА АЛЮМИНИЙ БА ҲОЛАТИ КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ СУРЪ ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl

Умаров М. А.

Дар мақола натиҷаи омӯзиши таъсири иловаҳои бериллий, магний ва алюминий (0,01 ÷ 3,0 ват.%) ба рафтори анодии сурб дар муҳити электролити NaCl оварда шудааст. Тадқиқотҳо бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати потенциалии 2 мВ/с гузаронида шуданд. Нишон дода шудааст, ки бо мурури замон ва зиёд шудани консентратсияи (бериллий, магний ва алюминий) дар сурб потенциали зангзании озоди ҳулаҳо ба тарафи мусбат мегузарад. Илова кардани бериллий ба сурб 10-15%, магний 15-20% ва алюминий 20-25% муқовимат ба зангзании онро зиёд мекунад. Афзоиши суръати зангзании ҳулаҳо, сарфи назар аз таркиби онҳо аз консентратсияи NaCl дар маҳлул қайд карда шуд. Нишон дода шудааст, ки зиёдшавии консентратсияи хлорид -ионҳо дар муҳити электролити NaCl боиси кам шудани потенциали зангзании озод, репассиватсия ва питтингҳосилшавии ҳулаҳо мегардад.

**Калидвожаҳо:** сурб, бериллий, магний, алюминий, усули потенциостатикӣ, рафтори электрохимиявӣ, электролити NaCl, потенциали зангзании озод, суръати зангзанӣ.

### Введение

В последние годы интерес к созданию новых конструкционных материалов, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с традиционными материалами, возрастает. Разработка и изучение свойств новых свинцовых сплавов с участием малоизученных легирующих и модифицирующих добавок, устойчивых к агрессивным средам, являются весьма актуальной задачей [1-2].

Благодаря высокой коррозионной стойкости свинец находит широкое применение в различных отраслях промышленности. В небольших количествах его используют в производстве аккумуляторов и оболочек кабелей. Важными областями применения свинца являются химическая и металлургическая промышленности, где в виде труб и листов применяют для футеровки трубопроводов и различной аппаратуры, работающих в агрессивных средах, а также для изготовления нерастворимых анодов, используемых при электролизе Zn, Cu и др [3-4].

В литературе и в сети интернета нами не обнаружены сведения о влиянии добавки бериллия, магния и алюминия на коррозионное поведение свинца в нейтральной среде NaCl.

Целью настоящей работы является исследование влияния малых добавок бериллия, магния и алюминия на анодное и коррозионное поведение свинца в среде электролита NaCl.

### Материалы и методика исследования

Для приготовления сплавов были использованы: свинец марки С2 (ГОСТ 3778-98), бериллий марки БМ-1 (ГОСТ 23687.2-79), магний марки ХЧ (ТУ-112-40) (металлический, гранулированный) и алюминий А995 (ГОСТ 11069-2001).

Содержание бериллия, магния и алюминия в свинце составило 0.005; 0.01; 0.05; 0.1; 0.5; мас. %. Из полученного расплава отливали цилиндрические образцы диаметром 8 мм и длиной 140 мм в металлический кокиль для исследований электрохимических свойств. При этом торцевая часть образцов использовалась в качестве рабочего электрода.

Состав сплавов контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. Для проведения исследования использовали сплавы, масса которых составляла не менее 2% от массы шихты.

Образцы из сплавов перед исследованием зачищались наждачной бумагой, последовательно переходя от крупного до мелкого (№ 2 – 00). Таким образом, периферийная часть образца, служащая электродом, была подготовлена механической обработкой для испытаний. Для удаления оксидов с поверхности электродов при записи потенциодинамических кривых выполнялась катодная поляризация.

Электрохимическое исследование образцов проводилось на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1 с помощью программатора ПР-8, имеющего возможность автоматической записи в ЛКД-4. Температура раствора поддерживалась постоянной на уровне 25°C, т.е. контролировалась с помощью термостата МЛШ-8. Воспроизводимость результатов на электродах одного и того же состава была в пределах  $\pm 2$  мВ. Электрохимическое исследование сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием проводили по методике, описанной в работах [5-11].

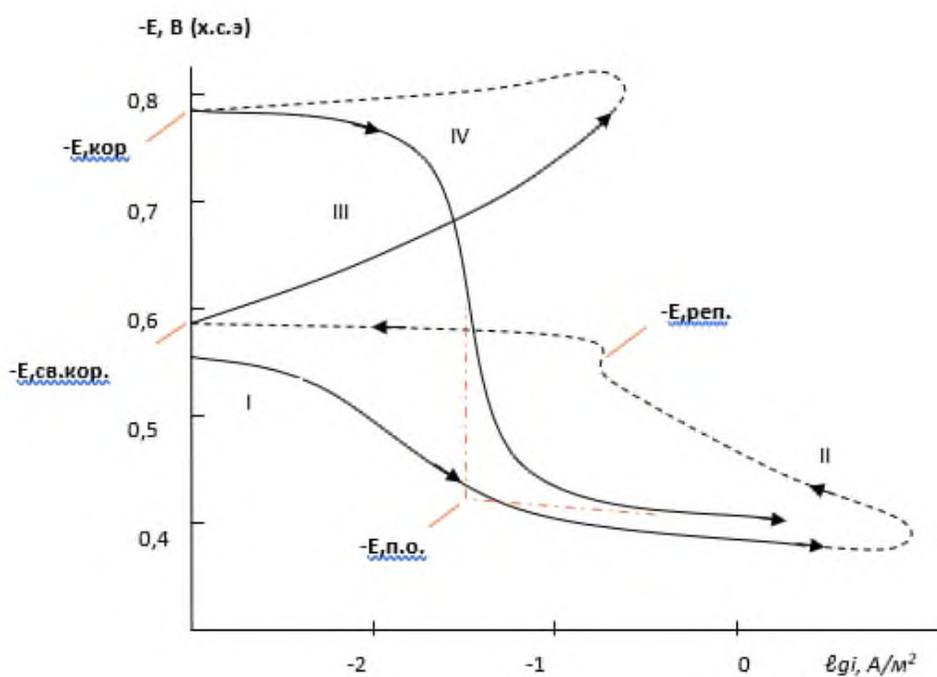


Рисунок 1. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая чистого свинца марки С2 в среде электролита 3% - ного NaCl

Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплавов свинца проводилось в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9.017-74 в среде электролита NaCl с целью определения влияния хлорид-иона на их коррозионно-электрохимическое поведение.

Подробная последовательность снятия поляризационных кривых образцов из свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита 3.0% -ного NaCl показана на рисунке 1.

При электрохимических исследованиях образцы после погружения в электролите 3.0%-ного NaCl поляризовали в положительном направлении до плотности тока  $1\text{A}/\text{m}^2$  в результате питтингообразования (рис. 1, кривая I). Далее образцы поляризовали в противоположном направлении (рис. 1, кривые II и III) до потенциала  $-0.550\text{ В}$ , что привело к растворению оксидной пленки с поверхности образцов. Наконец, образцы снова поляризовали в положительном направлении, чтобы получить анодную поляризационную кривую сплавов (рис. 1, кривая IV). На рисунке 1 показаны все четыре потенциодинамические кривые образцов из чистого свинца, снятые в среде электролита 3.0%-ного NaCl при скорости развёртки потенциала  $2\text{ мВ/с}$ . Пунктирными линиями обозначен обратный ход поляризационных кривых.

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

- $E_{\text{ст}}$  или  $-E_{\text{св.кор}}$  – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;
- $E_{\text{кор}}$  – потенциал коррозии;
- $E_{\text{п.о}}$  – потенциал питтингообразования;
- $E_{\text{рп}}$  – потенциал репассивации;
- $i_{\text{кор}}$  – ток коррозии.

Процесс коррозии свинца контролировался катодной реакцией ионизации кислорода в нейтральной среде, в связи с чем ток коррозии рассчитывался с учетом тафелевской константы ( $b_k = 0.12\text{ В}$ ) из катодной ветви потенциодинамических кривых.

Скорость коррозии  $K$  определяли по току коррозии ( $i_{\text{кор}}, \text{A}/\text{m}^2$ ) по формуле  $K = i_{\text{кор}} \cdot k$ , где  $k = 3.865\text{ г/А}\cdot\text{ч}$  электрохимический эквивалент свинца.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Результаты исследования потенциала свободной коррозии сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита 3%-ного NaCl представлены на рисунке 2. Как видно, от времени и содержания легирующих добавок в свинце наблюдается смещение в область положительных значений величины потенциала свободной коррозии сплавов. С ростом концентрации хлорид-иона в электролите NaCl величина  $E_{\text{св.кор}}$  уменьшается.

Коррозионно-электрохимические параметры сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03; 0.3 и 3.0 мас. % обобщены в таблицах 1 и 2. Как видно, с увеличением содержания бериллия, магния и алюминия в свинце потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений. Легирование бериллием в свинце повышает его коррозионную стойкость на 10 – 15%, магнием на 15 – 20% и алюминием на 20 – 25% .

Рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl способствует уменьшению основных электрохимических потенциалов и увеличению плотности тока и скорости коррозии сплавов (табл. 1, 2).

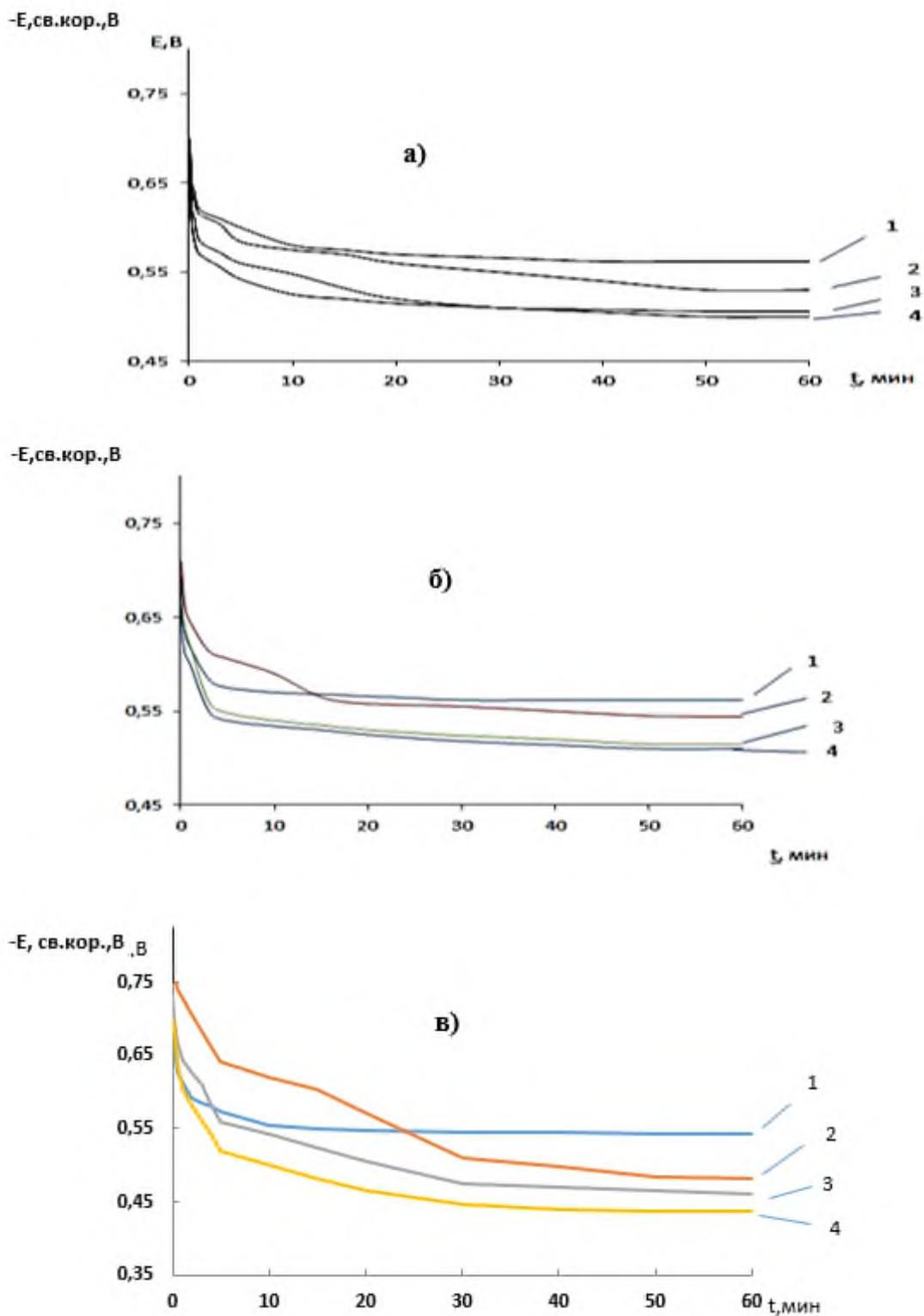


Рисунок 2 – Потенциал свободной коррозии сплавов свинца (1) с бериллием (а), магнием (б) и алюминием (в), мас. %: 0.01 (2); 0.1 (3); 0.5 (4), в зависимости от времени в среде электролита 3.0%-ного NaCl

Таблица 1 – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии и питтингообразования сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание Be, Mg и Al в свинце, мас. %	Сплавы с Be		Сплавы со Mg		Сплавы с Al	
		- E <sub>св.кор.</sub>	- E <sub>п.о.</sub>	- E <sub>св.кор.</sub>	- E <sub>п.о.</sub>	- E <sub>св.кор.</sub>	- E <sub>п.о.</sub>
0.03	-	0,524	0,380	0,524	0,380	0,524	0,380
	0.01	0,505	0,366	0,510	0,360	0,464	0,312
	0.05	0,485	0,360	0,500	0,354	0,450	0,300
	0.1	0,475	0,350	0,480	0,345	0,428	0,285
	0.5	0,470	0,344	0,460	0,340	0,425	0,268
0.3	-	0,543	0,420	0,543	0,420	0,543	0,420
	0.01	0,515	0,385	0,520	0,380	0,482	0,380
	0.05	0,500	0,375	0,516	0,360	0,474	0,360
	0.1	0,488	0,370	0,490	0,350	0,460	0,350
	1.0	0,480	0,360	0,480	0,350	0,436	0,350
3.0	-	0,562	0,450	0,562	0,450	0,562	0,450
	0.01	0,530	0,410	0,544	0,425	0,524	0,388
	0.05	0,518	0,400	0,525	0,410	0,519	0,350
	0.1	0,506	0,400	0,515	0,410	0,510	0,350
	0.5	0,500	0,380	0,510	0,400	0,500	0,345

Таблица 2 – Зависимость скорости коррозии сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание Be, Mg и Al в свинце, мас. %	Сплавы с Be		Сплавы с Mg		Сплавы с Al	
		i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·ч	i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·ч	i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·ч
0.03	-	0,80	15,44	0,80	15,44	0,80	15,44
	0.01	0,66	12,74	0,70	13,51	0,55	10,61
	0.05	0,60	11,58	0,64	12,35	0,48	9,26
	0.1	0,50	9,65	0,58	10,62	0,44	8,49
	0.5	0,42	8,11	0,45	8,68	0,40	7,72
0.3	-	0,85	16,40	0,85	16,40	0,85	16,40
	0.01	0,70	13,51	0,74	14,28	0,63	12,59
	0.05	0,64	12,35	0,68	13,12	0,54	9,82
	0.1	0,48	9,26	0,56	10,81	0,50	9,75
	0.5	0,44	8,49	0,48	9,26	0,42	8,11
3.0	-	0,98	18,91	0,98	18,91	0,98	18,9
	0.01	0,72	13,89	0,82	15,83	0,68	13,1
	0.05	0,65	12,54	0,76	14,67	0,55	10,6
	0.1	0,50	9,65	0,60	11,58	0,51	9,8
	0.5	0,47	9,07	0,52	10,04	0,44	8,5

Зависимость плотности тока коррозии сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием от концентрации NaCl показывает, что легирование 0.5 мас. % бериллием снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава на 47.9%, магнием на 53.1% и алюминием на 44.9%. С ростом концентрации хлорид – иона в электролите NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов независимо от содержания легирующих металлов.

На рисунке 3 представлены анодные ветви потенциодинамических кривых исследованных сплавов. Видно, что плотность тока коррозии свинца уменьшается с увеличением концентрации бериллия, магния и алюминия в нем, а потенциалы свободной коррозии ( $E_{св.кор.}$ ) и питтингообразования ( $E_{п.о.}$ ) смещаются в положительную область значений.

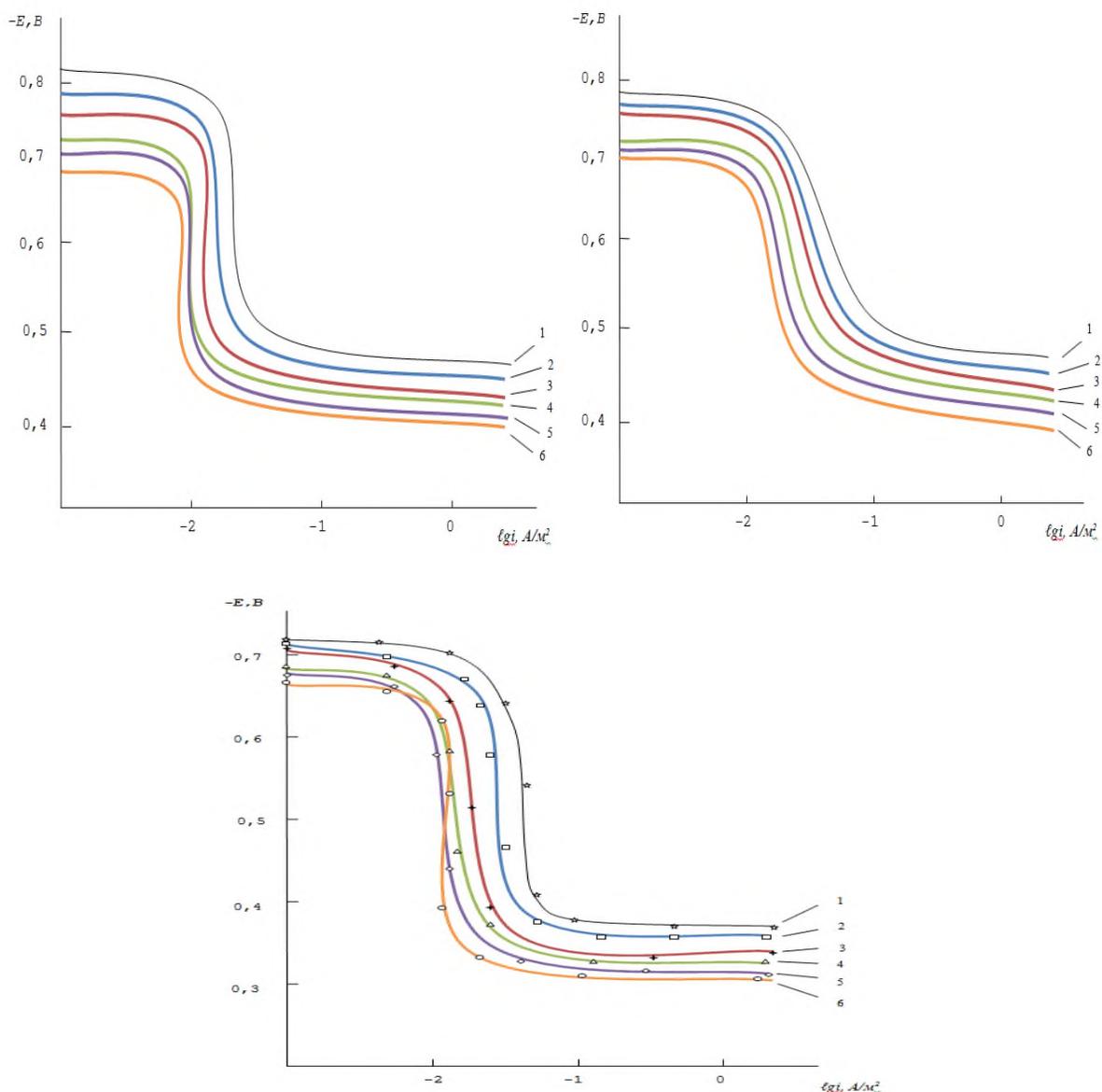


Рисунок 3 – Потенциодинамические анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые свинца (1), содержащего, мас. % бериллий (а), магний (б) и алюминий (в): 0.005 (2); 0.01 (3); 0.05 (4); 0.1 (5); 0.5 (6), в среде электролита 3.0%-ного NaCl

### Выводы

1. Изучением коррозионно-электрохимического поведения сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием в среде электролита NaCl показано, что добавка легирующего элемента до 0.5 мас. % независимо от состава электролита NaCl уменьшает скорость коррозии свинца на 40 – 60%.

- Исследованием влияния хлорид-иона на электрохимические характеристики сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием установлено, что снижение концентрации хлорид-иона в электролите NaCl в 100 раз способствует уменьшению скорости коррозии сплавов и сдвигу электродных потенциалов в положительную область значений.
- Выполненные исследования по установлению анодных характеристик сплавов свинца с бериллием, магнием и алюминием позволяют рекомендовать их в качестве базового сплава при изготовлении конструкционных материалов и получить при этом значительный экономический эффект за счет снижения материалоемкости единицы продукции, увеличения их срока службы и надежности.

### Литература

- Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. -М.: Металлургия, 1979. -640 с.
- Умаров, М.А., И.Н. Ганиев., Х.А. Махмадуллоев Анодное поведение сплавов свинца с алюминием в среде NaCl // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. -2013, Т.15.- № 4.-С. 51-55.
- Муллоева Н.М., И.Н. Ганиев., Ф.У. Обидов. Повышение анодной устойчивости свинца легированием щелочноземельными металлами: монография.- Издательский дом, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.- 90 с.
- Муллоева Н.М., И.Н. Ганиев., Ф.У. Обидов., М.Т. Норова., Х.А. Махмадуллоев, Об анодном поведении сплавов системы Pb-Сав среде электролита 0.03% NaCl // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений».-Душанбе.- ТНУ.-2011.-С. 141-143.
- Ганиев И.Н., Эсанов Н.Р., Хакимов А.Х., Умарова Т.М. Анодное поведение алюминий-железосодержащего сплава АЖ2.18, легированного церием, празеодимом и неодимом, в водном растворе NaCl // Коррозия: материалы, защита. 2022. №3. – С. 10-15.
- Ганиев И.Н., Ниёзов О.Х., Муллоева Н.М., Эшов Б.Б., Аминбекова М.С. Влияние добавок стронция и хлорид – иона на анодное поведение сплава ССу3 // Ползуновский вестник. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». 2019. №2. – С. 143-150.
- Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К. Влияние добавки лития на коррозионно-электрохимическое поведение свинцового баббита БЛ (PbSb15Sn10Li) в среде электролита NaCl // Вестник Казанского государственного технического университета. им. А.Н. Туполева. 2022. №1. – С. 7-12.
- Ходжаназаров Х.М., Ганиев И.Н., Ходжаев Ф.К. Потенциодинамическое исследование свинцового баббита БК (PbSb15Sn10K) с калием в среде электролита 3%-го NaCl // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. №1 (92). – С. 86-92.
- Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К., Одиназода Х.О. Влияние добавки калия на анодную устойчивость свинцового баббита БК (PbSb15Sn10K) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2022. №1. – С. 52-63.
- Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К. Потенциодинамическое исследование свинцового баббита БТ (PbSb15Sn10) с натрием в среде электролита NaCl // Ползуновский вестник. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». 2022. №1. – С. 126-133.
- Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. – Л.: Химия, Ленинград отд. 1972. – 238 с.

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

TJ	RU	EN
Умаров Мирали Ашуралиевич	Умаров Мирали Ашуралиевич	Umarov Mirali Ashuralievich
номзади илмҳои техникӣ, и.в.дотсент	кандидат технических наук, и.о.доцента	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S.Osimi
E-mail: miraliumarov@gmail.com		

УДК 669.715.620

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ СИСТЕМЫ AL – Si – Me

Миров И.О.

Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни

Экспериментально исследованы механические свойства сплавов алюминия системы AL – Si – Me. Разработаны методы и условия добавления модификаторов в расплав для каждого модификатора и комплекта модификаторов. Некоторые модификаторы добавлены в расплав в виде лигатур, а кремния в виде губки с известными содержаниями. Методом атомно-эмиссионной спектроскопии определен химический состав полученных образцов.

Определены зависимости модели оптимизации и связи механических свойств полученных образцов от концентрации кремния в виде регрессионных уравнений. Прочностные характеристики образцов сплавов алюминия системы AL – Si – Me от содержания кремния имеют гиперболическую зависимость

**Ключевые слова:** Сплавы алюминия системы AL – Si – Me, предел прочности, сила упругости, кремний, модель, регрессия, спектральный анализ.

## ТАЪСИРИ КРЕМНИЙ ВА МОДИФИКАТОРҲО БА ХУСУСИЯТҲОИ МЕХАНИКИИ ХУЛАҲОИ АЛЮМИНИИ ДАР СИСТЕМАИҲОИ AL – Si – Me

Миров И.О.

Хусусиятҳои механикии ҳулаҳои алюминии системаи AL - Si - Me ба таври таҷрибавӣ омӯхта шудаанд. Дар натиҷаи усулҳои ғудохтан ба ҳар як намуна миқдори муайян моддаҳои дигаргунсозанда илова карда шудааст.

Таркиби химиявии намунаҳои гирифташуда бо спектроскопияи атомии эмиссионӣ муайян карда шудаанд. Вобастагии модели оптимизатсионӣ ва муносибати байни ҳосиятҳои механикии намунаҳои гирифташуда аз консентратсияи кремний дар шакли муодилаҳои регрессионӣ муайян карда мешаванд. Хусусиятҳои устувории намунаҳои ҳулаҳои алюминии система AL - Si - Me аз таркиби кремний вобастагии гиперболий дорад

**Калидвожаҳо:** Ҳулаҳои алюминии системаи AL - Si - Me қувваи кашиш, қувваи чандирӣ, кремний, модел, регрессия, таҳлили спектралӣ.

## INFLUENCE OF SILICON AND ALLOYING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS OF THE AL – Si – Me SYSTEM

Mirov I.O.

The mechanical properties of aluminum alloys of the AL - Si - Me system have been experimentally studied. Methods and conditions for adding modifiers to the melt for each modifier and a set of modifiers have been developed. Some modifiers are added to the melt in the form of ligatures, and silicon in the form of a sponge with known contents. The chemical composition of the samples obtained was determined by atomic emission spectroscopy.

The dependences of the optimization model and the relationship between the mechanical properties of the obtained samples on the silicon concentration are determined in the form of regression equations. Strength characteristics of samples of aluminum alloys of the system AL - Si - Me has a hyperbolic dependence on the silicon content

**Key words:** Aluminum alloys of the system AL - Si - Me ultimate strength, elastic force, silicon, model, regression, spectral analysis.

## Введение

Дозэвтектические и эвтектические сплавы алюминия системы алюминий-кремний – металл (AL – Si – Me) широко применяются в промышленности, особенно в машиностроении. Сплавы этой системы интересуют промышленников с многих сторон: во-первых, технологам несложно подобрать условия для получения отливок и детали из этих расплавов, и во-вторых, механические характеристики полученных отливок и деталей не уступают механическим свойствам стальных и чугуновых отливок. Кроме того, детали, полученные из алюминиевых сплавов системы AL – Si – Me намного легче, чем их коллеги из стали или чугуна.

Процессы рафинирования и модифицирования в жидком расплаве, можно контролировать, обеспечивая условия для объемной кристаллизации расплава с получением плотной и мелкозернистой структуры в твердом состоянии в отливках и деталях в машиностроении. Поэтому к относительно дешевым, универсальным, технологически гибким и высокоэффективным методом управления структурой кристаллизующихся расплавов алюминия и его сплавов системы Al-Si-Me можно отнести физические методы при кристаллизации [1-6].

Исходя из этого, затронутая проблема «Влияние кремния и легирования на механические свойства сплавов алюминия системы Al – Si – Me» является актуальной проблемой для промышленников.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводились в лабораториях кафедры «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии» Душанбинского филиала МИСИС.

Образцы доэвтектических сплавов системы Al-Si-Me отлиты с применением лабораторной индукционной тигельной печи с добавками модифицирующих элементов, как железо, кремний, медь и другие легирующие металлы в лигатуре. Контролировалось время охлаждения расплава от температуры заливки до начала кристаллизации, во время кристаллизации и при последующем охлаждении для уменьшения объема, так называемой объемной усадки.

Разработаны методы и условия добавления модификаторов в расплав для каждого модификатора и комплекта модификаторов. Некоторые модификаторы добавлены в расплав в виде лигатур, а кремния в виде губки с известными содержаниями. Для определения химического состава полученных образцов использован рентгеноспектральный квантометр и ARL 9900, а для исследования механических свойств образцы производств КНР[7-9].

### Результаты и обсуждения

Результаты спектрального анализа образцов приведены в таблице 1.

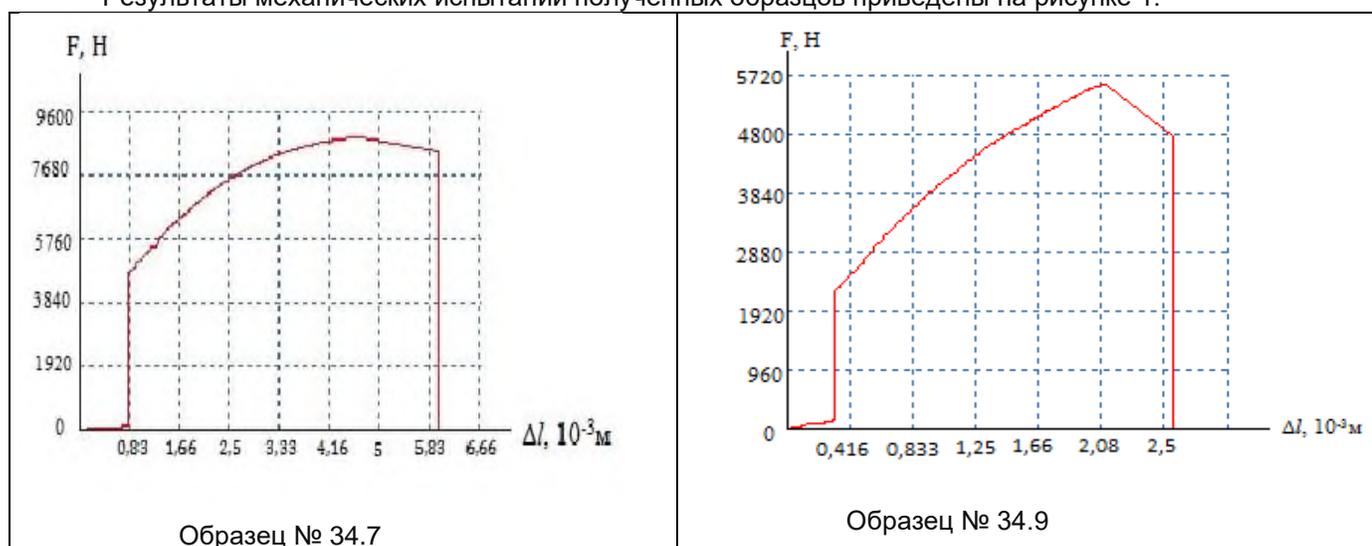
Таблица 1

Химический состав экспериментальных образцов сплава алюминия

Маркировка	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Zn, %	Ti, %	In, %	Ca, %
AlSi-34.7	7,9	0,39	0,300	-	-	0,330	0,071	-	-
AlSi-34.8	7,10	0,440	0,320	-	0,370	0,360	0,091	-	-
AlSi-34.9	8,60	0,160	-	-	0,180	-	0,045	-	-
AlSi-36.2	10,64	0,560	-	0,072	-	-	0,080	0,112	0,041
AlSi-36.3	11,63	0,350	-	0,149	-	-	0,130	-	0,053
AlSi-36.4	12,30	0,330	-	0,270	-	-	-	0,083	-
AlSi-36.6	12,37	0,170	-	0,250	-	-	0,013	-	0,030

Содержание примесей сильно влияет на механические свойства образцов.

Результаты механических испытаний полученных образцов приведены на рисунке 1.



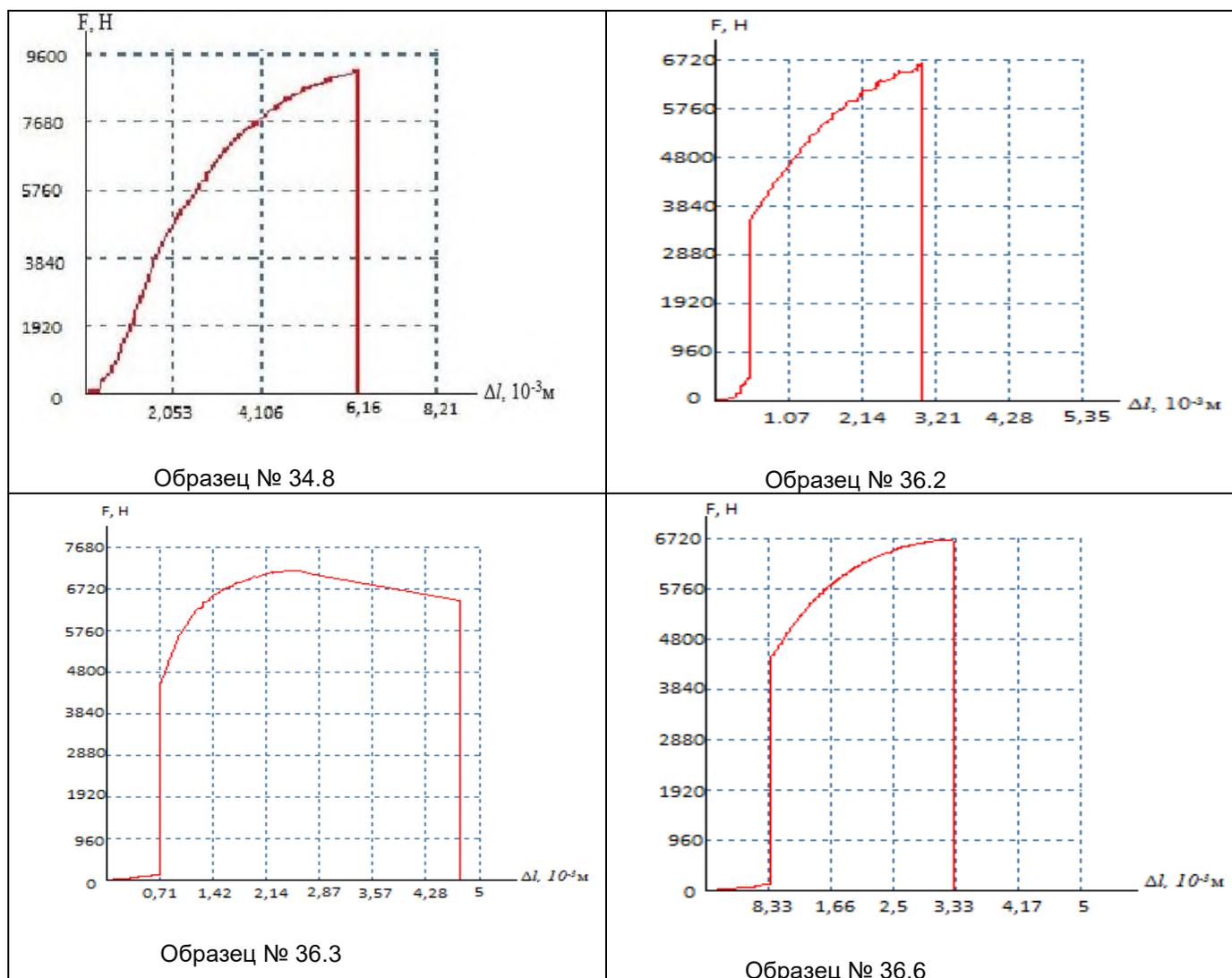


Рисунок 1. Зависимости изменения силы упругости и относительного удлинения образцов от действующей силы

Как видно из рисунка 1, наличие модифицирующих примесей сильно влияет на механические свойства отливок. Исходя из этого нами построен график зависимости предела прочности образцов от концентрации кремния.

На рисунке 2 приведены а) изменения предела прочности и силы упругости б) относительное удлинение от концентрации кремния в сплаве

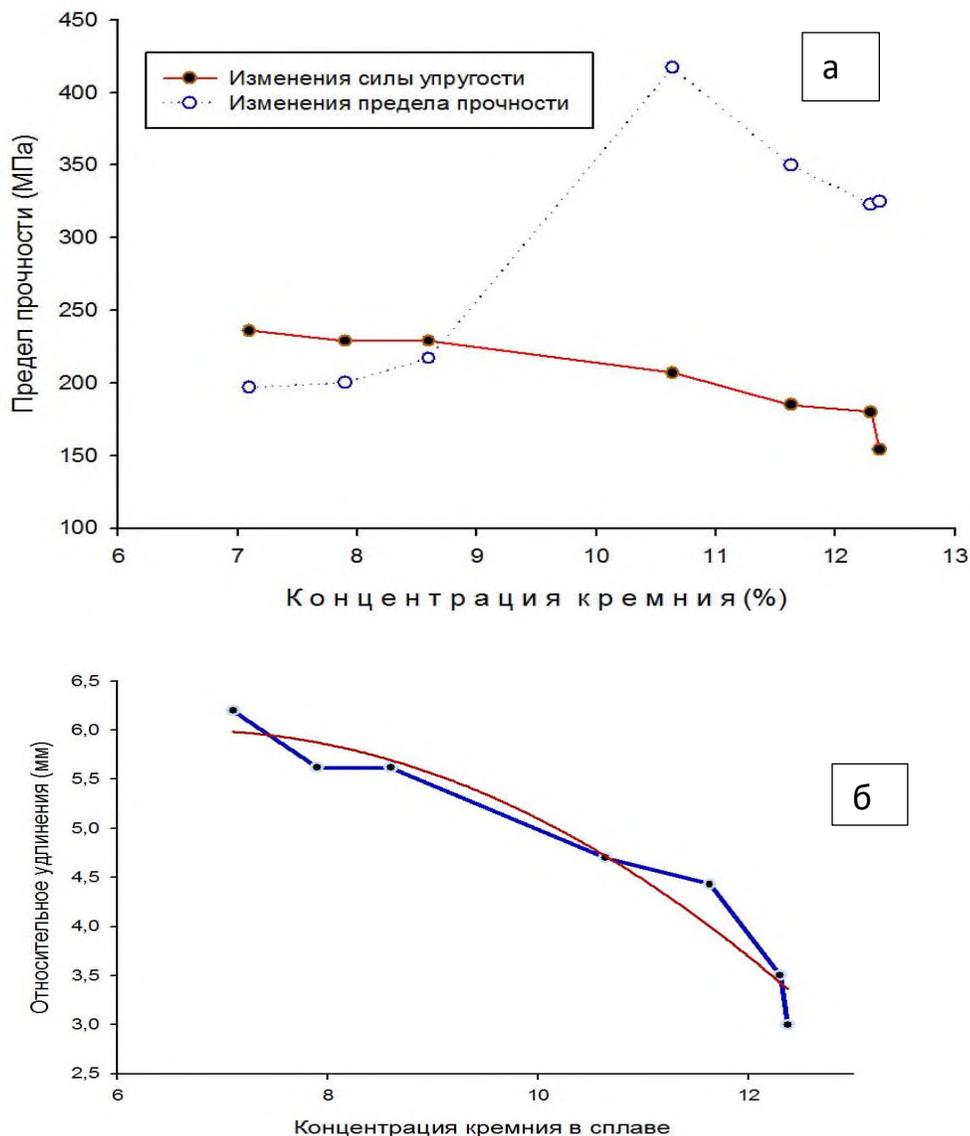


Рисунок 2. а) изменения предела прочности и силы упругости б) относительное удлинение от концентрации кремния в сплаве

Как видно из рисунка 3б, увеличение доли кремния в сплавах системы  $Al - Si - Me$  сопровождается уменьшением коэффициента относительного удлинения. По-видимому, изменяются структурные составляющие сплавов образующих компонентов.

Известно, что для технологов и производителей необходимо знать оптимальные значения процессов и их связи с механическими свойствами полученных отливок. Поэтому нами разработана модель оптимизации и связи механических свойств полученных образцов от концентрации кремния.

Эта модель оптимизации и связи механических свойств полученных образцов от концентрации кремния в графическом виде приведена на рисунке 3.

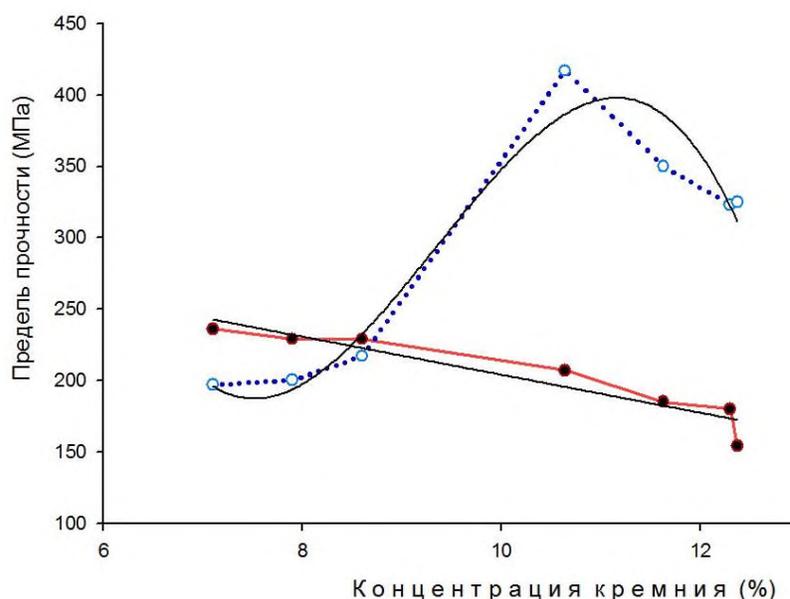


Рисунок 3. Графическая зависимость модели оптимизации и связи механических свойств полученных образцов от концентрации кремния

Черными линиями показаны расчетные значения зависимости механических свойств от концентрации кремния.

Уравнения зависимостей приведены ниже формулами 1 и 2.

$$\sigma = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2 + c \cdot x^3 \quad (1)$$

$$\sigma = y_0 + a \cdot x \quad (2)$$

Нами рассчитаны регрессионные параметры моделей.

Регрессионные параметры модели для уравнения (1).

Nonlinear Regression

Data Source: Data 1 in Notebook1 Акрамов М.Б., Мирон И.О.

Equation: Polynomial; Cubic

$$f = y_0 + a \cdot x + b \cdot x^2 + c \cdot x^3$$

R Rsqr Adj Rsqr Standard Error of Estimate

0,9690 0,9390 0,8781 29,9429

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	6570,4132	2636,1908	2,4924	0,0883	54257,9110<
a	-2191,4524	835,1686	-2,6240	0,0787	575346,0960<
b	244,1057	86,6809	2,8161	0,0670	748524,7483<
c	-8,7186	2,9504	-2,9551	0,0598	114045,5625<

Analysis of Variance:

Uncorrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS
Regression	4	629551,2624	157387,8156

Residual	3	2689,7376	896,5792		
Total	7	632241,0000	90320,1429		
Corrected for the mean of the observations:					
DF	SS	MS	F	P	
Regression	3	41431,1195	13810,3732	15,4034	0,0251
Residual	3	2689,7376	896,5792		
Total	6	44120,8571	7353,4762		

tatistical Tests:

PRESS	14017,9580
Durbin-Watson Statistic	3,1838 Failed
Normality Test	Passed (P = 0,7996)
K-S Statistic = 0,2298	Significance Level = 0,7996
Constant Variance Test	Passed (P = 0,1815)
Power of performed test with alpha = <0,0001:	0,0000

The power of the performed test (0,0000) is below the desired power of 0,8000.

You should interpret the negative findings cautiously.

Regression Diagnostics:

Row	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
-----	-----------	------------	-----------------

2	0,2013	0,2689	0,2222
3	-0,5167	-0,8207	-0,7610
4	1,0187	1,7155	10,1706<
5	-1,2070	-1,5822	-3,1746<
6	0,0275	0,0364	0,0298
7	0,4427	0,6398	0,5622

Influence Diagnostics:

Row	Cook's Dist	Leverage	DFFITS
1	0,0707	0,9387	0,4357
2	0,0142	0,4396	0,1968
3	0,2564	0,6036	-0,9390
4	1,3510	0,6474	13,7816<
5	0,4494	0,4180	-2,6902
6	0,0003	0,4314	0,0259
7	0,1114	0,5213	0,5866

95% Confidence:

Row	Predicted	95% Conf-L	95% Conf-U	95% Pred-L	95% Pred-U
1	195,9920	103,6683	288,3157	63,3115	328,6725

2	193,9738	130,7900	257,1575	79,6381	308,3095
3	232,4724	158,4396	306,5052	111,8021	353,1427
4	386,4976	309,8246	463,1707	264,1898	508,8055
5	386,1420	324,5347	447,7493	272,6699	499,6141
6	322,1771	259,5877	384,7665	208,1688	436,1854
7	311,7450	242,9447	380,5453	194,2123	429,2777

Fit Equation Description:

[Variables]

x = col(1)

y = col(3)

'Automatic Initial Parameter Estimate Functions

F(q)=ape(x;y;3;0;1)

[Parameters]

y0 = F(0)[1] "Auto {{previous: 6570,41}}

a = F(0)[2] "Auto {{previous: -2191,45}}

b = F(0)[3] "Auto {{previous: 244,106}}

c = F(0)[4] "Auto {{previous: -8,71858}}

[Equation]

f=y0+a\*x+b\*x^2+c\*x^3

fit f to y

"fit f to y with weight reciprocal\_y

1 0,0337 0,1360 0,1113

"fit f to y with weight reciprocal\_ysquare

[Constraints]

[Options]

tolerance=1e-10

stepsize=1

iterations=200

Number of Iterations Performed = 1

Таким образом, определены коэффициенты для уравнения 2.

#### Выводы:

Экспериментально получены доэвтектические сплавы алюминия системы AL – Si – Me, модифицированные с некоторыми металлами.

Разработаны методы и условия добавления модификаторов в расплав для каждого модификатора и комплекта модификаторов. Некоторые модификаторы добавлены в расплав в виде лигатур, а кремния в виде губки с известными содержаниями. Методом атомно-эмиссионной спектроскопии определен химический состав полученных образцов.

Определены зависимости модели оптимизации и связи механических свойств полученных образцов от концентрации кремния в виде регрессионных уравнений. Прочностные характеристики образцов сплавов алюминия системы AL – Si – Me от содержания кремния имеют гиперболическую зависимость.

#### Литература

1. Фридляндер, И.Н. Избранные труды: создание, исследование и применение алюминиевых сплавов [Текст] / И.Н. Фридляндер. – М.: Наука, 2009. – 400с.

2. Макаров Г.С. Тенденции в применении продукции из алюминия и его сплавов в России /Г.С. Макаров / Цветные металлы. 2007. №5.- С. 82-89.
3. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Справочник. Под ред. И.Н. Фридляндера [Текст] / В.М. Белецкий, Г.Н. Кривов. -Киев: КОМИНТЕХ, 2005. -365 с.
4. Золоторевский, В.С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов [Текст] / В.С. Золоторевский, Н.А. Белов. – М.: МИСиС, 2005.- 376с.
5. Пономарев, С.В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений [Текст] / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, В.М. Полунин, А.Г. Дивин, А.А. Чуриков / Под ред. Пономарев С.В., Вертоградский В.А. –М.: Физматлит, 2008. -408 с.
6. Миров И.О., Содатдинов Ш.С., Акрамов М.Б. Рентгеноспектральный анализ образцов доэвтектических сплавов алюминия системы. Вестник Таджикского технического университета. 2022. № 4 (60). С. 76-80.
7. Акрамов М.Б., Суяндиқов М.М. Основы физико-химических методов анализа для экспериментаторов. Душанбе: «Ирфон», 2014. – 238 с.
8. Акрамов М.Б., Мирзоев Ф., Низомов З. Рентгеноспектральный анализ образцов алюминия технической чистоты. Материалы международной конференции «Современные вопросы молекулярной спектроскопии конденсированных сред», Душанбе, 11-12 ноября 2011г.
9. Мирзоев Ф.М. Теплофизические свойства алюминия различной степени чистоты и сплавов системы Al-Si. Канд. диссертация.
10. Mahamani A. Evaluation of mechanical properties of AA6061-TiB<sub>2</sub>/ZrB<sub>2</sub> in-situ metal matrix composites fabricated by K<sub>2</sub>TiF<sub>6</sub>-KBF<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> reaction system / A. Mahamani, A. Jayasree, K. Mounika, K. Reddi Prasad, N. Sakthivelan //International Journal of Microstructure and Materials Properties. – 2015. – Vol. 10, № 3/4. – P. 185–200.

### **Сведения об авторе:**

Миров Ислонджон Ояхмадович-ассистент кафедры экспериментальной физики Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни.

[E-mp.kulob@mail.ru](mailto:E-mp.kulob@mail.ru)

### **Маълумот дар бораи муаллиф:**

Миров Ислонҷон Ояхмадович -ассистенти кафедраи эксперименталии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни. [E-mp.kulob@mail.ru](mailto:E-mp.kulob@mail.ru)

### **Information about authors:**

Mirov Islomjon Oyxmadovich-assistant of the Department of Experimental Physics, TSPU named after S.Aini. [E-mp.kulob@mail.ru](mailto:E-mp.kulob@mail.ru)

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОКАТКЕ В СКРЕЩЕННЫХ ВАЛКАХ

Одиназода Б.Н.

Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими

В данной статье приведены методики определения технологических и энергосиловых параметров при процессе прокатки высоких полос в скрещенных валках. Изучен метод максимального угла захвата. Определены технологические и энергосиловые параметры при прокатке высоких полос в скрещенных валках.

**Ключевые слова:** прокатка, технологические, энергосиловые, скрещенные валки, методика.

## МЕТОДИКАИ ҲИСОБИ ПАРАМЕТРҲОИ ТЕХНОЛОҒИ ВА НЕРУАФЗОЯНДА ҲАНГОМИ ПРОКАТКА ДАР НАВАРДҲОИ ПЕЧДАРПЕЧ

Одиназода Б.Н.

Дар ин мақола усулҳои муайян кардани параметрҳои технологӣ ва нуруафзоида дар раванди прокаткаи тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч оварда шудаанд. Усули кунҷи максималии дарбаргири омӯхта шудааст. Параметрҳои технологӣ ва нуруафзоида дар хангоми прокаткаи тасмаҳои баланд дар навардҳои печдарпеч муайян карда шуданд.

**Калидвожаҳо:** Прокатка, технологӣ, нуруафзоида, навардҳои печдарпеч, методика.

## METHOD OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL AND ENERGY POWER PARAMETERS DURING ROLLING IN CROSSED ROLLS

Odinazoda B.N.

This article presents methods for determining technological and power parameters in the process of rolling high strips in crossed rolls. The method of maximum capture angle has been studied. Technological and energy-power parameters were determined during the rolling of high strips in crossed rolls.

**Keywords:** rolling, technological, power, crossed rolls, technique.

Разработка методики определения технологических и энергосиловых параметров имеет важное значение при процессе прокатки высоких полос в скрещенных валках. Среднее контактное давление является одним из важнейших энергосиловых показателей процесса продольной прокатки высоких полос в скрещенных валках.

Параметр среднего контактного давления, в котором находится металл, зависит от деформированного состояния и от естественной жесткости металла. Среднее контактное давление можно определить по следующей формуле:

$$p_{cp} = \sigma_T \cdot n_\sigma \cdot k_m, \quad (1)$$

где:  $k_m$  – коэффициент масштабного фактора (для стали равно 0,90–1,10),  $n_\sigma$  – коэффициент напряженного состояния,  $\sigma_T$  – сопротивление деформации.

Из нижеследующего выражения можно определить сопротивление деформации для условий горячей прокатки:

$$\sigma_T = \sigma_{0d} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u, \quad (2)$$

где:  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$  – термомеханические коэффициенты, которые учитывают соответственно скорость деформации, степень и температуру. Для стали базисное значение предела текучести составляет  $\sigma_{0d}=86$  МПа.

Из специальных графиков, построенных индивидуально для каждого металла, определяем коэффициенты  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$  и  $k_u$  [1, 2], которые составляют  $k_t=1$ ,  $k_\varepsilon=1.2$ ,  $k_u=1$ .

Когда среднее контактное давление выше предела текучести деформируемого металла, то коэффициент напряженного состояния по своему физическому смыслу можно представить в следующем виде:

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

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

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

От отношения усилия прокатки  $P$  к площади контактной поверхности  $F_k$  можно представить как частное среднее контактное давление  $p_{cp}$ . Усилия прокатки при теоретическом определении имеют следующий вид:

$$P = p_{cp} \cdot F_k, \quad (5)$$

здесь:  $P$  – усилия прокатки,  $F_k$  – площадь контактной поверхности.

Площадь контактной поверхности в параллельно расположенных валках при прокатке высоких полос определяется по следующей формуле:

$$F_k = b_{cp} \cdot l_d, \quad (6)$$

здесь:  $b_{cp}$  – ширина полосы,  $l_d = \sqrt{R \cdot h}$  – длина очага деформации.

Кинематика и геометрия очага деформации несущественно изменяется при прокатке высоких полос в скрещенных валках, тогда величина площади контактной поверхности определяется по формуле:

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

В процессе прокатки площадь заготовки до и после каждого прохода можно определить по следующим формулам:

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

$$F_i = H_i \cdot B_i = H_i \cdot (B_0 + \Delta b_{cp}) \quad (9)$$

Вероятность разрушение окисленных плёнок и выхода на поверхность частиц металла возрастает в связи с ростом площади контактной поверхности. В процессах обработки металлов давлением текущее обстоятельство способствует проявлению сил молекулярного охватывания. При обработке металлов давлением особенность внешнего трения играет важную роль, в котором один из деформируемых тел находится в состоянии общего пластического течения.

На данный момент при прокатке существует много методов исследования и определения коэффициента трения. К ним можно отнести следующие методы: торможение одного валка, крутящего момента, предельного торможения полосы, максимального давления, максимального угла захвата, комбинированные, уширения, давления, опережения, обработки эпюр контактного давления и т.д. Для определения коэффициента трения при захвате  $f_s$  вышеупомянутых методов служит метод максимального угла захвата, а для определения коэффициента трения на контактной поверхности при установившемся процессе прокатки служат все остальные.

При установившемся процессе прокатки высоких полос в скрещенных валках для определения коэффициента трения использовали комбинированный метод, математическое выражение которого выглядит следующим образом:

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

здесь,  $\mu = \ln F_0 / F_i$  – натуральный логарифм вытяжки металла,  $\Delta h$  – абсолютное обжатие,  $\Delta b$  – уширение металла.

Линейные размеры полосы – высота (толщина), ширина и длина изменяются в процессе продольной прокатки. Величиной абсолютного и относительного обжатия характеризуется изменение высоты полосы.

Абсолютное обжатие определяется по формуле:

$$\Delta h = H_0 - H_1 \quad (11)$$

Относительное обжатие может быть определено по следующей формуле:

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

Уширением называется изменение поперечных размеров полосы. По математической зависимости в виде полинома второго порядка [3] в процессе продольной прокатки высоких полос в скрещенных валках определили величину уширения:

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

здесь:  $k_0, k_1$  – поправочные коэффициенты, которые характеризуют реологические особенности сравниваемых материалов (таблица 1).

Таблица 1 – Поправочные коэффициенты, прокатанные в лабораторных условиях и характеризующие реологические особенности сравниваемых сталей и свинцово-сурьмянистых образцов

Наименование	Параметры аппроксимации	
	k0	k1
Сталь 3	-0,005	0,635
Стали легированные	-0,054	0,478

Равнодействующие на все элементарные силы нормального давления и трения, которые приложены к металлу со стороны валков, можно понимать усилием прокатки.

По формуле (5) можно определить усилие прокатки:

$$P = p_{cp} \cdot F_{\kappa}$$

Для двухвалковой клетки допустимое усилие прокатки определяют по следующей формуле:

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

здесь:  $d$  – диаметр валка, мм;  $[\sigma_u]$  – допустимое напряжение на изгиб, МПа/мм<sup>2</sup>;  $B_i$  – ширина прокатываемой полосы, мм;  $L$  – расстояние между осями нажимных винтов, мм.

Для обеспечения их вращения в процессе прокатки величину крутящих моментов нужно приложить к валкам:

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

здесь:  $a$  – плечо равнодействующей силы  $P$  относительно центра валка. Плечо  $a$  можно определить, как некоторую часть длины очага деформации.

$$a = l_{\partial} \Psi_n, \quad (16)$$

здесь  $\Psi_n$  – коэффициент плеча усилия прокатки, который равен 0,55.

По следующей формуле определяется допустимый момент прокатки:

$$M_{дон} = 2P_{дон} l_{\partial} \Psi_n \quad (17)$$

Коэффициенты перегрузки по усилиям и моментам можно определять после определения действительных и допустимых усилия и момента прокатки.

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

Технологические и энергосиловые параметры при прокатке высоких полос в скрещенных валках можно определить при использовании такой методики расчета.

### Литература

1. Справочник прокатчика. Коновалов Ю.В., Налча Г.И., Савранский К.Н. М.: Металлургия. 1977. 311 с.
2. Грудев А.П. Теория прокатки. М.: Металлургия. 1988. 240 с.
3. Одинаев Б.Н. Разработка и исследование процесса продольной прокатки высоких полос в скрещенных валках. Диссертация кан.техн.наук. М. 2000. 178 с.

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

TJ	RU	EN
Одиназода Бозорали Немат	Одиназода Бозорали Немат	Odinazoda Bozorali Nemat
н.и.т., муаллими калон	к.т.н, старший преподаватель	Candidat of engineering sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)935880065 Email: bnodinazoda@gmail.com		

УДК 550.34.012: 504.055

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШУМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СОУДАРЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТОДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Хакдод М.М.<sup>1</sup>, Одиназода Б.Н.<sup>2</sup>, Бозоров Ш.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Рассматривается моделирование источников шума и методов возбуждения колебаний с использованием законов подобия, чтобы определить процесс шумообразования при соударении деталей машин на установке для определения акустодемпфирующих свойств материалов. В качестве модели принята образец в виде пластин постоянных геометрических размеров, который подвешиваются в вертикальном положении в подвижных захватах на вольфрамовых нитях. Возбуждение свободных колебаний в образце осуществляется ударом стального шарика по геометрическому центру пластины. Установлено, что исследования акустических свойств материалов с использованием импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний, позволяют определить не только звукоизлучение металлов, характеризующиеся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии, т.е. акустодемпфирующие свойства материала.

Ключевые слова: моделирование, шумообразования, соударение деталей машин, акустодемпфирующие материалы.

### МОДЕЛСОЗИИ РАВАНДИ САДОБАРОРӢ ҲАНГОМИ ҲАМЗАРБАРАСОНИИ ЧУЗӢҲОИ МОШИН ВА УСУЛИ ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ МАВОДҲОИ САДОЛАРЗИШПАХШКУНАНДА

Дар мақола моделсозии манбаъҳои садо ва усулҳои барангезиши лапиш бо истифодаи қонуниятҳои монандӣ барои муайян намудани раванди садобарорӣ ҳангоми ҳамзарбарасонии чузӯҳои мошин дар дастгоҳи барои муайян намудани хосиятҳои маводҳои садоларзишпахшкунанда баррасӣ гардидааст. Ба сифати модел намуна дар шакли тахтача бо андозаҳои геометрии доимӣ, ки дар ҳолати вертикалӣ бо ресмони волфрама дар қапаки ҳаракаткунанда овезон гардидааст, истифода бурда мешавад. Барангезиши лапишҳои озод дар намуна таввасути зарбаи сакҳои пулодӣ ба маркази геометрии тахтача амалӣ карда мешавад. Муқаррар карда шудааст, ки таҳқиқи хосиятҳои акустики маводҳо бо истифода аз усули зарба ва ё импульси дар намуна барангезиши лапишҳои садоӣ, имконият медиҳад, ки натавоно садобарорӣ металлоҳо бо дараҷаи фишори садо ва спектри зудии давомнокии лапишҳои садоӣ тасниф гардида, инчунин пахншавии дохилии энергия, яъне хосиятҳои садоларзишпахшкунӣ мавод муайян карда шавад.

Калидвожаҳо: моделсозӣ, садопайдошавӣ, боҳамзарбазани чузӯҳои мошин, маводҳои садоларзишпахшкунанда.

### MODELING PROCESS NOISE GENERATION IN THE COLLISION MACHINE PARTS AND METHOD STUDYING ACOUSTODAMPING PROPERTIES OF MATERIALS

Modeling of noise sources and methods of excitation of oscillations using the laws of similarity is considered in order to determine the process of noise generation during the collision of machine parts in an installation for determining the acoustic damping properties of materials. As a model, a sample was taken in the form of plates of constant geometric dimensions, which are suspended in a vertical position in movable grippers on tungsten filaments. The excitation of free oscillations in the sample is carried out by the impact of a steel ball on the geometric center of the plate. It has been established that studies of the acoustic properties of materials using a pulse or shock excitation circuit in a sample of sound vibrations make it possible to determine not only the sound emission of metals, characterized by the sound pressure level and the frequency spectrum of the duration of sound vibrations, but also the internal energy dissipation, i.e. acoustic damping properties of the material.

Key words: modeling, noise generation, collision of machine parts, acoustic damping materials.

В практике борьбы с шумом часто приходится сталкиваться со сложными процессами, происходящими в реальных конструкциях, которые затрудняют исследование шумовых характеристик в натуре. При разработке мероприятий по снижению шума важное место занимает изучение шумовых характеристик на моделях.

Моделирование источников шума и методов возбуждения колебаний с использованием законов подобия позволяют исследовать на моделях процесс шумообразования с ограниченным числом образцов источников и найти их оптимальные параметры, по результатам которых можно установить общие закономерности явления и его количественные характеристики, пригодные для целого ряда подобных объектов при сходственных условиях. Для правильного решения важно только соблюдение основных принципов акустического моделирования, которые предусматривают следующие закономерности [1]:

а) сохранение геометрических характеристик объектов, в которых исследуется процесс, в модели и в натуре, т.е. сохранение геометрического подобия тех частей модели и натуре, в которых исследуется звуковое поле.

$$D_n/D_m = id \epsilon m \quad (1)$$

б) в модели и в натуре должно быть сохранено отношение размеров к длине, т.е.

$$L_n/\lambda_n=L_m/\lambda_m \quad (2)$$

где  $L_n, L_m$  - линейный размер природы и модели соответственно;

$\lambda_m, \lambda_n$  - длина звуковой волны в природе и модели соответственно.

Поскольку  $\lambda_n = C_n / f_n, \lambda_m = C_m / f_m$ , где  $C_n$  и  $C_m$  скорость звука в материале и природы и модели соответственно, то

$$L_n f_n / C_n = L_m f_m / C_m \quad (3)$$

в) равенство безразмерных акустических импедансов в модели и природе в сходных частотах, т.е. на тех частотах, определяемых равенством (2) безразмерный импеданс  $Z=Z/\rho c$  модели должны сохраняться одинаковыми:

$$Z_m=Z_n \text{ при } f_m=(L_m C_m / L_n \cdot C_n) f_n \quad (4)$$

При разработке мероприятий по снижению шума в реальных конструкциях чаще всего моделируют процессы распространения звука (моделирование помещений, звукопоглощающих, глушителей шума, звукоизоляции) и источника звука (аэро- и гидродинамические, механические и электромагнитные) [2]. Наиболее сложно моделировать источники звука, особенно моделирование механического шума. Потому что сложно обеспечить одинаковые в модели и природе условия возбуждения звука. Условия возбуждения звука должны быть одинаковыми. Воздух, окружающий модель, должен иметь те же плотность и температуру, что и в натуральных условиях, должны быть подобраны все люфты и зазоры, параметры шероховатости всех трущихся поверхностей, состояние смазки и т.д. При соблюдении этих и вышеприведенных условий общий уровень шума, а также уровни в сходственных полосах частот в сходных точках открытого пространства вокруг модели и в природе будут одними и теми же, т.е.  $L_m = L_n$  при соблюдении условия для расстояний.

$$R_m/R_n = D_m/D_n \quad (5)$$

Граница сходственных полос в модели и природе при этом будет определяться выражением:

$$f_{n1}/f_{m1}=f_{n2}/f_{m2}=D_m/D_n \quad (6)$$

Несмотря на сложность исследования шумовых характеристик на модельных установках при правильном выборе объекта и соблюдении законов акустического моделирования, можно исследовать физические процессы шумообразования, разрабатывать мероприятия по снижению шума и получать сопоставимые сравнительные результаты.

В настоящей работе в качестве модели принята образец в виде пластин постоянных геометрических размеров, который подвешиваются в вертикальном положении в подвижных захватах на вольфрамовых нитях диаметром 20 мкм. Возбуждение свободных колебаний в образце осуществляется ударом стального шарика диаметром 10 мм и массой 4,5г по геометрическому центру пластины. Схема установки представлен на рисунке 1 [3].

Процесс исследования акустодемпфирующих свойств материалов на установке ТТУ-1 (рис.1) заключается в следующем: образец 8 в виде пластины размером 50х50х5мм устанавливается на неподвижной плите 2 между вольфрамовыми нитями, натянутыми грузом 5.

Плоскость подвески образца наклонена к горизонтальной плоскости под углом в  $5^0$  при помощи устройства 4, чтобы избежать повторные соударения. Ударный элемент в виде стального шарика 10 (сталь ШХ15, диаметром 10мм, массой 4,5 гр.) притягивается электромагнитом 11 в нижней части его сердечника с определенной высоты свободным падением генерировал колебания в свободно подвешенном плоском образце за счет перехода потенциальной энергии к кинетической. Шары, отскочившие от образца 8, собирали в приемнике 7.

Для исследования температурной зависимости акустодемпфирующих свойств материалов образец 8 нагревается до нужной температуры нагревательными элементами 9, при необходимости можно также нагревать шарик в трубчатой печи 13. После нагрева образца 8 до нужной температуры нагревательные элементы 9 отключаются и отодвигаются в сторону. Шары, нагреваясь до нужной температуры в трубчатой печи 13, попадают на электромагнит 2 (12), а электромагнит 1(11) в это время выключен. Для подготовки шара к работе включается электромагнит 1(11), затем отключается электромагнит 2 (12) и шарик притягивается электромагнитом 1(11) к нижней части его сердечника. После отключения электромагнита 1(11) при включенном электромагните 2 (12) шарик 10 свободно падает на образец 8 и, отскакивая, попадает в приемник 7. Звуковые колебания, излучаемые образцом 8, регистрируются микрофоном 6 и передаются в измерительный тракт 15.

Конструкция установки предусматривает снижение шумового фона до минимальных значений. Она смонтирована на звукопоглощающем двухслойном материале, состоящем из войлока (10мм) и поролон (30мм). Нижняя поверхность стола имеет поролоновую изоляцию толщиной 10мм. Для обеспечения в помещении звукового поля близкого к диффузным, вся установка размещена в звукоизолирующей кабине.

Надежность экспериментальных данных и опытов обеспечивалась постоянством формы и размеров образцов. Масса шара ( $m$ ) и размеры возбуждаемой пластины соответствовали условию [4]:

$$m < 4.6\rho l h \quad (7)$$

где  $\rho$  - плотность материала пластины, кг/м<sup>3</sup>;  $l$  – расстояние от точки приложения удара до ближайшего края пластины, м;  $h$  – толщина пластины, м.

Толщина пластины должна быть не менее, чем в пять раз меньше других размеров. Применяемые образцы отвечали этому условию.

Звукоизлучение возбужденного образца фиксировали микрофонным капселем МК-102, расположенным под центром образца на расстоянии 100 мм, что обусловлено допустимым соотношением между прямым и отраженным сигналами, которое должно отвечать соотношению 10:1. Расстояние между излучателем и отраженной плоскостью  $r_2$ , излучателем и приемником звука  $r_1$  должно быть связано соотношением [5].

$$r_2 \cong 5,5 r_1 \quad (8)$$

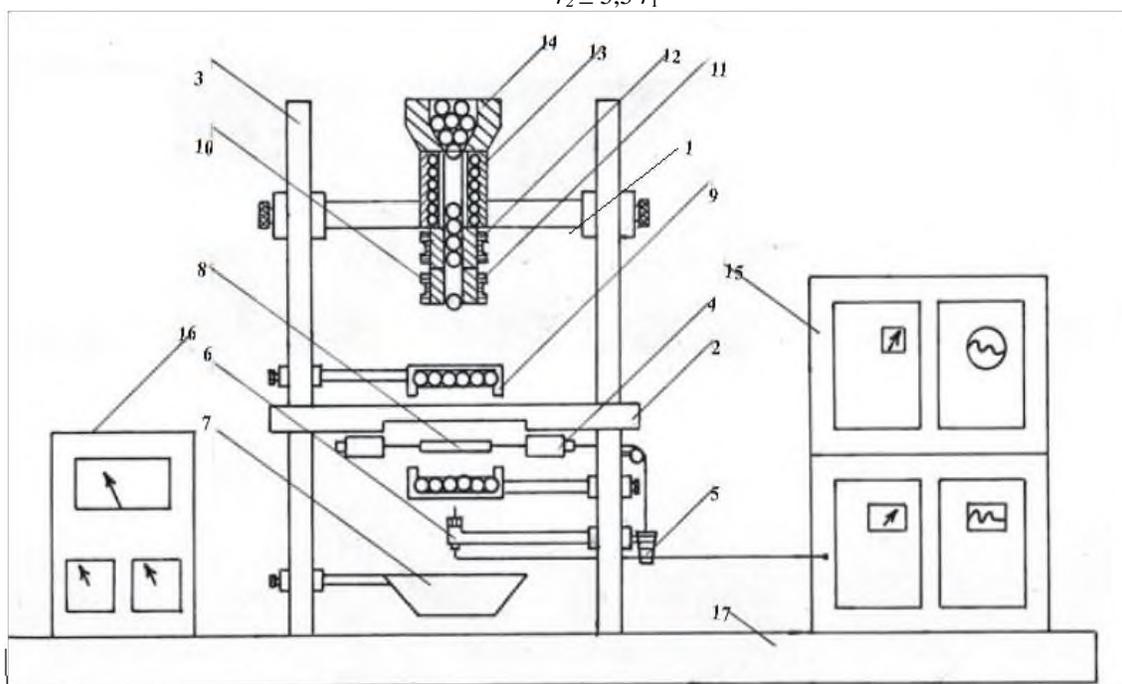


Рисунок 1 – Установка для исследования акустодемпфирующих свойств материалов  
1-верхняя плита (подвижная); 2-нижняя плита (неподвижная); 3-стойки; 4-устройства для регулирования угла наклона образца; 5-груз; 6-микрофон; 7-ловитель шаров; 8-образец; 9-нагревательные элементы; 10-шарик; 11-электромагнит 1; 12-электромагнит 2; 13-трубчатая печь; 14-бункер; 15-панель приборов для измерения акустодемпфирующих свойств материалов; 16-панель приборов для измерения температуры; 17-основание.

Вывод значений измеряемых величин в аппаратуре осуществлялся в аналоговой и цифровой форме, что в сочетании с такими дополнительными средствами, как малая вычислительная машина или специальный управляющий прибор, обеспечивает возможность построения полностью автоматически работающих измерительных и проверочных стендов. Для визуального контроля спектр изображается на экране осциллографического индикатора в виде ступенчатой диаграммы.

Для акустических исследований конструкционных материалов, наряду с октавным, применяют третьоктавные полосы частот или узкие полосы постоянной относительной ширины. При импульсном возбуждении образца только третьоктавным анализ показал частотные составляющие, которые, в основном, определяют общий уровень. На рисунок 2 показан третьоктавный спектр исследуемых образцов, изготовленных из листовой стали 08 пс. Он имеет ярко выраженные максимумы на частотах 2; 2,5; 6,3; 10; 12,5; 16кГц.

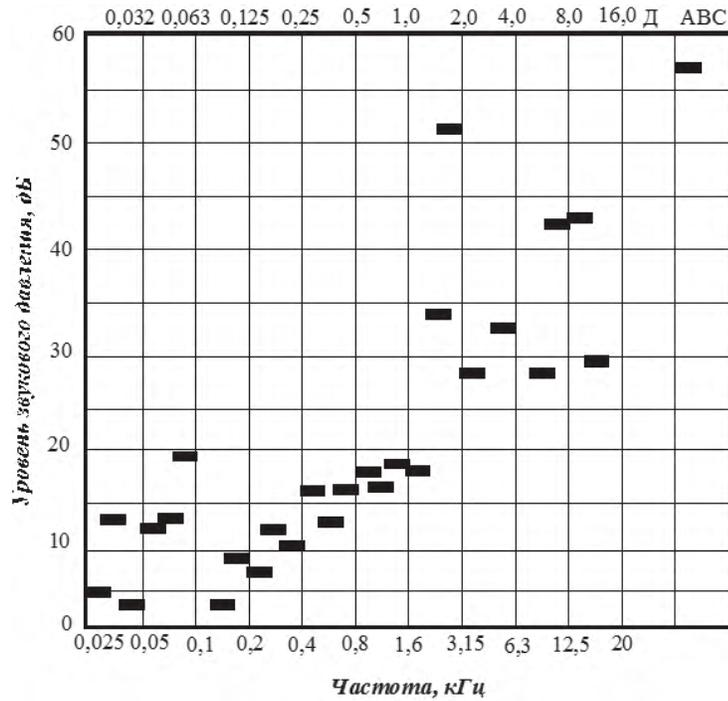


Рисунок 2. Третьооктавный спектр звукоизлучения для стали 08пс.

В качестве основной характеристики акустодемпфирующей способности исследуемых материалов выбрали скорость затухания звука, пропорциональному коэффициенту потерь. Скорость затухания звука, исследуемых образцов после возбуждения свободных колебаний, определяли по осциллограммам, показывающим время затухания колебаний ( $\tau_3$ ) от максимального значения амплитуды на экране осциллографа до нулевого значения, время соударения ( $\tau_c$ ) (рис. 3) и общий уровень звукового давления по шкале импульсного шумомера, а также частотный УЗД на экране осциллографического индикатора анализатора в реальном масштабе времени.

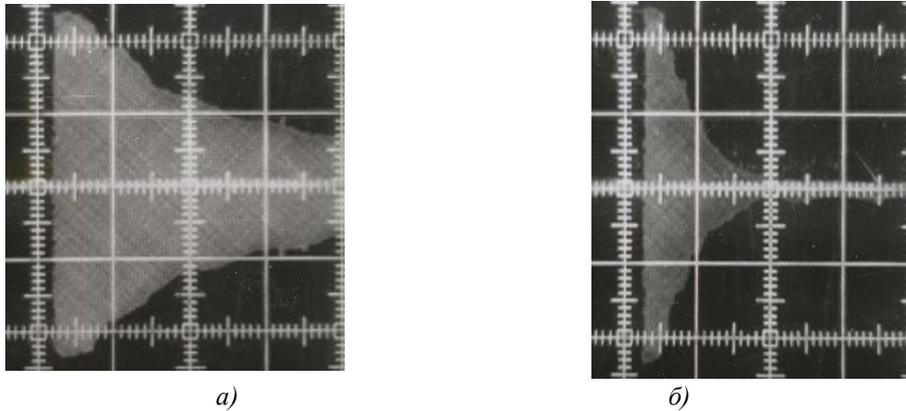


Рисунок 3. Осциллограммы затухающих колебаний  
а) сталь 45; б) акустодемпфирующий материал.

Скорость затухания звуковых колебаний пластины из металлических материалов в зависимости от физико-механических свойств материала и параметров звукоизлучения определяли зависимостью:

$$d_3 = \left(\frac{40}{\tau_3}\right) \lg\left[\left(\pi \cdot \tau_c\right) \sqrt{\frac{D}{\rho \delta}} / a^2\right]; \quad (9)$$

отсюда,

$d_s$  – скорость затухания звука, дБ/мс;

$\tau_3$  - продолжительность звучания, вызванная импульсным ударом, с;

$\tau_c$  - продолжительность соударения, с;

$a$  – стороны квадрата поверхности пластины, м;

$\rho$  - плотность материала пластины, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta$  - толщина пластины, м;

$D=(E\delta^3)/12(1-\mu^2)$  – цилиндрическая жесткость пластины;

где  $E$  - модуль упругости материала пластины, МПа;

$\mu$  - коэффициент Пуассона.

Методы исследования акустических свойств материалов с использованием импульсной или ударной схемы возбуждения в образце звуковых колебаний, позволяют определить не только звукоизлучение металлов, характеризующиеся уровнем звукового давления и частотным спектром продолжительности звуковых колебаний, а также внутреннее рассеяние энергии. Поскольку колебания и звук, возникающие при действии единичного импульса на механическую систему, затухают в результате энергии, обусловленной внутренними и внешними потерями [6]. Тем более между скоростью затухания звука в материале и величиной внутреннего трения имеются взаимосвязанные соотношения [7], который связывают скорость продольных звуковых волн с модулем нормальной упругости и демпфированием, следующим уравнением:

$$v_{з.г} = 99.05 \sqrt{\frac{E_o}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}} = C \cdot \sqrt{E_o}; \quad (10)$$

где:  $\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

Имеется и другое соотношение [8], связывающие внутреннее трение в металле с характеристиками его звукоизлучения при колебаниях

$$Q_n^{-1} = \frac{7.78 \sqrt{m_n \sigma_o (1-\mu^2)} R_u}{[d_n \sqrt{m_u} + 1.59 K_2 (m_n \cdot V_o) K_1 \sqrt{\sigma_o R_u} \{ (\frac{m}{a})^2 + (\frac{n}{b})^2 \} \sqrt{Eh^3}}]; \quad (11)$$

где  $d_n$  – скорость затухания звуковых колебаний пластины, дБ/с;  $E$  – модуль нормальной упругости; - коэффициент Пуассона;  $h$  – толщина пластины, м;  $a, b$  – линейные размеры пластины, м;  $m, n$  -1,2,3 ... - целочисленные значения, определяющие количество полувольт, укладываемых в пластине;  $D=Eh^3/12(1-\mu^2)$  – цилиндрическая жесткость пластины при изгибе.

Исследование акустических характеристик (частотная зависимость уровня звукового давления и общий уровень звука) и демпфирующая способность (скорость затухания звука и коэффициент внутреннего трения), а также механические свойства акустодемпфирующих материалов на основе алюминиевых сплавов показали сопоставимость результатов [9].

Таким образом, используя характеристики звукоизлучения металлов, возникающего при импульсном механическом возбуждении колебаний, можно оценить акустодемпфирующую способность металлических материалов. При этом важно получать сравнимые (сопоставимые) результаты демпфирующей способности материалов и характеристики звукоизлучения, не изменяя размеры и конфигурации образцов: пластины, диски, стержни и др., а также физическую структуру материалов образца.

### Литература

1. Фавстов Ю.К. Демпфирующие сплавы. – В сб. Металловедение и термическая обработка. М.: ВИНТИ, 1984, т.18, с.98-154.
2. Борьба с шумом на производстве. Справочник /Е. Я. Юдин, Л. А. Борисов, И.В. Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е. Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с., ил.
3. Хакдодов М.М. Устройства для исследования акустодемпфирующих свойств металлических материалов. Малый патент Республики Таджикистан №0700158 от 11.12.2007, Бюлетень 49(1), 2008.
4. Cremer Н., Cermer L. Fherie der Entsehung des kloptschall. – Freguez, 1948, Bd. 2: №3 p 61-71.
5. Груман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972. – 125с.
6. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. – Киев.: Наукова думка, 1971. – 190с.

7. Takahagi T., et. al. - Journal of the Acoustical Society of Japan, 1980. – vol. 1.- №2. – p.121.
8. Борьба с шумом в черной металлургии / Б.М. Злобинский, Н.И. Дрейман, Ю.А. Климов и др. – Киев: Техника, 1973. – 200с.
9. Хакдод М.М., Одиназода Б.Н. Обеспечение экологической безопасности при воздействии виброакустических факторов на производстве /Водные ресурсы, энергетика и экология №3(2) стр. 146-153.

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

TJ	RU	EN
Ҳақдод Маҳмадшариф Маҳмуд	Хакдод Махмадшариф Махмуд	Haqdod Mahmadsarif Mahmud
Д.и.т., профессор, узви вобастаи АМИТ	Д.т.н., профессор, член. –кор. НАНТ	Doctor of technical science, professor, member of the NAST
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ	Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan
Тел:(+992) 92 771 75 53, Email: m.haqdod@gmail.com		
TJ	RU	EN
Одиназода Бозоралӣ Неъмат	Одиназода Бозорали Неъмат	Odinazoda Bozorali Nemat
Н.и.т., и.в.дотсент	К.т.н. и.о. доцент	Candidat of engineering sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)935 88 00 65, Email: bnodinazoda@gmail.com		
TJ	RU	EN
Бозоров Шамсуддин Аломуддинович	Бозоров Шамсуддин Аломуддинович	Bozorov Shamsuddin Alomuddinovich
н.и.т., муаллими калон	к.т.н, старший преподаватель	Candidat of engineering sciences
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
Тел:(+992)555553516, Email: bozorov_shamsiddin@mail.ru		
ORCID Id 0000-0003-1105-068X		

# ТЕХНОЛОГИЯИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК 62-977

## ГАЗООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УГЛЯ С КИСЛОРОДОМ

<sup>1</sup>Гайбуллаева З.Х., <sup>2</sup>Гадоев Т.Х., <sup>1</sup>Асроров Б.И., <sup>1</sup>Бахриддинзода Ш.Б.,

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество «Азот»

В статье рассмотрены взаимодействия угля с кислородом, который протекает одновременно по двум основным реакциям, определяющим как суммарную скорость всего процесса, так и характер газообразования. Первой групповой реакцией является окисление угля, а вторым горением углерода. Реакция горения углерода протекает со скоростью, где концентрация кислорода у реакционной поверхности выше на 3-4% и температура выше 700-800°C.

**Ключевые слова:** уголь, окисление, углерод, кислород, газообразование, температура, давление, реактор.

## ҲОСИЛШАВИИ ГАЗ ТАҲТИ ТАЪСИРИ ОКСИГЕН БА АНГИШТ

Гайбуллоева З.Х., Гадоев Т.Х., Асроров Б.И., Бахриддинзода Ш.Б.

Дар мақола омӯзиши раванди таъсири мутақобилаи ангишт бо оксиген, дар раванди то газноккунии ангишт, тавассути ду реаксия асосӣ оксидшавии карбон ва сӯхтани он амалӣ мегардад. Суръати гузариши раванд хусусияти пайдоиши газро муайян мекунад. Реаксия сӯхтани карбон бо суръате амалӣ мешавад, ки консентратсияи оксиген дар сатҳи реаксия 3-4% ва ҳарорат аз 700-800°C зиёд мешавад.

**Калидвожаҳо:** ангишт, оксидшавӣ, карбон, оксиген, ҳарорат, фишор, реактор.

## GAS FORMATION DURING THE INTERACTION OF COAL WITH OXYGEN

Gaibullaeva Z.H., Gadoev T.H., Asrorov B.I., Bahriddinzoda SH.B.

The article discusses the study of the process of interaction of coal with oxygen, which proceeds simultaneously through two main reactions that determine both the total rate of the entire process and the nature of gas formation. The first group reaction is the oxidation of coal, and the second is the combustion of carbon. The carbon combustion reaction proceeds at a rate where the oxygen concentration at the reaction surface is higher by 3-4% and the temperature is higher than 700-800°C.

Key words: coal, oxidation, carbon, oxygen, temperature, pressure, reactor.

### Введение

Комплексное энергохимическое использование твердых топлив ставит перед собой две по существу совершенно различные задачи. Первой по существу является рациональное использование органической и минеральной частей твердых топлив. Второй задачей является использование температурного потенциала, который может быть получен при сжигании данного сорта топлива. В Таджикистане, где принята «Стратегия развития промышленности на период до 2030 года», необходимо формировать тенденцию рационального использования минеральных и топливно-энергетических ресурсов страны и научно обосновывать технологии использования твердых топлив и тем самым способствовать развитию промышленности [1].

Решение первой задачи заключается в эффективном использовании продуктов органической массы твердого топлива, например, через коксование и сжигание полукокса, и с другой стороны, к использованию минеральной части угля-золы для производства тех или иных ценных строительных материалов, например, цемента [2].

Вторая задача является более сложной. При сжигании топлива мы можем достичь определенного нагрева продуктов сжигания, который зависит от концентрации кислорода в дутье, от состава окислителя, от состава топлива и от условий сжигания. В зависимости от того, каким путем и для каких целей используется далее тепло продуктов горения угля, можно в различной степени использовать их температурный потенциал.

Согласно сообщению Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан в 2022 году в Таджикистане было добыто более 2,5 млн.т твердого топлива (угля) [3]. Многие химические, металлургические и другие процессы могут протекать только при строго заданном температурном режиме, иначе они либо неосуществимы, либо не отвечают заданным показателям по качеству продукции или по производительности [4]. Таковы многочисленные химические процессы, в том числе производство  $\text{CaC}_2$ , производство цемента, производство коагулянтов, производство минеральных удобрений, восстановление окислов металлов, и т.д. Многие химические процессы и реакции сами по себе слабо экзо- или эндотермичны, однако для доведения реагирующих веществ или перерабатываемых веществ до заданной требуют значительного расхода высокопотенциального тепла, который можно получить при использовании угля

инновационными технологиями [5]. Использование новых современных технологий применения угля для производства тепла и химических продуктов, как правило, является выгодным как в экономическом, так и экологическом значении.

### Процесс взаимодействия угля с кислородом

До газификации угля важную роль играет процесс горения каменного угля [6] и процесс взаимодействия угля с кислородом, который протекает одновременно по двум основным реакциям, определяющим как суммарную скорость всего процесса, так и характер газообразования.

Первой групповой реакцией является окисление угля (далее в работе приводится углерод, так как в составе угля углерод составляет более 81%), а следующей является горение углерода. Реакция горения углерода протекает со скоростью, где концентрация кислорода у реакционной поверхности выше на 3-4% и температура выше 700-800°C.

В настоящей работе приведены результаты окисления углей кислородом. Рассмотрен процесс до воспламенения углерода. Схема протекания процесса окисления может быть выражена в виде следующих уравнений:



Первым этапом процесса окисления углерода является образование поверхностного окисла и адсорбированного кислорода.

Согласно [7], на поверхности каменного угля может образоваться несколько поверхностных газовых окислов, в нашем исследовании образуются газы окислов  $C_2O_4$  и разлагаются на поверхности угля. Реакция (4) играет заметную роль при малых давлениях кислорода и высоких температурах. В наших исследованиях состав газа определяется реакцией (3) с образованием газов  $CO$  и  $CO_2$ .

### Методика проведения исследований

Эксперименты проводились с использованием газогенератора газификации угля (рис.1). Температура для исследования была выбрана между интервалом от 600 до 1200°C.

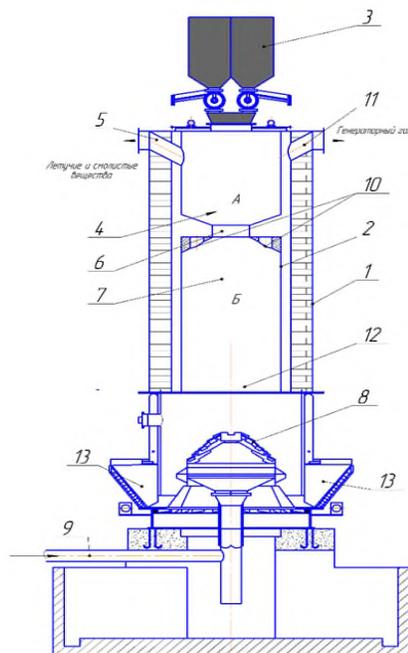


Рисунок 1 – Экспериментальный газогенератор угля

А-верхняя ступень реактора; Б-нижняя ступень реактора; 1-внешний футерованный корпус реактора; 2-внутренний стальной корпус реактора; 3-загрузочное устройство для подачи угля в реактор; 4-камера реактора нагрева угля и получения пластифицированного углерода; 5-штуцер для отвода газообразных летучих и смолистых компонентов состава угля; 6- устройство для подачи углерода из верхней ступени в нижнюю ступень реактора; 7-камера реактора для газификации углерода; 8-вращающаяся колосниковая решетка для распределения газообразного окислителя в объёме зоны газификации углерода; 9- входной штуцер для подачи веществ окислителей в реактор; 10- сетчатая часть стенки внутреннего корпуса реактора для прохождения генераторного газа из зоны реакции в межкорпусное пространство реактора; 11- выходной штуцер для отвода генераторного газа из реактора в котёл утилизатора тепла; 12 - решетка для улавливания непрореагировавших частиц углерода; 13-выходное устройство для выгрузки золы из реактора.

Рассмотрим процесс окисления углерода по реакции (2) и (3). В работе [8] показано, что адсорбция на поверхности углерода протекает при весьма малых давлениях кислорода  $O_2$  и даже при сравнительно высокой температуре. Таким образом, адсорбция практически не влияет на скорость окисления и порядок процесса по кислороду. Кинетическое уравнение реакции (2) можно описать уравнением:

$$(-dC|dt)' = K_0(S - \beta_x), \quad (5)$$

где:  $(-dC|dt)'$  - скорость расходования кислорода на поверхности угля по реакции (2);  $K_0$  - константа скорости реакции (2);  $S$  - реакционная поверхность углерода;  $\beta_x$  - поверхность углерода, занятая поверхностным окислом.

Кинетическое уравнение реакции (3) можно описать уравнением:

$$(-dx|dt) = K_p \beta_x C, \quad (6)$$

где:  $(-dx|dt)$ - скорость разложения окисла  $C_2O_4$  по реакции (3);  $K_p$  - константа скорости реакции (3);  $C$  - концентрация кислорода у реакционной поверхности угля;

При установившемся режиме скорость разложения поверхностного окисла и скорость его образования равны [7]. Общая скорость расхода кислорода на процесс окисления углерода можно представить следующим уравнением:

$$(-dC|dt)' = \frac{K_p C S}{1 + \frac{K_p}{K_0} C}, \quad (7)$$

$$K_0 = K_1 e^{-\frac{q_1}{RT}} \quad (8)$$

$$K_p = K_2 e^{-\frac{q_2}{RT}} \quad (9)$$

где:  $E_{a1}$  и  $E_{a2}$  – соответственно энергии активации образования и разложения поверхностного окисла,  $T$  – температура реакционной поверхности.

Подставляя в уравнение (7)  $K_0$  и  $K_p$  из уравнения (8) и (9), получаем:

$$(-dC|dt)' = \frac{K_2 e^{-\frac{q_2}{RT}} C S}{1 + \frac{K_2 e^{-\frac{q_2}{RT}}}{K_1 e^{-\frac{q_1}{RT}}} C}, \quad (10)$$

В наших исследованиях величина  $C$  – концентрация кислорода у реакционной поверхности угля зависит от условий реагирования и экспериментально в ряде случаев трудно определима. Выведенные уравнения были использованы в изучении механизма окисления углей и были применены в методике экспериментальных работ [9].

Окисление угля при температурах ниже так называемой температуры воспламенения угля соответствует кинетической области гетерогенного процесса, когда с практической точностью

$$C_r = C \quad (11)$$

где:  $C_r$  - концентрация кислорода в газовом объеме. В этих условиях скорость окисления углерода  $W_0$  на единицу поверхности углерода определяется из следующего уравнения:

$$W_0 = \frac{K_r C_r}{1 + \frac{K_r}{K_0 C_r}} \quad (12)$$

Рассматривая поверхностный окисел  $C_3O_4$  образующийся по реакции (2) и способный разлагаться по реакции (3), как вполне определенное физико-химическое соединение, следует отметить два важных момента:

1. От характера поверхности угля, т.е. от его активности, должна в сильной мере зависеть величина  $E_{a1}$  реакции образования этого поверхностного окисла;

2. Величина энергии активации разложения этого поверхностного окисла не должна сильно меняться при окислении различных сортов угля.

Рассматривая уравнение (12) необходимо отметить, что при уменьшении значения  $C_r$ , как и при уменьшении отношения  $\frac{K_p}{K_0}$ , кажущийся суммарный порядок процесса окисления по кислороду приближается к первому и, наоборот, при увеличении  $\frac{K_p}{K_0}$  или  $C_r$  приближается к нулевому.

### Результаты исследований

Проверка уравнения (12) и сделанных из него выводов проведена для ряда опытных образцов углей. На рис.2. приведены экспериментальные точки по скорости окисления бурого угля при различной температуре реагирования и концентрации кислорода в газе.

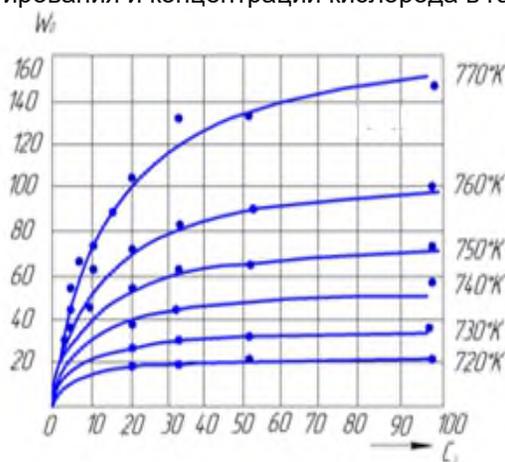


Рисунок 2 – Зависимость скорости процесса окисления бурого угля от концентрации кислорода

Теоретические кривые проведены по уравнению (12). Каждая из изотерм окисления угля соответствует определенным значениям  $K_p$  и  $K_0$ .

На рис. 3 приведена зависимость  $K_0$  и  $K_p$  для угля от температуры. Показано, что полученные значения  $K_0$  и  $K_p$  описываются уравнениями (8) и (9). Энергия активации реакции (2)  $E_{a1}$  соответствует 43000 кал/моль (180 кДж/моль), а реакция (3)  $E_{a2}$  соответствует 47000 кал/моль (197 кДж/моль).

При окислении угля при понижении температуры реагирования от отношения  $\frac{K_p}{K_0}$  растёт, а суммарный кажущийся порядок процесса по кислороду изменяется, приближаясь к нулевому.

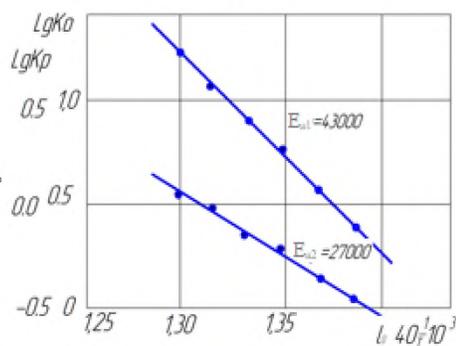


Рисунок 3 – Зависимость константы скорости образования поверхностного окисла  $K_0$  и константы скорости разложения этого окисла  $K_p$  от температуры угля.

На рис.4. представлены экспериментальные результаты скорости окисления каменного угля в зависимости от температуры и концентрации кислорода. Полученные кривые, построенные согласно уравнению (12), также удовлетворительно описывают экспериментальный материал. Каждой кривой соответствует определенное значение  $K_0$  и  $K_p$ .

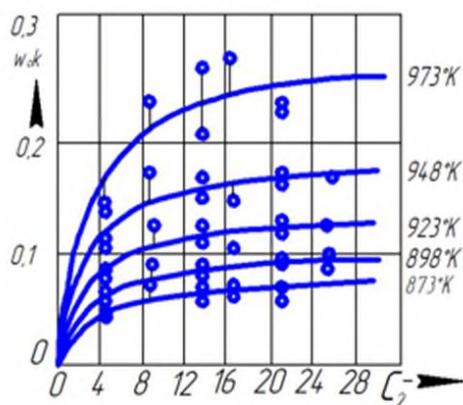


Рисунок 4 – Зависимость скорости процесса окисления взвеси каменного угля от концентрации кислорода в газе

На рис.5. приведены результаты зависимости константы скорости образования поверхностного окисла ( $K_0$ ) и константы скорости разложения этого окисла ( $K_p$ ) от температуры углерода состава каменного угля.

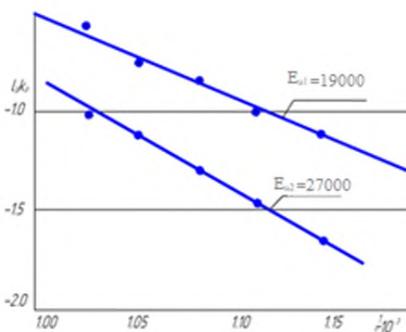


Рисунок 5 - Зависимость константы скорости образования поверхностного окисла ( $K_0$ ) и константы скорости разложения этого окисла ( $K_p$ ) от температуры углерода состава угля по результатам эксперимента

Полученные значения соответствуют для  $E_{a1} = 19000$  кал/моль (79 кДж/моль) и  $E_{a2} = 27000$  кал/моль (197 кДж/моль).

### Выводы

В процессе газификации угля, которая предложена как экологически и экономически выгодная технология использования тепла и получения химических веществ состава угля, важную роль играет процесс горения угля и процесс взаимодействия их с кислородом. Реакция протекает одновременно по двум основным реакциям, определяющим как суммарную скорость всего процесса, так и характер газообразования. Показано, что для бурых углей энергия активации реакции на поверхности угля составляет  $E_{a1} = 43000$  кал/моль (180 кДж/моль), а для реакции образования окиси углерода и двуокиси углерода из поверхностных соединений  $C_2O_4$  соответствует  $E_{a2} = 47000$  кал/моль (197 кДж/моль). Для каменных углей соответственно,  $E_{a1} = 19000$  кал/моль (79 кДж/моль) и  $E_{a2} = 27000$  кал/моль (197 кДж/моль).

Как видно, результаты величин для  $E_{a2}$  для бурых и каменных углей совпадают. Величина  $E_{a1}$  бурых углей значительно меньше значений при использовании каменных углей. Это объясняется его высокой активностью.

### Литература

1. Постановление Правительства Республики Таджикистан №159 от 28 марта 2018 г.
1. Гайбуллаева З.Х., Бахриддинзода Ш.Б., Асроров Б.И., Шарифов А. Получение восстановительных веществ способом переработки углей Фон Ягноб. Политехнический вестник, серия Инженерные исследования №4 (56), 2021, -с. 92-97.
2. Состояние угольного сектора Республики Таджикистан. Д: Маленькая земля, 2019. – 23 с.
3. Справочник химика 21. Химия и химическая технология. Т.1 часть 2, 1986, - 205 с.
4. Гайбуллаева З.Х., Асроров Б.И., Насимов Г.Т., Шарифов А. Безотходная технология газификации угля для получения тепла и химических веществ. **Горный журнал №9, 2022, - с. 62-68.**
5. Wenbin Zhao, Yang Liu, Juan Zhao. Synthesis of a novel composite component inhibitor and its flame-retardant effect on coal. Case Studies in Thermal Engineering. No 38. 2022. –p. 1023-1034.
6. Патент №2600639. Российская федерация. МПК C10J3/ 00 B82Y 40 00/ Способ газификации низко реакционных твердых топлив. Н.Н. Ефимов, Д.А. Шафорост, А.А. Белов, Н.В. Федорова, Б.Г. Бакун.
7. Andrey V. Zhuikov and Anatoly I. Matiushenko. Methods for Producing and Practical Use of Synthesis Gas. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2020 13(4). -P. 383-405.
8. Патент Евразии № 037398. Способ газификации угля для производства тепла и химических веществ. З.Х. Гайбуллаева, А. Шарифов, Ф.Х. Хамроев, Г.Г. Шодиев.

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

TJ	RU	EN
Гайбуллоева Зумрат Ҳабибовна.	Гайбуллаева Зумрат Хабибовна	Gaibullaeva Zumrat Habibovna
н.и.х., дотсент	к.х.н., доцент	k.h.s., dosent
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik technical University by name of academic M.S.Osimy
zumratihabib@rambler.ru		
ORSID ID: 0000-0002-0243-8140		
Гадоев Тоҷиддин Хусниддин.	Гадоев Тоджиддин Хусниддин	Gadoev Tojiddin Husniddin
директори техникӣ	технический директор	director of technician
ҶСК Азот	ОАО Азот	OAO Azot
Gadoev80@mail.ru		
TJ	RU	EN
Бахриддинзода Шоҳин Бахриддин унвонҷуй	Бахриддинзода Шоҳин Бахриддин соискатель	Bahriddinzoda Shohin Bahriddin Postgraduate student

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik technical University by name of academic M.S.Osimy
Shohin96@ mail.ru		
TJ	RU	EN
Асроров Баҳодур Илҳомович унвонҷӯй	Асроров Баҳодур Илҳомович соискатель	Asrorov Bahodur Ilhomovich Postgraduate student
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik technical University by name of academic M.S.Osimy
<a href="mailto:bahodur177@inbox.ru">bahodur177@inbox.ru</a>		

УДК 546.273÷521.633

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БОРОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ СПЕКАНИЕМ С ХЛОРИДОМ МАГНИЯ

Савзаева Ш.Х.

Институт химии им. В.И. Никитина НАНТ

В данной работе приводятся результаты исследования переработки боросиликатного сырья Ак-Архарского месторождения методом спекания с хлоридом магния, и предлагается технологическая схема процесса для каждой технологической ветви: спекания сырья с хлор магнезитом, водная обработка полученного спека, а также соляно-кислотное разложение твёрдого силикатного остатка. Установлены оптимальные параметры проведения процессов переработки.

Ключевые слова: боросиликаты Ак-Архарского месторождения, спекание с хлор магнезитом, спек, водная и соляно-кислотная обработка спека, извлечение компонентов сырья, ассортимент получаемой продукции.

## ТЕХНОЛОГИЯИ КОРКАРДИ МАЪДАНИ БОРОСИЛИКАТӢ ДАР ГУДОХТАКУНӢ БО ХЛОРИДИ МАГНИЙ

Савзаева Ш.Х.

Дар кори мазкур натиҷаҳои таҳқиқи коркарди маъдани боросиликати кони Ак-Архар бо усули гудохтакунӣ бо хлориди магний оварда шудааст ва барои ҳар як шохай технология тарҳи раванди технологӣ пешниҳод гардидааст: гудохтакунии маъдан бо хлормагнезит, коркарди оби гудохтаи ҳосилшуда, ҳамзамон таҷзияи такхони саҳти силикатӣ бо кислотаи хлорид. Бо таҳқиқотҳо шартҳои муътадили амалигардонии равандҳои коркард муқаррар карда шудааст.

Калимаҳои калидӣ: боросиликатҳои кони Ак-Архар, гудохтакунӣ бо хлор магнезит, гудохта, коркарди обӣ ва кислотагии гудохта, ҷудокунии ҷӯзҳои ашё, намудҳои маҳсулоти ба даст омада.

## TECHNOLOGY FOR PROCESSING BOROSILICATE RAW MATERIALS BY SINTERING WITH MAGNESIUM CHLORIDE

Savzaeva Sh.Kh.

**Abstract:** This paper presents the results of a study of the processing of borosilicate raw materials from the Ak-Arkhar deposit by sintering with magnesium chloride, and proposes a process flow diagram. Research has established the optimal modes of processing for each technological branch: sintering of raw materials with chlorine magnesite, water treatment of the resulting sinter, as well as hydrochloric acid decomposition of the solid silicate residue.

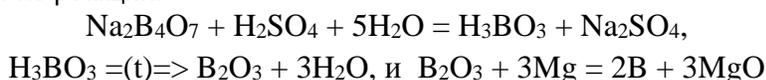
**Key words:** borosilicate's of the Ak-Arkhar deposit, sintering with chlorine magnesite, sinter, water and hydrochloric acid treatment of sinter, extraction of raw material components, range of products obtained.

### Введение

Многообразие состава и свойств руд горно-химического сырья дает возможность использовать их в различных отраслях народного хозяйства. В рудах некоторых месторождений кроме основного компонента содержится один или несколько ценных минералов или элементов, каждый из которых может представлять промышленный интерес. Комплексная переработка местных минеральных руд является эффективным способом получения широкого ассортимента товарных продуктов для нужд населения и промышленности. Одним из таких видов сырья являются боросиликатные руды месторождения Ак-Архар Таджикистана, из которых могут быть получены борная кислота, соли алюминия и железа, строительные материалы, соли магния и кальция и др. [1-3].

**Общие данные бора и его соединения.** Бор играет исключительно большую роль в жизни растений и является важным микроудобрением. Бор увеличивает морозоустойчивость фруктов, томатов и других культур. Проведённые исследования по комплексной переработке боратных руд Памирского региона дают возможность в перспективе организовать производство бора и его соединений.

Из справочной литературы известно, что бор не металл, проявляет степень окисления (+3), и для него не характерны отрицательные степени. Из-за большой активности в свободном состоянии в природе не встречается. Основные минералы – бораты ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – бура;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - сассолин). Соединение бора и свободный бор получают по реакции:



В обычных условиях бор инертен и реагирует лишь только с фтором. При нагревании от 400 до 1300 градусов может взаимодействовать с O, S, Cl, N и C. С водородом бор не взаимодействует [4-6].

Целью настоящей работы является исследование процессов совместной переработки борсодержащих руд: Ак-Архар Республики Таджикистан методом спекания с хлоридом магния (хлор магнезитом), определение оптимальных технологических условий процесса спекания.

**Физико-химические характеристики сырья.** Боросиликатные руды месторождения Ак-Архар имеют сложный химический и минералогический состав:  $B_2O_3$  - 10,4;  $SiO_2$  - 59,8;  $Al_2O_3$  - 1,27;  $Fe_2O_3$  - 2,2;  $FeO$  - 1,39;  $CaO$  - 19,6;  $MgO$  - 0,75;  $TiO_2$  - 0,15;  $MnO$  - 0,29;  $K_2O$  - 0,1;  $Na_2O$  - 0,03;  $P_2O_5$  - 0,11; примеси - 3,91% [5-8].

Основными породообразующими минералами боросиликатной руды месторождения Ак-Архар являются: данбурит ( $CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), датолит ( $2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), пироксены ( $CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$ ), гранат ( $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$ ), в меньшей мере присутствует гидроборацит ( $CaO \cdot MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 6H_2O$  или  $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$ ).

Пустая порода представлена гипсом  $CaSO_4 \cdot nH_2O$ , глинистыми минералами (гидрослюда  $(Na)Al_2 \cdot (AlSi_3) \cdot O_{10}[(OH)_2 \cdot H_2O]$ ), кварцем ( $SiO_2$ ) и монтморил-лонитом ( $[Na, Ca]_{0,33}(Al, Mg, Fe)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ ).

Результаты РФА исходной боросиликатной руды приведены на рисунке 1.

Рентгенофазовый анализ сырья выполнялся на дифрактометре ДРОН-2 по методу «порошка». Использовалось излучение  $SiK\alpha$  (фильтр никелевый). Запись дифрактограмм проводилась со скоростью вращения 1-2°/мин при  $U = 40$  кВ,  $J = 20$  мА. Рентгенограмма исходного нефелинового сырья показана на рис.1, где четко наблюдаются линии, соответствующие минералам состава сырья: нефелина, биотита, микроклина (ортоклаза), альбита и кальцита.

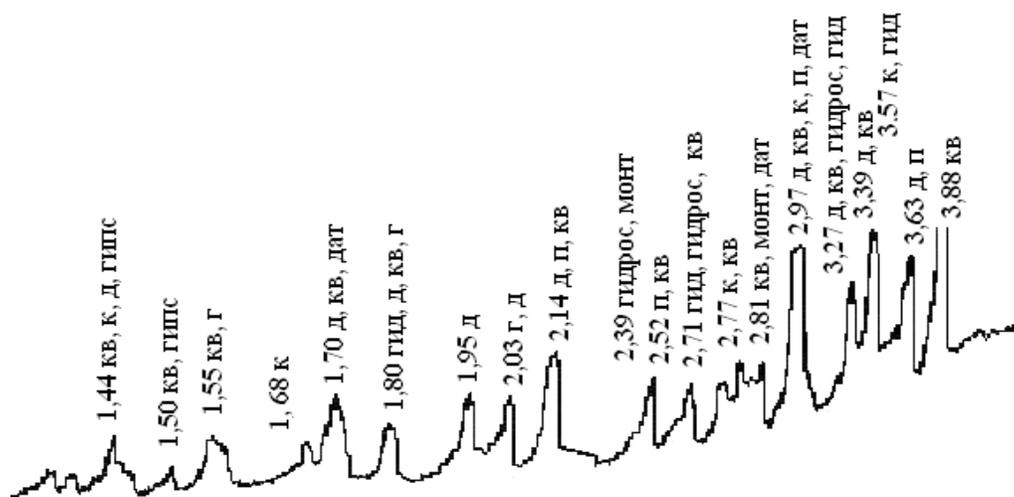


Рисунок 1 - Рентгенограмма боросиликатной руды месторождения Ак-Архар: кв. - кварц, к. - кальцит, г. - гранат, д. - данбурит, дат. - датолит, п. - пироксены, г. - гидрослюда, гид. - гидроборацит, монт. - монтмориллонит.

Результаты исследования влияния различных физико-химических факторов на процесс совместного спекания боросиликатных руд с хлоридом магния представлены на рис.2.

Влияние температуры спекания на степень разложения руды изучено в интервале от 500 до 1000°C (рис.2а). При этом неизменными факторами являлись продолжительность процесса спекания - 50 мин.; массовое соотношение боросиликатов Ак-Архар : хлорида магния равно - 1:2,0; крупность частиц руд 0,16 - 0,1 мм и менее. Степень извлечения компонентов сырья при температуре спекания 700°C уже достигает 95% и выше. Максимальное извлечение  $Al_2O_3$ ,  $B_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  находится в интервале температур 850-950°C, где значения степени извлечения компонентов находятся на уровне 98,5-99,6%.

Особым фактором, влияющим на разложение минералов боросиликатного сырья является массовое соотношение боросиликатного сырья к хлориду магния (рис.2б). Увеличение массовых соотношений сырья к

хлориду магния от 1:2 до 1:2,5 приводит к постепенному увеличению извлечения компонентов состава спека, где степень извлечения оксидов достигает, %:  $B_2O_3$  - 92,0;  $Al_2O_3$  - 94,5;  $Fe_2O_3$  - 98,8.

При массовых соотношениях сырья к хлормagneзиту 1:2 и 1:2,5 степень извлечения компонентов достигает максимума. Она находится на уровне 95,7 - 98,8%. Оптимальным массовым соотношением руды к  $MgCl_2$  можно считать 1:2, где степень извлечения компонентов находится на уровне 97,4 - 99,8 %, а массовые потоки сырьевых материалов в технологии минимально. Следует отметить, что спек, полученный спеканием хлорида магния и сырьевых материалов, представляет собой однородную массу с плотностью 2,0-2,2 г/см<sup>3</sup> тёмно-коричневого цвета и не слеживается при охлаждении.

Также исследовано влияние размера частиц исходной руды на степень извлечения компонентов её состава (рис.2г). В интервале величин диаметра частиц от 0,1 до 0,16 мм наблюдается оптимальное разложение сырья с извлечением компонентов, составляющих спек от 96,7 до 98,7%. При размере частиц сырья 0,1 мм и менее железосодержащие минералы: биотит, гранат, пироксены и монтмориллонит разлагаются полностью, где степень извлечения  $Fe_2O_3$  достигает 100%.

Влияние других факторов на разложение руды и извлечение их составляющих компонентов можно наблюдать по соответствующим графикам зависимости на рис. 2.

Таким образом, оптимальными технологическими условиями процесса совместного спекания боросиликатов Ак-Архара с хлоридом магния являются: температура процесса спекания - 900-950°C; массовое соотношение боросиликатного сырья и хлорида магния - 1:2÷2,5; продолжительность процесса спекания 45-60 мин и крупности частиц исходных сырьевых материалов 0.16 - 0,1 мм и менее.

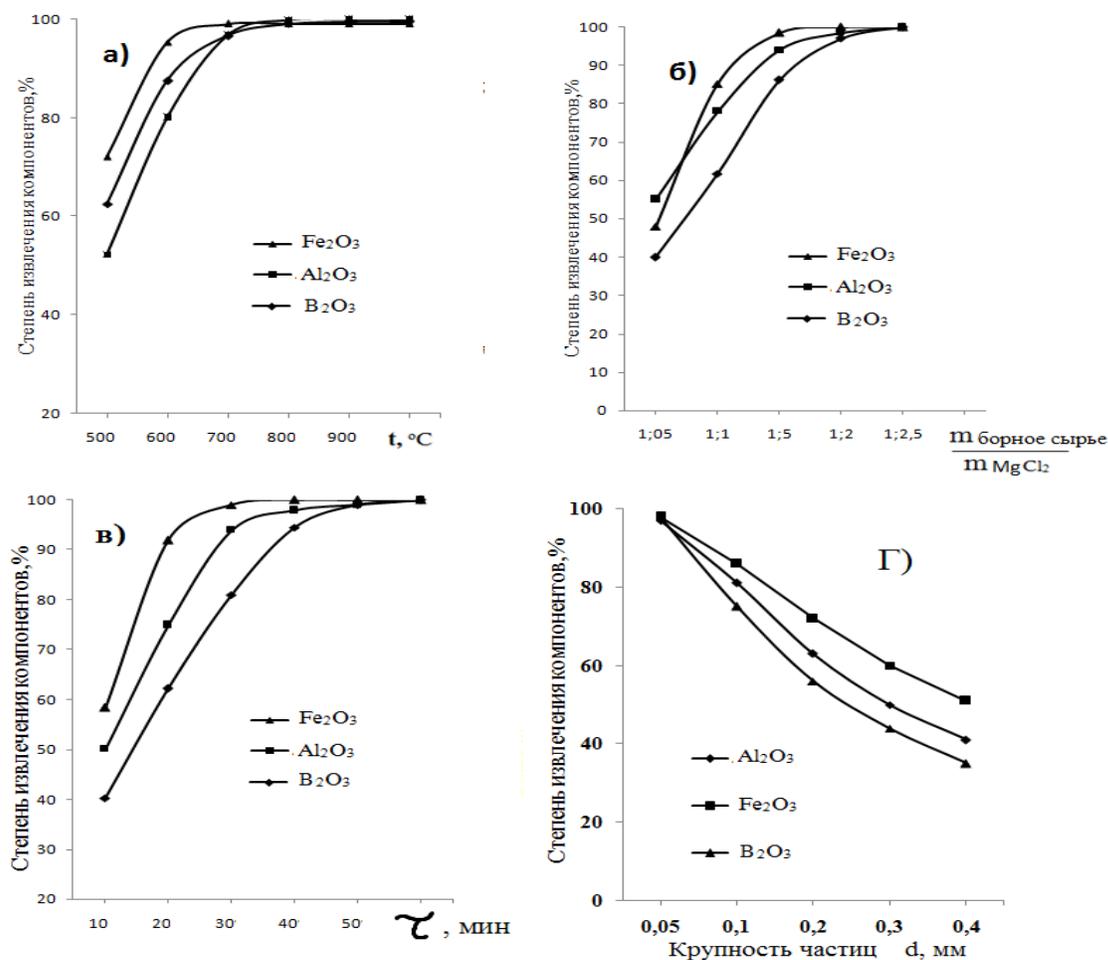


Рисунок 2 – Зависимость степени извлечения оксидов алюминия, бора, железа от температуры спекания (а); массового соотношения руд к хлориду магния (б); продолжительности спекания (в) и размера частиц исходной руды (г). 1.  $Al_2O_3$  2.  $B_2O_3$  3.  $Fe_2O_3$ .

На основании полученных данных разработана принципиальная технологическая схема переработки боросиликатного сырья месторождения Ак-Архар методом спекания с хлор магнезитом (рис.3), которая состоит из следующих основных операций: смешение руды с  $MgCl_2$ , спекание шихты, водная и солянокислотная обработка спека, разделение пульпы. Возврат непрореагировавшего остатка -  $MgCl_2$  в голову процесса спекания, разделение кремнезема фильтрацией пульпы с получением смешанных строительных материалов, борной кислоты, сырья для производства смешенной алюмо-железистых коагулянтов, железо-оксидных пигментов, а также чистой по железу геля кремниевой кислоты.

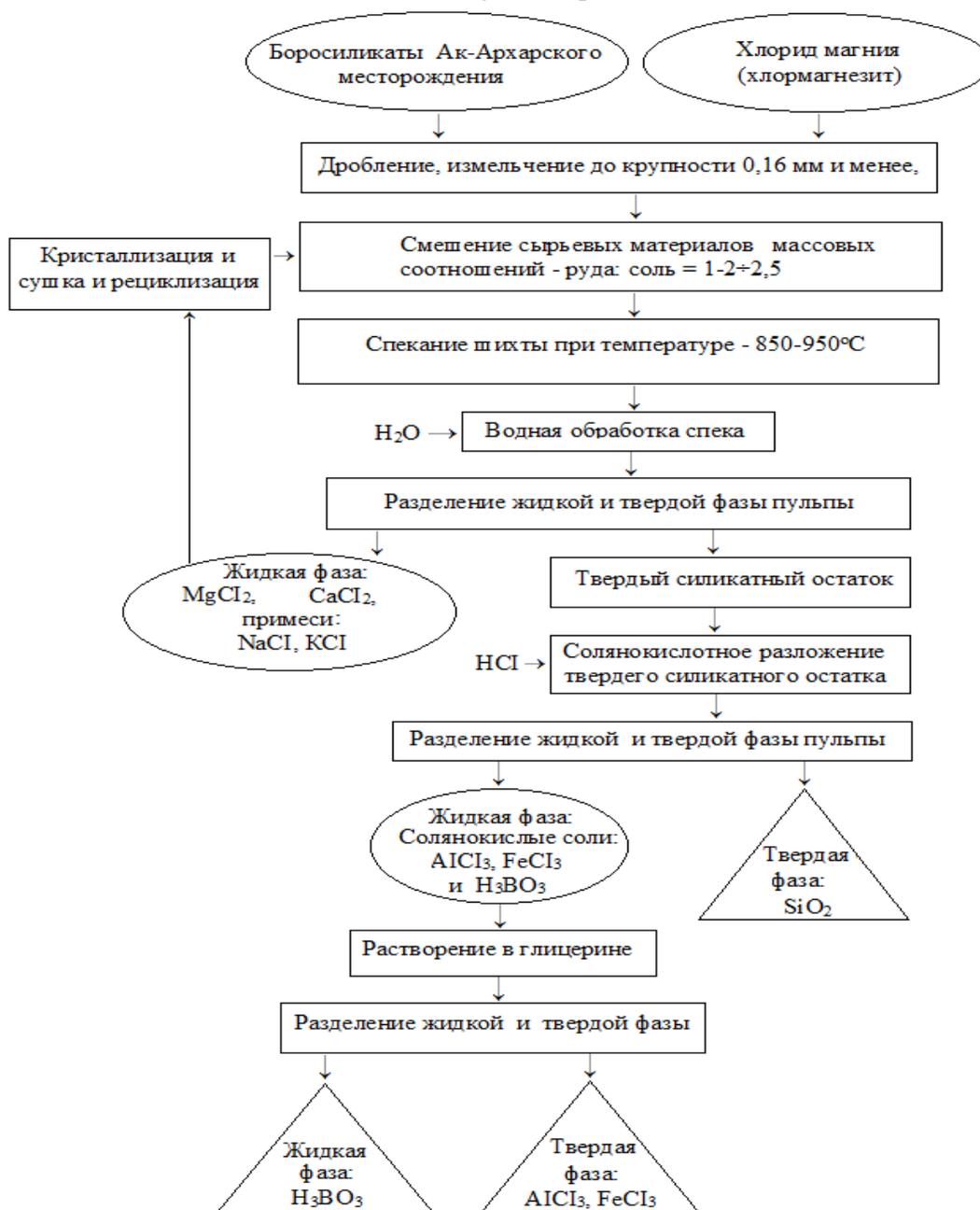


Рисунок 3 – Технологическая схема переработки боросиликатов Ак-Архарского месторождения методом спекания с хлор магнезитом

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, А.В. Сборник «Бор» / А.В. Николаев, А.Г. Курнашева // Конференция по химии бора и его соединений. -М.: ГХИ, 1958. - С.19.
9. Ткачев, К.В. Технология неорганических соединений бора / К.В. Ткачев, Ю.С. Плышевский. - Л.: Химия, 1983. - 208 с.
10. Назаров Ш.Б., Тагоев М.М., Худоёров Д.Н.. Технологические основы комплексной переработки боросиликатной руды с сульфатом натрия // Вестник ТНУ. – 2019. - №1. – С.201-205.
11. Назаров, Ш.Б. Селективные методы разложения высококремнистых алюминиевых руд минеральными кислотами / Ш.Б. Назаров, Х.С. Сафиев, У.М. Мирсаидов. - Душнбе: Дониш, 2008.- 237с.
12. Савзаева Ш.Х., Ш.Б. Назаров, З.С. Назаров, О.Х. Амиров, Х.Ш. Гулахмадов, З.С. Тураева. Л.З. Алиева, С.Д. Махмаднабиев, У.М. Мирсаидов. Химические реакции, лежащие в основе солянокислотного разложения спека, полученного от совместной переработки нефелиновых сиенитов месторождения Турпи, боросиликатной руды Ак-Архар методом спекания с хлоридом магния. Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан», посвященной 60-летию химического факультета и памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ Нуманова Ишанкула Усмановича, г. Душанбе, Таджикский национальный университет, 12-14 сентября 2020 г, с.313-314.
13. Тураева З.С., Савзаева Ш.Х., Назаров Ш.Ш., Назаров Ш.Б. Переработка нефелиновых сиенитов месторождения Турпи методом спекания с хлоридом магния. Научно-практический журнал «Энигма», Выпуск №35, 2021г.,с. 54-63.
14. Самихов, Ш.Р. Кинетика процесса выщелачивания сульфидно-мышьяковых концентратов в растворе азотной кислоты /Самихов Ш.Р., Зинченко З.А. Рукопись депонирована в НИИ Центре Республики Таджикистан. Душанбе, 16.12.2004, № 59 (1680).

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

TJ	RU	EN
Савзаева Шабнам Хушвахтовна	Савзаева Шабнам Хушвахтовна	Savzaeva Shabnam Khushvakhtovna
унвонҷу	соискатель	Competitor
Институти химияи ба номи В.И. Никнитин АМИТ	Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана	Institute of Chemistry, named by V.I. Nikitin of the National Academy of Sciences of Tajikistan
(+992) 902-802-288. E-mail: sabzaeva1985@mail.ru.		

УДК 541.64:543.422.2:615. 1/4

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ РЕПЕЙНИКА (*ARCTIUM LAPPA L*) И ДОННИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*MELILOTUS OFFICINALIS L.*)

<sup>1,3</sup>Султонов Р.А., <sup>2</sup>Юсуфи С.Дж., <sup>1</sup>Раджабов У.Р., <sup>1</sup>Наврӯззода Г.Ф., <sup>3</sup>Рахими Ф., <sup>3</sup>Юсупов И.Х.,  
<sup>4</sup>Хакимходжаев С.Н.

<sup>1</sup>ГОУ «Таджикский государственный медицинский университет имени Абуали ибни Сино»

<sup>2</sup>ГУ «Научно - исследовательский фармацевтический центр Министерства здравоохранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан»

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. С. У. Умарова НАНТ

<sup>4</sup>Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова

Методом ЭПР - спектроскопии изучена вращательная подвижность нитроксильного радикала и свойства дикорастущего лекарственного растения репейника (*arctium lappa*) и донника лекарственного (*melilotus officinalis l.*). Установлено, что при комнатной температуре выше 300°К, а также в зависимости от высоты над уровнем моря происходят структурные переходы, сопровождающиеся заметным увеличением вращательной диффузии радикала.

**Ключевые слова:** репейник, донник, ЭПР - спектры, спиновые метки, лекарственные растения, листья, молекулярная динамика, *ARCTIUM LAPPA*, *MELILOTUS OFFICINALIS L*

## ТАҲҚИҚИ МОЛЕКУЛЯРИЮ ДИНАМИКИ ВА МЕХАНИКИ РАСТАНИҲОИ ДОРУГИИ МУШХОР (*ARCTIUM LAPPA L*) ВА ЗАРДРИШҚА (*MELILOTUS OFFICINALIS L*)

Султонов Р.А., Юсуфи С.Дж., Раджабов У.Р., Наврӯззода Г.Ф., Рахими Ф., Юсупов И.Х.,  
Хакимходжаев С.Н.

Бо усули нишоии спинӣ (РЭП) динамикаи молекулавӣ ва хусусияти гиёҳи шифобахши мушхор (*arctium lappa*) ва зардришқа (*melilotus officinalis l.*) омӯхта шудааст. Муайян карда шудааст, ки дар ҳароратӣ 300°К гузаришҳои структуравӣ ба амал меоянд, ки равиши муайяни зиёдшавии ҷарҳзании диффузиони радикалро дар ҳамаи намунаҳои тадқиқшуда тасдиқ менамоянд.

**Калимаҳои калидӣ:** мушхор, зардришқа, РЭП - спектрҳо, нишоии спинӣ, растаниҳои доруворӣ, барг, динамикаи молекулавӣ, *ARCTIUM LAPPA*, *MELILOTUS OFFICINALIS L.*

## STUDY OF CORRELATION BETWEEN MOLECULAR-DYNAMIC AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE BURDOCK (*ARCTIUM LAPPA L*) AND DONNIK MEDICINAL (*MELILOTUS OFFICINALIS L.*)

Sultonov R.A., Yusufi S.J., Radjabov U.R., Navruzzoda G.F., Rakhimi F., Yusupov I.Kh.,  
Khakimkhodzhaev S.N.

The method of EPR - spectroscopy has studied the rotational mobility of the nitroxyl radical and the properties of a wild medicinal plant burdock (*Arctium Lappa*) and the Donnik medicinal (*Melilotus officinalis L.*). It was established that at room temperature above 300ct, as well as depending on the height above sea level, structural transitions occur, accompanied by a noticeable increase in rotational diffusion of the radical.

Key words: burdock, donnik, EPR - spectra, spin labels, medicinal plants, molecular dynamics, leaves, *ARCTIUM LAPPA*, *MELILOTUS OFFICINALIS L.*

**Актуальность.** Репейник и донник - известные, популярные лекарственные растения, которое широко используются как в народной медицине, так и в современной научной медицине. Современные научные исследования выявили противовоспалительные, антиоксидантные, противоопухолевые, гипогликемические, гиполипидемические, иммуномодулирующие, гепатопротективные, радиопротективные, пребиотические свойства экстрактов растений. Лекарственные растения в настоящее время являются ценным средством для лечения и профилактики хронических заболеваний. В то же время преимуществом большинства растений является их малая токсичность. Кроме того, считается, что более эффективными являются те лекарственные растения, которые произрастают в экологически чистых условиях. Они удаляют запах изо рта. Порошок растений наружно помогает при плесневых заболеваниях глаз и рта. Он укрепляет сердце.

**Целью данной** работы является изучение, исследование корреляции между молекулярно-динамическими и механическими характеристиками репейника (*arctium lappa*).

### Материал и методы исследования

Работа проводилась на кафедре фармацевтической и токсикологической химии ГОУ «Таджикского государственного медицинского университета имени Абуали ибни Сино», ГУ «Научно-исследовательский

фармацевтический центр Министерства здравоохранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан», лаборатории высокомолекулярного соединения Института химии им. В.И. Никитина НАНТ и в лаборатории молекулярной спектроскопии физико-технического института им.С.У.Умарова НАНТ.

### Результаты и их обсуждение

Метод спиновых меток является одним из эффективных методов изучения изменений молекулярной динамики биологических объектов в области её присоединения и чувствительным к молекулярной подвижности макромолекулы [5,6,7]. Изучение молекулярной структуры и свойства лекарственных растений, модифицированных спиновой меткой (I), даёт возможность исследовать изменение структуры молекул и свойства при влиянии внешних факторов.

Особенность метода спиновых меток заключается в том, что в матрицу исследуемого образца вводят стабильный нитроксильный радикал, ЭПР спектр которого чувствителен к конформационной подвижности макромолекулы, связанной с анизотропией g-фактора и сверхтонкого взаимодействия электронного спина с ядрами атома азота. Спектр ЭПР радикала зависит от его ориентации во внешнем магнитном поле [8].

Исследуемые образцы лекарственного растения девясила высокого в порошковом виде модифицировали спиновой меткой (I) по методике [9].

Спектры ЭПР регистрировали на радиоспектрометре РЭ – 1306 в стандартных молибденовых ампулах с внутренним диаметром 3.0 мм, в которые помещали по 25 мг спин-меченого образца. На рис.1 приведены ЭПР - спектры стабильного нитроксильного радикала (I) в этаноловом растворе с концентрацией  $4 \cdot 10^{-3}$  М / л , с временем корреляции ( $\tau_c < 10^{-7}$  с.) и спин – меченого лекарственного растения девясила высокого при влиянии перекиси водорода (ПВ) с различными объёмными концентрациями. С увеличением концентрации в спектрах ЭПР наблюдается уширение линии между компонентами, то есть заторможенность. Оно свидетельствует о том, что при больших значениях объёма концентрации перекиси водорода в исследуемом образце происходит процесс растворения, то есть структурное изменение сопровождается заметным увеличением вращательной диффузии радикала в изученных образцах, которые свидетельствуют об увеличении взаимодействия между молекулами и спиновой меткой. На рисунке 1. представлена зависимость разрывной прочности ( $\sigma$ ) листьев репейника от уровня радиации (R) при комнатной температуре. Можно видеть, что прочность образцов с ростом уровня радиации достаточно быстро и нелинейно падает.

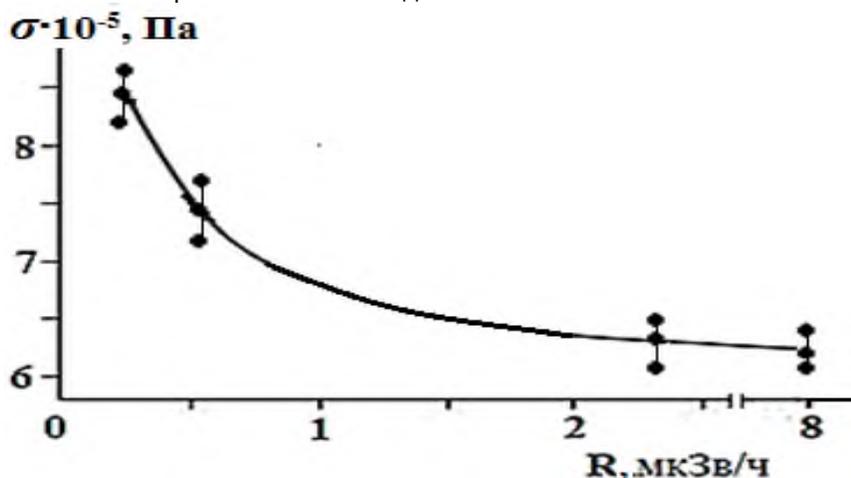


Рисунок 1 - Зависимость разрывной прочности листьев репейника от уровня радиации места прорастания.

На рисунке 2. приведены температурные зависимости разрывной прочности для образцов с двумя разными предысториями: 1 – из точек с допустимым уровнем радиации, 2 – из точек с уровнем радиации 8,4 мкЗв/час.

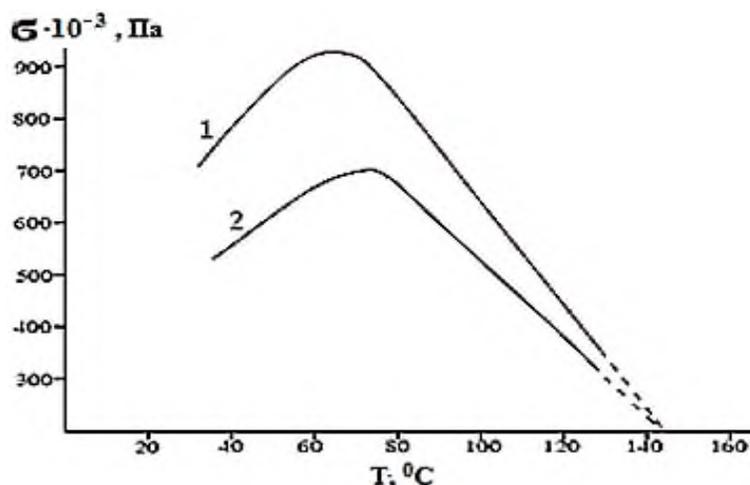


Рисунок 2 – Температурная зависимость прочности листьев репейника:

1- образцы из точек с допустимым радиационным фоном;

2- образцы из точек с радиационным фоном 8,4 мкЗв/час.

Можно видеть, что в начале с ростом температуры в обоих случаях наблюдается небольшой рост прочности образцов. Это, вероятно, связано с тем, что с повышением температуры происходит сушка образцов. Уменьшения влаги, как известно, приводит к возрастанию прочности полимеров. Далее, повышение температуры приводит к линейному спаду прочности. Максимум кривой 1 приходится на температуру ~ 60-65°C, а для кривой 2-на температуру ~ 75°C. Для определения величины энергии механического разрушения  $U_0$  и структурно-чувствительного коэффициента  $\gamma$  в уравнении долговечности нами сначала были найдены значения  $T_0$  и  $\sigma_0$  по данным рисунка 2 экстраполяцией зависимостей  $\sigma = f(T)$  к значениям  $\sigma=0$  и  $T=0$ . Далее с помощью уравнений

$$U_0 = 2.3RT_0 (\lg \phi + 13)$$

и

$$\gamma = U_0 / \sigma_0 \quad (3.4)$$

были определены значения кинетических параметров в уравнении долговечности

$$\tau = \tau_0 \exp\left[\frac{(U_0 - \gamma\sigma)}{RT}\right] \quad (3.5)$$

где  $\phi$  – долговечность - время с момента нагружения образца до разрыва,  $\sigma$  - напряжение в момент разрыва полимера,  $T$  - абсолютная температура,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $U_0$  - энергия активации разрушения в отсутствие напряжения,  $\gamma$  - структурно-чувствительный коэффициент,  $\phi_0$  - предэкспоненциальный множитель, принимаемый равным  $10^{-13}$  с.

В таблице 1. приведены физико-механические характеристики листьев репейника из точек с разными уровнями радиационного фона. Видно, что значения энергий активации разрушения  $U_0$  для образцов из обеих точек практически одинаковы, а вот структурно-чувствительный коэффициент  $\gamma$  для образца из точки В увеличивается, разрывная прочность падает. Постоянство  $U_0$  свидетельствует о том, что в обоих случаях разрушению подвергаются одни и те же внутримолекулярные межатомные связи.

Таблица 1 – Сравнительные физико-механические характеристики листьев репейника из точек с разными уровнями радиационного фона

Место произрастания	Мощность радиации R, мкЗв/ч	$\sigma$ , 105 Па	$U_0$ , ккал/моль	$\gamma$ , ккал/Па моль	Еэфф, ккал/моль
точка А	0.22	8.39	8.55	0.5	0,703
точка В	8.40	6.45	8.28	0.7	0,520

Из таблицы 1. видно, что эффективная энергия активации ( $E_{эфф}$ ) вращательной диффузии спиновых меток для поражённых образцов уменьшается.

Для выяснения особенностей влияния радиационного фона и степени загрязнённости почв места прорастания растений на механизм молекулярного структурообразования в них в качестве объекта исследования нами был выбран репейник (лопух большой), собранный из разных точек хвостохранилища Дигмай во время цветения (табл. 2).

Таблица 2 – Радиационный фон места произрастания репейника

Место произрастания	Радиационный фон, мкЗв/час
точка А	0.20
точка В	2.70
точка С	8.40

Спектры ЭПР объектов снимали на радиоспектрометре РЭ-1306, условия записи для которого приведены. Интенсивность сигнала образца сравнивалась с интенсивностью сигнала эталонной навески двухвалентного  $Mn^{+2}$  в окиси магния  $MgO$  по количеству парамагнитных центров.

На рисунке 3 представлены синглетные спектры ЭПР стабильных радикалов в сухих листьях репейника в зависимости от радиационного фона места произрастания. Видно, что спектры ЭПР растений из разных точек имеют различную интенсивность, но одинаковую ширину ( $\Delta H_0$ ).

Спектры синглетны, что свидетельствует о суперпозиции сигналов ЭПР, то есть о наличии свободных радикалов разного типа и отсутствии сверхтонкого взаимодействия (СТВ).

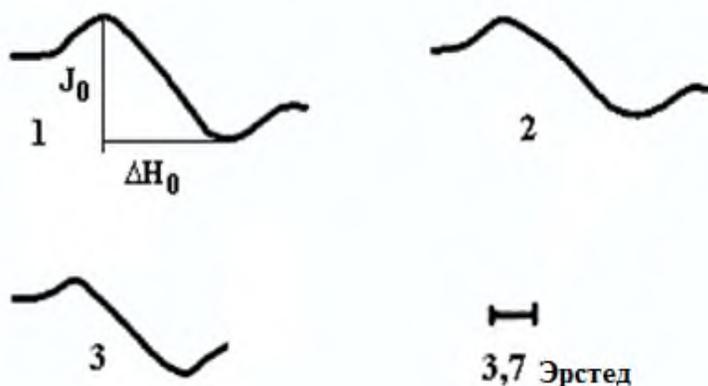


Рисунок 3 - Спектры ЭПР листьев репейника из разных точек Дигмая: 1 - из точки А; 2 - из точки В; 3 - из точки С. Количество стабильных радикалов рассчитывали по формуле:

$$C_R = C_{эт} \frac{J_0}{J_{эт}}$$

где  $C_{эт}$  – количество свободных радикалов в эталоне,  $J_{эт}$ ,  $J_0$  – интенсивность спектров ЭПР эталона и исследуемого образца соответственно.

В таблице 3. приведены количественные параметры спектров ЭПР в зависимости от точек сбора (уровня радиационного фона). На рисунке 4. представлен график зависимости количества парамагнитных центров  $C_R$  образцов листьев репейника от мощности радиационного фона местности  $R$ . Как видно из рисунка, максимальное количество свободных радикалов содержится у образцов из точки А с мощностью радиационного фона 0,20 мкЗв/ч, что не превышает норму. В точке С радиационный фон составляет 8,4 мкЗв/час, а содержание свободных радикалов наименьшее из всех.

Таблица 3 – Параметры спектров ЭПР и количество парамагнитных центров в листьях репейника из разных мест произрастания.

Место сбора образцов, Рад. Фон.	$J_0$ , мм	$\Delta H_0$ , мм	$C_R \cdot 1012$ , спин/мг
точка А, (0,20 мкЗв/ч)	22.0	12	15.7
точка В, (2.70 мкЗв/ч)	18.0	12	12.8
точка С, (8,4 мкЗв/ч)	16.3	12	11.6

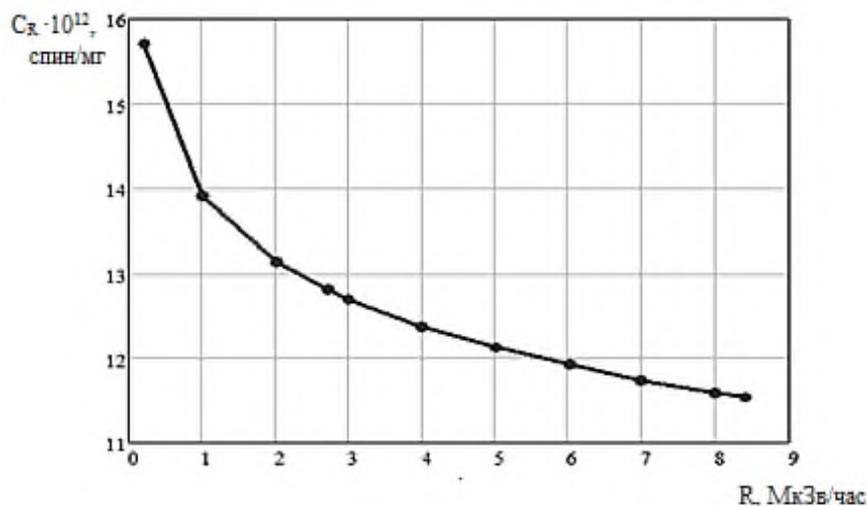
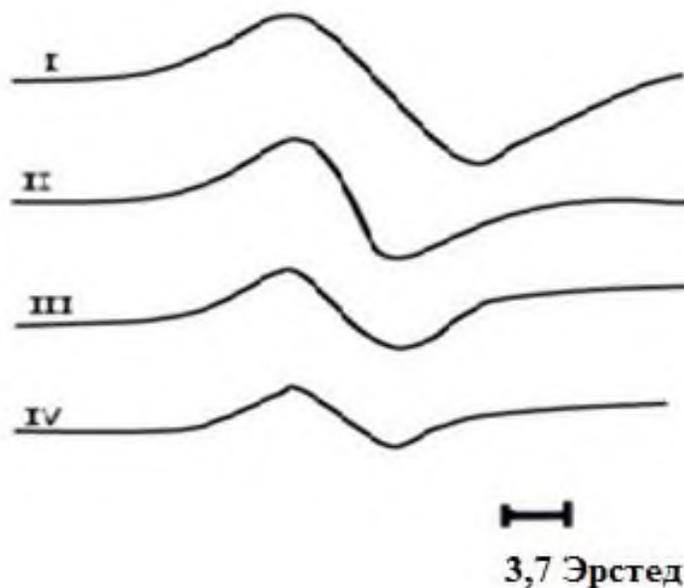


Рисунок 4 - Зависимость количества свободных радикалов  $C_R$  в листьях репейника от мощности радиационного фона местности  $R$ .

Таким образом, на основании полученных результатов можно заключить, что количество стабильных радикалов в листьях репейника зависит от экологических условий мест произрастания, характеризующихся различным радиационным фоном. Активные радикалы, генерируемые радиацией рекомбинируют с природными стабильными радикалами. Таким образом, интенсивность стабильного радикала отражает степень воздействия радиации на исследованный объект.

На рисунке 5. приведены синглетные спектры ЭПР стебля донника. Видно, что спектры ЭПР стебля при комнатной температуре имеют широкое синглетное состояние с шириной линии  $\Delta H_0$ , что также свидетельствует о суперпозиции сигналов ЭПР, то есть о присутствии нескольких видов свободных радикалов.



Рисунке 5 - Спектры ЭПР стебля донника, отобранных в разных точках  
Дигмая: I-A; II-B; III-C; IV-D.

Параметры спектров ЭПР и количество парамагнитных центров в образцах стебля донника в зависимости от радиационного фона приведены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4., радиационный фон заметно влияет на структуру стеблей донника, следовательно, накопление свободных радикалов зависит от радиационного фона местности.

Уменьшение количества стабильных радикалов с увеличением радиации связано, по-видимому, с их реакцией с генерируемыми активными радикалами.

Таблица 4 - Параметры спектров ЭПР и количество парамагнитных центров в стебле донника

Место сбора образцов	Радиационный фон, мкЗв/час	J <sub>0</sub> , мм	ΔH <sub>0</sub> , мм	CR· 1012, спин/мг
точка А	0.12	25	16	17.8
точка В	0.22	22	13	15.7
точка С	0.70	14	13	10,0
точка D	2.40	9	13	6.40

Полученные результаты свидетельствуют о том, интенсивность стабильного радикала уменьшается по мере увеличения радиационного фона. Поэтому этот параметр спектра ЭПР может служить критерием влияния радиации.

**Выводы.** Таким образом, можно предположить, что механическая прочность листьев растений в значительной мере зависит от наличия «дефектных» рыхлых областей, внутри которых происходит интенсивное молекулярное движение. При росте уровня фоновой радиации увеличивается доля этих областей, нарушается надмолекулярная структура, падает интегральная разрывная прочность растительного материала. Структурно-чувствительный параметр может быть использован в качестве показателя механических характеристик растений. Эти выводы находятся в согласии с современными представлениями о связи прочности полимеров с их микроструктурой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Содержание кислоты аскорбиновой и суммы кислот органических в сырье и густых экстрактах корня и листа лопуха большого - Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології 2011, 6(108), 367-371.
15. Савина А.А., Шейченко В.И., Петрова А.Л., Калиниченко К.Ю., Сокольская Т.А., Быков В.А., Бабаева Е.Ю., Ласская О.Ф. Фенольные соединения листьев лопуха - Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии 2013, 11, 1, 9-13.
16. Садыкова А.Ш., Ходжаев Н.К., Орманов Т.Н., Дильбарханова Д.А. Влияние фитопрепарата лопуха гладкосемянного на морфологические изменения и содержание аскорбиновой кислоты в надпочечниках при воздействии циклофосамида - Наука и мир 2014, 3, 3(7), 127-129.
17. Садыкова А.Ш., Ходжаев Н.К., Темирбеков А.Н., Дильбарханова Д.А. Влияние фитоадоптогена - сока листьев лопуха гладкосемянного на морфологические изменения тимуса при иммунодефиците, индуцированного циклофосамидом - Наука и мир 2014, 1, 6(10), 20-22.
18. Яруллина З.М., Никитина В.С. Сравнительное изучение состава полисахаридного комплекса корней *Taraxacum officinale*, *Arctium Lappa* и *Inula Helenium* - Инновационный потенциал молодежной науки - Материалы Всероссийской научной конференции 8 ноября 2013 г. Уфа 2013, 281- 283.
19. Ahangarpour A., Heidari H., Oroojan A.A., Mirzavandi F., Nasr Esfehiani K., Dehghan Mohammadi Z. Antidiabetic, hypolipidemic and hepatoprotective effects of *Arctium lappa* root's hydro-alcoholic extract on nicotinamide-streptozotocin induced type 2 model of diabetes in male mice - *Avicenna J. Phytomed.* 2017, Mar-Apr., 7(2), 169-179.
20. Ahangarpour A., Oroojan A.A., Heidari H., Ghaedi E., Taherkhani R. Effects of Hydro-alcoholic Extract from *Arctium lappa* L. (Burdock) Root on Gonadotropins, Testosterone, and Sperm Count and Viability in Male Mice with Nicotinamide/ Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetes - *Malays. J. Med. Sci.* 2015, Mar-Apr., 22(2), 25-32.
21. Amish Burn Study Group, Kolacz N.M., Jaroch M.T., Bear M.L., Hess R.F. The effect of Burns & Wounds (B&W)/burdock leaf therapy on burn-injured Amish patients: a pilot study measuring pain levels, infection rates, and healing times - *J. Holist. Nurs.* 2014, Dec., 32(4), 327-340.
22. Carlotto J., da Silva L.M., Dartora N., Maria-Ferreira D., Sabry D. de A., Filho A.P, de Paula Werner M.F., Sasaki G.L., Gorin P.A., Iacomini M., Cipriani T.R., de Souza L.M. Identification of a dicaffeoylquinic acid isomer from *Arctium lappa* with a potent anti-ulcer activity - *Talanta* 2015, Apr., 135, 50-57.
23. Carlotto J., de Souza L.M., Baggio C.H., Werner M.F., Maria-Ferreira D., Sasaki G.L., Iacomini M., Cipriani T.R. Polysaccharides from *Arctium lappa* L.: Chemical structure and biological activity - *Int. J. Biol. Macromol.* 2016, Oct., 91, 954-960.

24. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Раҳими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х., Бахтдавлатов А.Д. Исследование и влияние экологических факторов на вращательную подвижность спин-меченного лекарственного растения ферулы вонючей (FERULA ASS – FOETIDA L.) Наука и инновация. - 2023. №1. - С.87-79
25. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Раҳими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х. Исследование антиоксидантных свойств суммы флавоноидов, прополиса и мумиё лекарственного методом ЭПР. Наука и инновация. - 2023. №1. - С.75-79
26. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Раҳими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х., Бахтдавлатов А.Д. Влияние влажности на молекулярную динамику структуры матрицы листьев лекарственных растений ферулы вонючей (FERULA FOETIDA (BUNGER) REGEL) Наука и инновация. - 2023. №1. - С.93-97
27. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х. Исследование молекулярной структуры девясила высокого в зависимости от концентрации перекиси водорода методом спиновых меток Наука и инновация. - 2023. №1. - С.62-66
28. Раджабов У.Р., Султонов Р.А., Юсупов И.Х., Хайдаров К.Х. Синтез и биологические свойства цинкаса и его исследование методом спиновых меток. Известия АН РТ 2017. №4 - с.97-106. – 189 с.
29. Раджабов У. Р., Султонов Р.А., Юсуфи С.Дж., Юсупов И.Х., Хайдаров К.Х. Антиоксидантное действие железа (II) с ацетилцистеином и его исследование методом спиновых меток. ДАН РТ, 2018, т.61, №9-10, с. 788-793. – 932 с.

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

TJ	RU	EN
<i>Султонов Рауфҷон Азизқуллович</i>	<i>Султонов Рауфдҷон Азизқуллович</i>	<b>Sultonov Raufjon Azizkulovich</b>
аспирант кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	аспирант кафедраи фармацевтической и токсикологической химии	graduate student of the Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University. Abuali ibn Sino
	93-919-07-44. E-mail: raufsultonov@mail.ru	
<i>Юсуфӣ Саломиддин Ҷаббор</i>	<i>Юсуфи Саломиддин Дҷаббор</i>	<b>Ysufi Salomiddin Djaborovich-</b>
доктори илмҳои фарматсевтӣ, профессор, академик АМИТ	доктор фармацевтических наук, профессор, академик НАНТ	Doctor of pharماسии Sciences, Professor.academic NAST
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University named after. Abuali ibn Sino
<i>Юсуфӣ Саломиддин Ҷаббор</i>	<i>Юсуфи Саломиддин Дҷаббор</i>	<b>Ysufi Salomiddin Djaborovich-</b>
TJ	RU	EN
<i>Раҷабов Умаралӣ Раҷабович</i>	<i>Раджабов Умарали Раджабович</i>	<b>Radzhabov Umarali Radzhabovich</b>
доктори илмҳои химия, профессор, мудири кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	заведующий кафедрой фармацевтической и токсикологической химии, доктор химических наук, профессор	- Tajik State, Head of the Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry, Doctor of Chemical Sciences, Professor.
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино,	Medical University named after. Abuali ibn Sino
	(+992) 907-46-48-29. E-mail: umarali55@mail.ru	
TJ	RU	EN
<i>Навруззода Ганҷина Фуркат</i>	<i>Наврузова Гандҷина Фуркат</i>	<b>Navruzzoda Gandjina Furkat</b>
номзади илмҳои фарматсевтӣ, дотсентӣ кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	кандидат фармацевтических наук, доцент	Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate

Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University named after. Abuali ibn Sino
TJ	RU	EN
<b>Фарҳод Раҳимӣ</b> –	<b>Фарход Рахими</b>	<b>Farhod Rahimi</b>
доктори илмҳои физ-мат, профессор, академик АМИТ	доктор физ-мат наук, профессор, академик НАНТ	Doctor of phiz- mat sciences, Professor academic NAST
Президент Академии Миллии Илмҳои Тоҷикистон,	Президент Национальной академии наук Таджикистана	Prezidend Nacional Academi Sciences Tajikistan
TJ	RU	EN
<b>Юсупов Изатулло Хочаевич</b>	<b>Юсупов Изатулло Ходжаевич</b>	<b>Ysupov Izatullo Hodjaevich</b>
номзади илмҳои физикаю математика, дотсент	кандидат физ.-мат. наук, доцент	Candidate of phiz- mat sciences,
Институти физикию техника ба номи С.У. Умаров АМИТ,	Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ	Phizico Tethnic institut named after S. U. Umarova NAST
TJ	RU	EN
Хақимходжаев Сирочиддин Начмиддинович	Хақимходжаев Сирочиддин Начмиддинович	Khakimkhodzhaev Sirochiddin Nachmiddinovich
номзади илмҳои химия, дотсент	кандидат хим. наук, доцент	candidate of chem. Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи Б.Ғафуров	Худжандский государственный университет им. Б.Ғафурова	Khujand State University named after B.Gafurova

УДК 541.64:543.422.2:615. 1/4

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ЭПР СПИН-МЕЧЕННЫХ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТЬЕВ РЕПЕЙНИКА (*ARCTIUM TOMENTOSUM MILL.*) И ПОДРОЖНИКА ЛАНЦЕТНОГО (*PLANTOGO LANCEOLATA. L*) ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

<sup>1,3</sup>Султонов Р.А., <sup>2</sup>Юсуфи С.Дж., <sup>1</sup>Раджабов У.Р., <sup>1</sup>Наврӯззода Г.Ф., <sup>3</sup>Рахими Ф., <sup>3</sup>Юсупов И.Х.,  
<sup>4</sup>Хақимходжаев С.Н.

ИГОУ «Таджикский государственный медицинский университет имени Абуали ибни Сино»  
<sup>2</sup>ГУ «Научно - исследовательский фармацевтический центр Министерства здравоохранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан»

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. С. У. Умарова НАНТ  
<sup>4</sup>Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова

Различные растения поглощают радиацию по-разному, более того, радионуклиды впитываются растениями и, очевидно, воздействуют на процесс структурообразования изнутри. Количество накопленных радионуклидов в растениях зависит от типа почв и от степени загрязнённости места произрастания. Известно также, что радиация на растения действует на клеточном уровне, что сопровождается деструкцией молекул. Методом ЭПР - спектроскопии изучена вращательная подвижность нитроксильного радикала и свойства дикорастущего лекарственного растения репейника (*Arctium tomentosum Mill.*) и подорожника ланцетного (*Plantago lanceolata. L*).

**Ключевые слова:** подорожник, репейник, ЭПР - спектры, спиновые метки, лекарственные растения, листья, молекулярная динамика, *ARCTIUM LAPPА, PLANTOGO LANCEOLATA. L*.

## QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE SPIN-LAMERED AND SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF THE LEAVES OF THE BURDOCK (*ARCTIUM TOMENTOSUM MILL.*), AND THE PLANTAIN OF LANCEOLATE (*PLANTOGO LANCEOLATA. L*)

Sultonov R.A., Yusufi S.J., Radjabov U.R., Navruzsoza G.F., Rakhimi F., Yusupov I.Kh.,  
Khakimkhodzhaev S.N.

Various plants absorb radiation in different ways, moreover, radionuclides are absorbed by plants and, obviously, affect the process of structural formation from the inside. The number of accumulated radionuclides in plants depends on the type of soils and on the degree of pollution of the growth site. It is also known that radiation on plants acts at the cellular level, which is accompanied by destruction of molecules. The method of EPR - spectroscopy has studied the rotational mobility of the nitroxyl radical and the properties of a wild medicinal plant burdock (*Arctium Tomentosum Mill.*), And Langeolata Plantain (*Plantago Lanceolata. L*).

**Key words:** *Plantago Lanceolata, burdock, EPR spectra, spin labels, medicinal plants, molecular dynamics, leaves, ARCTIUM LAPPА, LANGEOLATA PLANTAIN*

## ТАҲЛИЛИ МИҚДОРИИ СПЕКТРҲОИ РЭП НИШОНАҲОИ СПИНИ ВА ХОСИЯТИ СПЕКТРОСКОПИ БАРГҲОИ РАСТАНИҲОИ ДОРУВОРИИ МУШҲОР (*ARCTIUM TOMENTOSUM MILL.*) ВА РОҲДАВАК (*PLANTOGO LANCEOLATA. L*)

Султонов Р.А., Юсуфи С.Дж., Раджабов У.Р., Наврӯззода Г.Ф., Рахими Ф., Юсупов И.Х.,  
Хақимходжаев С.Н.

Растаниҳои шифобахш радиатсияро бо роҳҳои гуногун тоза мекунад, ки радионуклеидҳо аз ҷониби растаниҳо ҷаббидани мешаванд ва бешубҳа, ба раванди ташаққули сохторӣ аз дарун таъсир мерасонанд. Миқдори радионуклеидҳои ҷамъшуда дар растаниҳо аз навъи хок ва дараҷаи ифлосшавии майдони рушд вобаста аст. Маълум аст, ки радиатсия дар бораи растаниҳо дар сатҳи ҳуҷайрави, ки то бо нест кардани молекулаҳо ҳамроҳӣ карда мешавад. Усули РЭП - спектрҳои ҳаракатдиҳандаи мавҷи нитроксильро рад карда ва хосиятҳои таъсири табиати растаниҳои мушхор (*Arctium tomentosum Mill.*), и роҳдавакро (*Plantago lanceolata. L*) зиёд мекунад.

**Калимаҳои калидӣ:** мушхор, роҳдавак, ЭПР - спектрҳо, нишонаи спинӣ, растаниҳои доруворӣ, барг, динамикаи молекулави, *ARCTIUM LAPPА, PLANTOGO LANCEOLATA. L*.

**Введение.** В настоящее время не только научный, но и практический интерес представляет изучение парамагнитных характеристик объектов растительного происхождения, которое даёт важную информацию о механизме структурообразования веществ в составе растений. Воздействия радиации на растения зависят от поглощённой дозы. Лекарственные растения в настоящее время являются ценным средством для лечения и профилактики хронических заболеваний. В то же время преимуществом большинства растений является их малая токсичность. Кроме того, считается, что более эффективными являются те лекарственные растения,

которые произрастают в экологически чистых условиях. Но из литературы известно, что наиболее чувствительными к радиации являются дикорастущие растения, в том числе репейник и подорожник ланцетный.

**Целью данной работы** является изучение, количественный анализ спектров ЭПР спин-меченых и спектроскопических свойств листьев подорожника ланцетного и репейника при разных уровнях радиационного фона.

#### Материал и методы исследования

Работа проводилась на кафедре фармацевтической и токсикологической химии, ГОУ «Таджикского государственного медицинского университета имени Абуали ибн Сино», ГУ «Научно-исследовательский фармацевтический центр Министерства здравоохранения и социальной защиты населения Республики Таджикистан», и в лаборатории молекулярной спектроскопии физико-технического института им. С. У. Умарова НАНТ.

#### Результаты и их обсуждение

Но в этой работе в основном по результатам спектроскопии представлены местные растения, в которых в основном исследованы стебли и листья дикорастущего подорожника ланцетного (ПЛ) в зависимости от места произрастания (Гафуров, Исфара, Спитамен). Приведены ЭПР - спектры стабильного нитроксильного радикала (I) в этаноловом растворе с концентрацией  $4 \cdot 10^{-3} \text{ M / л}$ , с временем корреляции ( $\tau_c < 10^{-7} \text{ с.}$ ) и спин – меченого лекарственного растения девясила высокого при влиянии перекиси водорода (ПВ) с различными объёмными концентрациями. Как видно из рис.1, с увеличением концентрации в спектрах ЭПР наблюдаются уширение линии между компонентами, то есть заторможенность. Оно свидетельствует о том, что при больших значениях объёма концентрации перекиси водорода в исследуемом образце происходит процесс растворения, то есть структурное изменение, сопровождающееся заметным увеличением вращательной диффузии радикала в изученных образцах, которые свидетельствуют об увеличении взаимодействия между молекулами и спиновой меткой.

Спектры листьев и стеблей подорожника из разных мест произрастания приведены на рисунке 1. На рисунке показано, что при комнатной температуре спектры имеют синглетное состояние с шириной спектральной линии  $\Delta H_0 = 39\text{-}51 \text{ Гс}$ , причем интенсивность сигнала от листьев намного выше, чем от стеблей.

Спектральные параметры сигнала ЭПР для листьев и стеблей приведены в таблице 1. Образцы приведены из месторождения Гафурова, Исфары, Спитамена. По полученным результатам выявлено, что наиболее высокая интенсивность  $J_0$  наблюдается у образцов растений из Спитамена (рис 1). В зависимости от образцов ширина линии  $\Delta H_0$  меняется от 37,2 до 48 Гс, которая свидетельствует об устойчивости и стабильности радикалов в составе растений.

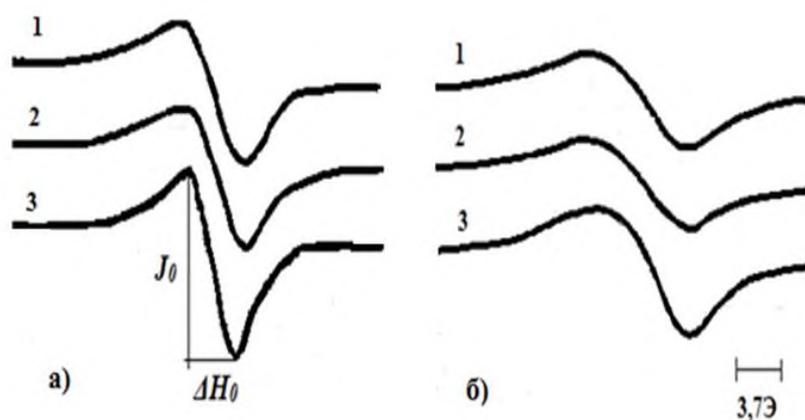


Рисунок 1. -ЭПР-спектры подорожника: 1– Гафуров; 2– Исфара; 3– Спитамен; а) – листья; б) – стебли

В зависимости от места произрастания в таблице 1 приведены сравнительные данные о количестве парамагнитных центров в сухих образцах составных частей ПЛ при комнатной температуре. Определяли наличие парамагнитных

центров для установления влияния места произрастания составных частей ПЛ на его структурные и физико-химические свойства.

**Таблица 1.** Параметры спектров ЭПР составных частей подорожника при комнатной температуре.

№	Название составных частей	Место сбора образцов					
		Гафуров		Спитамен		Исфара	
		J <sub>0</sub> , мм	ΔH <sub>0</sub> , мм	J <sub>0</sub> , мм	ΔH <sub>0</sub> , мм	J <sub>0</sub> , мм	ΔH <sub>0</sub> , мм
1	Листья	38	29	51	32	43	33
2	Стебли	22	39	30	31	26	37

**Таблица 2.** Сравнительные данные о количестве парамагнитных центров в составных частях ПЛ в зависимости от места произрастания

№	Место сбора образцов	Количество свободных радикалов C <sub>R</sub> · 10 <sup>12</sup> , спин/мг	
		Листья	Стебли
1	г. Гафуров	43.7	23.5
2	Спитаменский район	45.3	24.8
3	г. Исфара	25.5	19.8

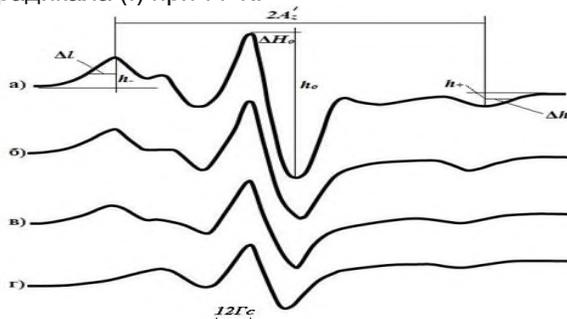
Полученные результаты свидетельствуют о том, что место произрастания ПЛ оказывает сильное влияние на накопление биохимических продуктов жизнедеятельности растения и формирование структуры его органов.

В связи с анизотропией сверхтонкого взаимодействия и g-фактора, а также невозможностью разделения сигналов от радикалов разной химической природы во время исследования парамагнитных центров растений возникают трудности расшифровки спектров ЭПР, связанные с близкими значениями магнитно-резонансных параметров. Для определения молекулярно-динамических параметров и конформации молекул целесообразно применять методы спиновых меток и зондов. В качестве объекта исследования выбраны листья репейника, собранные из мест с различным уровнем радиационного фона и модифицированные спиновой меткой (I) согласно методикам [1,2,3].

На радиоспектрометре РЭ – 1306 в стандартных молибденовых ампулах с внутренним диаметром 3.0 мм снимались спектры, в которые помещали по 30 мг спин-меченого образца при комнатных условиях. На рисунке 2 представлены спектры ЭПР спин-меченых образцов листьев репейника. Как видно из рисунка, с повышением радиационного фона проникновение спин-метки (R) в образцы уменьшается (кривая г). С помощью уравнения

$$(1) R_{обр} = R_{эм} \frac{h_{обр} (\Delta H_{обр})^2}{h_{эм} (\Delta H_{эм})^2}$$

вычислена концентрация спин-меток путём сравнения интенсивностей спектров образца и эталонного водно-глицеринового раствора радикала (I) при 77 К.



**Рисунок 2.** ЭПР-спектры спин-меченых листьев репейника в зависимости от радиационного фона места произрастания в мкЗв/час: а) 0.2, б) 0.7, в) 2.7, г) 8.4

Из рисунка 2 видно, что ЭПР-спектры радикалов листьев репейника при слабой радиации широкого спектра зависят от сильно заторможенного радикала. Радикалы свободно вращаются быстрее потому, что в структуре листьев имеются жёсткие упорядоченные и неупорядоченные области. Но радикал очень слабо вращается, это объясняется тем, что, вероятно, в структуре растений имеются микропустоты, в которые проникает нитроксильный радикал в первую очередь. Внешне форма спектров ЭПР образцов из разных мест произрастания идентична, однако с ростом уровня радиационного фона интенсивность сигнала ЭПР уменьшается, а при мощностях выше 8.4 мкЗв/час сигнал полностью исчезает. Вероятнее всего в результате реакции рекомбинации с активными радикалами.

На рисунке 3. представлена зависимость количества гидроксильных групп от количества присоединившихся спин-меток к молекулам репейника.

Видно, что между этими параметрами имеется линейная зависимость. Это означает, что в результате изменений в структуре растения под действием радиационного фона и уменьшения числа групп, способных присоединению радикала, параллельно уменьшается число участков или групп молекул, которые могут быть местом присоединения радикала в процессе его диффузионного внедрения в образец.

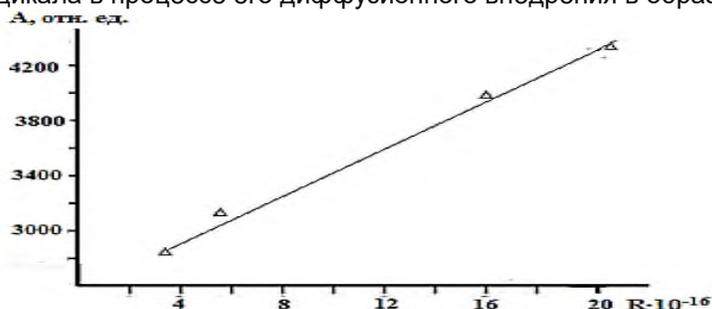


Рисунок 3. Зависимость интегральной интенсивности гидроксильных групп от количества присоединившихся спин-меток ( $R$ ).

Возможно, для радикала эти участки недоступны в силу уменьшения количества гидроксильных групп и парамагнитных центров в структуре растений.

Концентрацию спиновых меток можно установить по оценке вклада диполь-дипольного взаимодействия между спиновыми нитроксильными метками в форму спектров ЭПР.

С повышением радиационного фона местности увеличивается подвижность меток НР и уменьшается микророжьность матрицы.

Оценка частот и активационных параметров вращения спин-меток модифицированных растений позволяет сформулировать, как радиационный фон сказывается на молекулярно-динамических свойствах растений.

Время корреляции вращений  $\tau_c$  спин-меток определяется по относительным изменениям спектрального параметра  $2A'_z$  с помощью уравнения (13) [5], которая справедлива для изотропного вращения нитроксильного фрагмента спиновой метки по механизму броуновской диффузии. Однако реальное вращение фрагмента спиновой метки в матрице репейника может быть анизотропным. Выбор модели вращения в рамках данных ЭПР в 3-х сантиметровом диапазоне представляет сложную, во многих случаях трудно решаемую задачу. Как показано в [5,6,7,8,9,10], имеет место прямая пропорциональность между значениями  $\tau_c$ , рассчитанными теоретически и значениями  $\tau_c^0$ , заложенными в расчёт для анизотропного вращения.

При исследовании образцов листьев репейника установлено общее сходство ЭПР - спектров со всех точек сбора. Однако, как видно из рис.3, при изменении параметров местности ЭПР-спектры для спин - меченых образцов отличаются друг от друга.

Спектры ЭПР спин - меченых образцов репейника при комнатной температуре представляют собой суперпозицию двух сигналов от быстро и медленно вращающихся меток показывают сильную заторможенность вращательной подвижности спиновой метки со временем корреляции  $\tau_c \leq 10^{-8}$  с. Это свидетельствует о неоднородности аморфных областей в образцах в местах присоединения метки, и свидетельствует об изменении системы меж- и внутримолекулярных водородных связей в области частот гидроксильных групп, что подтверждает данные ИК-спектроскопии.

На рисунке 3 представлены ЭПР-спектры свободного НР (а) в спиртовом растворе (а), эталона (50% водно-глицериновый раствор НР) (б) и спин-меченых образцов репейника (в). Как видно из рисунка 4 а, в спектрах ЭПР

спиртового раствора метки имеется компонент I, что свидетельствует о повышенной подвижности, наблюдается свободная вращательная подвижность радикала со временем корреляции  $\tau_c \leq 10^{-7}$  с. Спектр спин-меченого репейника имеет сильно заторможенный вид, свидетельствующий о суперпозиции двух радикалов.

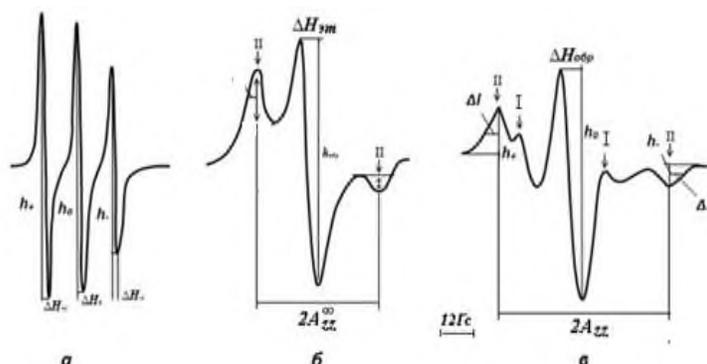


Рисунок 4. ЭПР-спектры: а- свободного нитроксильного радикала (I) в спиртовом растворе концентрации 0,004 моль/литр; б-эталона (50 % водно-глицериновый раствор при 77 К; в-спин-меченого листа репейника при 293К.

Компонент спектра I относится к быстровращающемуся радикалу, а компонент II относится к медленно вращающимся компонентам.

Из этих данных [11,] были определены следующие параметры спектров спин-меченых образцов при комнатной температуре:  $2A'_z$ - расстояние между внешними экстремумами;  $\Delta I$  и  $\Delta h$ - полуширины линий в низком и высоком поле соответственно;  $h'/h$  - отношение амплитуд низкочастотных линий слабо иммобилизованных меток и  $\Delta H_0$  - ширина линии центрального компонента спектра, а также время корреляции.

Параметры спектров ЭПР спин-меченых листьев репейника в зависимости от радиационного фона места произрастания. Для листьев репейника параметры  $\Delta I$  и  $\Delta h$  в спектрах ЭПР изменяются в зависимости от радиационного фона (табл.1), причем параметр быстро и медленно вращающихся меток, относящихся к быстро вращающемуся радикалу (указано стрелками I на рисунке 3).

Появление нового компонента сигнала ЭПР  $h'/h$  является особо чувствительным и относится к быстро вращающемуся радикалу (указаны стрелками I на рисунке 4).

Таблица 3. Параметры спектров ЭПР спин-меченых листьев репейника в зависимости от радиационного фона места произрастания. Радиационный фон в точках А, Б, С, Д показан в подписях под рисунком 2.

Место произрастания	$\Delta I$ , Гс	$\Delta h$ , Гс	$\Delta H_0$ , Гс	$2A'_z$ , Гс	$h'/h$	$\tau_c \cdot 10^{-8}$ с	$R_{обр} \cdot 10^{16}$ спин/г
точка А	15	11.2	27	223	0.6	0.52	27
точка В	8.7	11	24.3	217	0.36	0.49	18
точка С	7.8	8.7	15	210	0.19	0.39	6.8
точка D	8.9	7.9	17.6	183	-	0.32	4.8

Примечание:  $R_{обр}$ - количество присоединившихся спин-меток

На рисунке 8.8 приведён график изменения относительного параметра  $h'/h$  уровня радиационного фона. Можно видеть, что параметр  $h'/h$  с ростом уровня фона нелинейно уменьшается и в пределе стремится к нулю

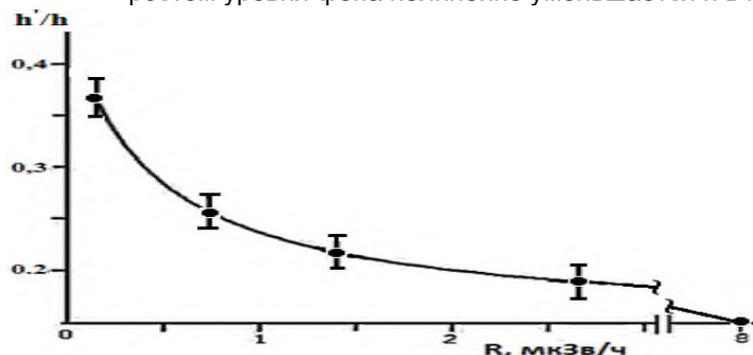


Рисунок 5. -Зависимость параметра  $h'/h$  от радиационного фона места произрастания листьев репейника

**Выводы.** Таким образом, на основании полученных результатов можно заключить, что:

- изменение значений ЭПР –  $\alpha$  и  $\beta$  и появление сверхтонкой структуры в спектрах листьев репейника и подорожника ланцетного связаны с радиационным фоном местности, т.е. радиация влияет на формирование молекулярной структуры вследствие реакций активных радикалов, в первую очередь, с наиболее рыхлыми участками в процессе биосинтеза компонентов соединений растений:

- в спектрах ЭПР спин - меченого репейника и подорожника ланцетного при больших уровнях радиационного фона сокращаются;

- уменьшение ширины низкопольного и высокопольного компонента  $\Delta I$   $\Delta h$  связано с ускорением вращения меток, вызванного, возможно, изменением конформационной подвижности молекул подорожника ланцетного и репейника - листья репейника и подорожника ланцетного под действием радиации, по-видимому, подвергаются окислению, которое, вероятно, катализируется содержащимися в них ионами биогенных металлов.

Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что накопление парамагнитных центров, содержащихся в составе ПЛ, зависит от места произрастания, экологического состояния окружающей среды и составных частей растения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Садыкова А.Ш., Ходжаев Н.К., Орманов Т.Н., Дильбарханова Д.А. Влияние фитопрепарата лопуха гладкосемянного на морфологические изменения и содержание аскорбиновой кислоты в надпочечниках при воздействии циклофосамида - Наука и мир 2014, 3, 3(7), 127-129.
2. Садыкова А.Ш., Ходжаев Н.К., Темирбеков А.Н., Дильбарханова Д.А. Влияние фитоадаптогена - сока листьев лопуха гладкосемянного на морфологические изменения тимуса при иммунодефиците, индуцированного циклофосамидом - Наука и мир 2014, 1, 6(10), 20-22.
3. Содержание кислоты аскорбиновой и суммы кислот органических в сырье и густых экстрактах корня и листа лопуха большого - Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології 2011, 6(108), 367-371.
4. Савина А.А., Шейченко В.И., Петрова А.Л., Калиниченко К.Ю., Сокольская Т.А., Быков В.А., Бабаева Е.Ю., Лаская О.Ф. Фенольные соединения листьев лопуха - Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии 2013, 11, 1, 9-13.
5. Марупов, Р. Изучение ЭПР-спекроскопических свойств составных частей одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.) в зависимости от места его произрастания / Р. Марупов, И.Х. Юсупов, Т. Шукуров, А.Д. Бахдавлатов // ДАН РТ.- 2012.- Т.55.- №1.- С.30-34.
6. Исследование молекулярной динамики дикорастущих лекарственных растений произрастающих в различных регионах Таджикистана методом спиновых меток / И.Х. Юсупов, А.Д. Бахдавлатов, Т.М. Алидодов, Р. Марупов // Научно-теоретический и практический журнал.-Современный Научный Вестник.- 2014.- №46(242).- С. 65-72.
7. Ahangarpour A., Oroojan A.A., Heidari H., Ghaedi E., Taherkhani R. Effects of Hydro-alcoholic Extract from *Arctium lappa* L. (Burdock) Root on Gonadotropins, Testosterone, and Sperm Count and Viability in Male Mice with Nicotinamide/ Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetes - Malays. J. Med. Sci. 2015, Mar-Apr., 22(2), 25-32.
8. Amish Burn Study Group, Kolacz N.M., Jaroch M.T., Bear M.L., Hess R.F. The effect of Burns & Wounds (B&W)/burdock leaf therapy on burn-injured Amish patients: a pilot study measuring pain levels, infection rates, and healing times - J. Holist. Nurs. 2014, Dec., 32(4), 327-340.
9. Carlotto J., da Silva L.M., Dartora N., Maria-Ferreira D., Sabry D. de A., Filho A.P, de Paula Werner M.F., Sasaki G.L., Gorin P.A., Iacomini M., Cipriani T.R., de Souza L.M. Identification of a dicaffeoylquinic acid isomer from *Arctium lappa* with a potent anti-ulcer activity - Talanta 2015, Apr., 135, 50-57.
10. Carlotto J., de Souza L.M., Baggio C.H., Werner M.F., Maria- Ferreira D., Sasaki G.L., Iacomini M., Cipriani T.R. Polysaccharides from *Arctium lappa* L.: Chemical structure and biological activity - Int. J. Biol. Macromol. 2016, Oct., 91, 954-960.
11. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Рахими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х., Бахдавлатов А.Д. Исследование и влияние экологических факторов на вращательную подвижность спин-меченого лекарственного растения ферулы воночней (*FERULA ASS – FOETIDA* L.) Наука и инновация. - 2023. №1. - С.87-79
12. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Рахими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х. Исследование антиоксидантных свойств суммы флавоноидов, прополиса и мумий лекарственного методом ЭПР. Наука и инновация. - 2023. №1. - С.75-79

13. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Раҳими Ф., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х., Бахтдавлатов А.Д. Влияние влажности на молекулярную динамику структуры матрицы листьев лекарственных растений ферулы вонючей (FERULA FOETIDA (BUNGER) REGEL) Наука и инновация. - 2023. №1. - С.93-97
14. Султонов Р.А., Раджабов У.Р., Юсуфи С.Дж., Навруззода Г.Ф., Юсуфов И.Х. Исследование молекулярной структуры девясила высокого в зависимости от концентрации перекиси водорода методом спиновых меток Наука и инновация. - 2023. №1. - С.62-66
15. Раджабов У.Р., Султонов Р.А., Юсупов И.Х., Хайдаров К.Х. Синтез и биологические свойства цинкаса и его исследование методом спиновых меток. Известия АН РТ 2017. №4 - с.97-106. – 189 с.
16. Раджабов У. Р., Султонов Р.А., Юсуфи С.Дж., Юсупов И.Х., Хайдаров К.Х. Антиоксидантное действие железа (II) с ацетилцистеином и его исследование методом спиновых меток. ДАН РТ, 2018, т.61, №9-10, с. 788-793. – 932 с.

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

TJ	RU	EN
Султонов Рауфҷон Азизкулович	Султонов Рауфджон Азизкулович	Sultonov Raufjon Azizkulovich
аспирант кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	аспирант кафедри фармацевтической и токсикологической химии	graduate student of the Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University. Abuali ibn Sino
	93-919-07-44. E-mail: raufsultonov@mail.ru	
Юсуфӣ Саломиддин Ҷаббор	Юсуфи Саломиддин Ҷаббор	Ysufi Salomiddin Djaborovich-
доктори илмҳои фарматсевтӣ, профессор, академик АМИТ	доктор фармацевтических наук, профессор, академик НАНТ	Doctor of pharماسии Sciences, Professor.academic NAST
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University named after. Abuali ibn Sino
Юсуфӣ Саломиддин Ҷаббор	Юсуфи Саломиддин Ҷаббор	Ysufi Salomiddin Djaborovich-
Раҷабов Умарали Раҷабович	Раджабов Умарали Раджабович	Radzhabov Umarali Radzhabovich
доктори илмҳои химия, профессор, мудири кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	заведующий кафедрой фармацевтической и токсикологической химии, доктор химических наук, профессор	- Tajik State, Head of the Department of Pharmaceutical and Toxicological Chemistry, Doctor of Chemical Sciences, Professor.
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино,	Medical University named after. Abuali ibn Sino
	(+992) 907-46-48-29. E-mail: umarali55@mail.ru	
Навруззода Ганҷина Фурқат	Наврузова Ганджина Фурқат	Navruzzoda Gandjina Furkat
номзади илмҳои фарматсевтӣ, дотсентӣ кафедраи химияи фарматсевтӣ ва захршиноси	кандидат фармацевтических наук, доцент	Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate
Донишгоҳи давлатии тибби Тоҷикистон ба номи Абуали ибн Сино	Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибн Сино	Tajik State Medical University named after. Abuali ibn Sino
Фарҳод Раҳимӣ –	Фарҳод Раҳими	Farhod Rahimi
доктори илмҳои физ-мат, профессор, академик АМИТ	доктор физ-мат наук, профессор, академик НАНТ	Doctor of phiz- mat sciences, Professor academic NAST

Президентӣ Академияи Миллии Илмҳои Тоҷикистон,	Президент Национальной академии наук Таджикистана	Prezidend Nacional Academi Sciences Tajikistan
TJ	RU	EN
Юсупов Изатулло Хоҷаевич номзади илмҳои физикаю математика, дотсент	Юсупов Изатулло Ходжаевич кандидат физ.-мат. наук, доцент	Ysupov Izatullo Hodjaevich Candidate of phiz- mat sciences,
Институти физикю техника ба номи С.У. Умаров АМИТ,	Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ	Phizico Tethnic institut named after S. U. Umarova NAST
TJ	RU	EN
Хақимходжаев Сирочиддин Начмиддинович	Хақимходжаев Сирочиддин Начмиддинович	Khakimkhodzhaev Sirochiddin Nachmiddinovich
номзади илмҳои химия, дотсент	кандидат хим. наук, доцент	candidate of chem. Sciences, Associate Professor
Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи Б.Гафуров	Худжандский государственный университет им. Б.Гафурова	Khujand State University named after B.Gafurova

## НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT

УДК: 629.3. 027.5

### ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРАКТОРНЫХ ШИН В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Умирзоков А.М.

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

Статья посвящена долговечности различных типоразмеров тракторных шин, эксплуатируемых в сложных условиях Республики Таджикистан. Обоснованы особенности условий эксплуатации тракторов и их влияние на долговечность тракторных шин. Дана оценка интенсивности износа протектора и частоты механической тракторной шины при их эксплуатации в различных почвенных и дорожных условиях.

**Ключевые слова:** трактор, пневматическая шина, долговечность, отказ, наработка, износ, интенсивность износа, норма пробега.

### БАКОДОРИИ ШИНАХОИ ТРАКТОРӢ ДАР ШАРОИТХОИ ЧУМХУРИИ ТОЧИКИСТОН

Умирзоков А.М.

Мақола ба масъалаҳои бақодори шинаҳои трактории намуд ва андозаҳои гуногун ҳангоми истифодабарии онҳо дар шароитҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон баҳшида шудааст. Хусусиятҳои ҳоси шароитҳои истифодабарии тракторҳо ва таъсири онҳо ба бақодори шинаҳои тракторӣ асоснок карда шудааст. Шиддатнокии хурдашавии протектор ва зудии нуксонҳои механикӣ дар шароитҳои гуногуни хок ва роҳ баҳогузори карда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** трактор, шинаи пневматикӣ, бақодорӣ, радқунӣ, ҳачми қор, хурдашавӣ, шиддатнокии хурдашавӣ, меъёри ғашт.

### DURABILITY OF TRACTOR TIRES IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Umirzokov A.M.

The article is devoted to the durability of various sizes of tractor tires operated in difficult conditions of the Republic of Tajikistan. The features of the operating conditions of tractors and their influence on the durability of tractor tires are substantiated. An assessment of the intensity of tread wear and the frequency of mechanical tractor tires during their operation in various soil and road conditions is given.

**Keywords:** tractor, pneumatic tire, durability, failure, operating time, wear, wear rate, mileage.

#### Введение

Одним из основных секторов в экономике Республики Таджикистан является сельское хозяйство, вернее аграрная промышленность, благодаря которой сегодня в стране обеспечивается около 25% ВВП, более 70% рабочих мест, 25% экспорта и 35% налоговых поступлений в бюджет государства [12].

Республика Таджикистан является горной и высокогорной страной, 93% территории которой покрыты горным ландшафтом, из них чуть более 50% относятся к высокогорью [9,10,11]. Более половины территории республики (7,2 млн. га) считается пригодным для ведения сельского хозяйства, из которых более 90% или 6,525 млн. га используется для пастбища для скота. Посевные площади для сельскохозяйственных культур составляют всего 675 тыс. га, что приравнивается 9,375% от общей площади, пригодной для ведения сельского хозяйства. Поливные площади сельскохозяйственных угодий в республике составляют 470 га, а в 180 тыс. га площади возделаны под сады и виноградники.

Несмотря на ограниченность посевных площадей, почвенно-климатические условия республики прекрасно подходят для выращивания зерновых культур, картофеля, овощей, бахчевых и фруктов. Кроме того, сельскохозяйственный сектор страны отличается обеспеченностью водными и трудовыми ресурсами, а также достаточным количеством и разнообразием тракторов и сельскохозяйственных машин.

#### Материалы и методы исследования

Тракторы и прочие машины, оснащенные тракторными пневматическими шинами, эксплуатируются в различных отраслях народного хозяйства страны. Основным же потребителем тракторных пневматических шин является сельское хозяйство, где на прочих работах задействованы более 100 тыс. тракторов, комбайнов и прочих сельскохозяйственных машин, оснащенных пневмоколесным ходовым оборудованием. Ежегодно для нужд республики приобретаются около 50 тыс. пневматических шин, приведенных к типоразмеру 15,5–38, и примерно столько же приведенных к типоразмеру 9–20, что по массе составляет около 6,5 тыс. тонн (рис. 1).

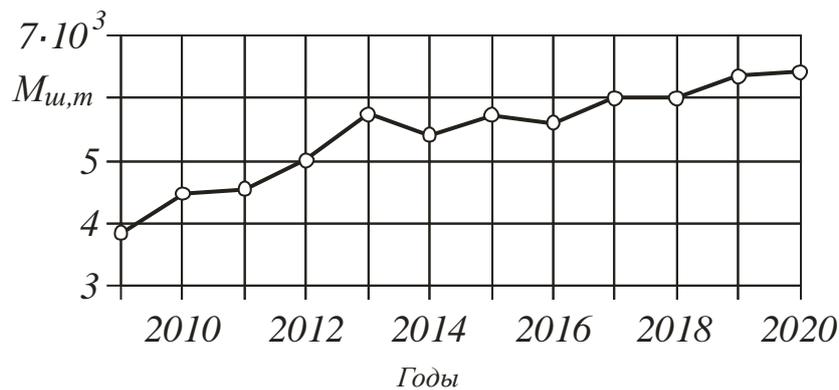


Рисунок 1 – Динамика потребности в тракторных пневматических шинах в Республике Таджикистан

Пневматические шины дорогостоящие, быстроизнашивающиеся, часто повреждаемые, наиболее уязвимые элементы тракторов и автомобилей. Затраты на шины в хозяйствах республики варьируют в пределах 15 - 20% от всех расходов на эксплуатации машинно-тракторного парка. В хозяйствах Республики Таджикистан пневматические шины заменяются в среднем каждые 3-4 года службы трактора, что обусловлено эксплуатационными, технологическими и почвенно-климатическими условиями. При этом доминирующими факторами, оказывающими наибольшее влияние на безотказность и долговечность тракторных шин, выступают почвенно-климатические особенности. Почвенно-климатические условия Республики Таджикистан характеризуются высокой степенью абразивности почвы и дороги, засоренностью полей и поверхности сельских дорог камнями, запыленностью воздуха, повышенной температурой воздуха летом, начиная с апреля месяца по октябрь.

Немаловажным фактором, определяющим долговечность и безотказность шины, является рельеф местности, который характеризуется нередко крутыми углами склона, из-за чего повышается агрессивность стиля езды, появляется необходимость частых торможений и троганий с места.

От давления внутри шины зависит срок службы, расход топлива, буксование колеса трактора и коэффициент сцепления, и, как следствие, тяговое усилие, развиваемое трактором.

Следовательно, от состояния тракторной шины и ее надежности тесно связаны основные технико-экономические показатели МТА, такие как [4,5,6]:

- надежность МТА;
- энергетические показатели трактора (затраты мощности на единицу выполняемой работы, тяговое усилие и др.);
- производительность МТА и качество выполняемой работы;
- расход топлива и эксплуатационных материалов;
- затраты на ремонт и восстановления шины.

Как видно из вышеизложенного, на надежность шины влияет большое разнообразие факторов. Она может быть оценена по результатам длительных экспериментальных исследований, адекватным моделированием процессов, протекающих между колесом и почвой (колесом и дорогой), а также на основе принципа Парето, основное и определяющее преимущество которого перед другими инструментами заключается в том, что она дает возможность разделить факторы на значительные (встречающиеся наиболее часто) и на незначительные (встречающиеся относительно редко). Согласно принципу Парето, большая часть следствий вызывается относительно немногочисленными причинами. Вследствие влияния большого разнообразия факторов на надежность тракторных шин, ее показатели варьируют в довольно широких пределах. Важным свойством, характеризующим надежность тракторной пневматической шины, является ее долговечность [1,2,3]. Последнее обусловлено износом грунтозацепа и механическими повреждениями шины.

Интенсивность износа для конкретной шины  $I$  определяется из выражения

$$I = (h_0 - h_g) / H, \text{ мм}/(1000 \text{ мото-ч}) \quad (1)$$

где  $h_0$  и  $h_g$  – номинальная и допускаемая (при износе) высота грунтозацепа протектора, мм.  $h_g = 7,0$  мм;  $H$  – наработка, 1000 мото-ч.

Средняя интенсивность износа  $I_{cp}$

$$I_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} I_i}{N_0} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \frac{h_{0i} - h_{ocr.i}}{H_i}, \text{ мм}/(1000 \text{ мото-ч}) \quad (2)$$

где  $I_i$  – износ  $i$ -ой шины, принятой в расчет интенсивности, мм; ( $i = 1, 2, \dots, N_0$ );  $N_0$  – количество шин, принятых в расчет интенсивности износа шин по партии;  $H_i$  – наработка  $i$ -той шины, 1000 мото-ч [7,8].

При расчете средней интенсивности износа шин не приняты во внимание шины, преждевременно снятые с эксплуатации вследствие производственных дефектов и механических повреждений.

В качестве объекта исследования приняты шины тракторов МТЗ-100/102, эксплуатируемых в хозяйствах Гиссарской долины, которые расположены на высотах от 700 до 1200 м н.у.м и имеют в основном сероземные и горные коричневые почвы. Поля и дороги имеют уклон равный от 1 до 6 %. Средняя площадь участков равняется 10-12 га с длиной гона примерно 350 м. Тракторы эксплуатируются на дорогах с грунтовыми, асфальто-бетонными и гравийными покрытиями. При этом средняя наработка тракторов на транспортных операциях составляет 20-25% от всего объема выполненной работы.

Результаты износных испытаний тракторных пневматических шин в условиях Гиссарской долины Республики Таджикистан представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты износных испытаний

Типоразмер и модель шины, технические условия на нее	Норма пробега, км (мото-ч)	Позиция шины	Норма интенсивности износа, мм/1000 мото-ч.	Средняя наработка одной шины, мото-ч		Высота грунтозацепа, мм		Износ, %	Ср. интенсивность износа, мм/1000 мото-ч.	Отношение ср. эксплуатационной интенсивности износа шины к нормативной
				все-го	на транспортных работах	новой шины	изношенной шины			
Шины передних колес										
9,00-20 модель В-24А ТУ38.05.01.04-92	25000 (5000)	Лев. - П. Прав.- П	5,6 5,6	320	750	35	8,8	74,9	8,2 8,4	1,46 1,50
				0	635	35	9,0	74,3		
11,2R20 Модель Я-430 ТУ38.304-14-241-98	18000 (3600)	Лев. - П. Прав.- П	7,78 7,78	154	370	35	12,4	64,6	14,7 14,9	1,89 1,91
				0	354	35	12,7	63,7		
Шины задних колес										
15,5-38 модель Ф-2АД ТУ38.05.01.014-94	25000 (5000)	Лев. - З. Прав.- З.	4,8 4,8	308	710	31	7,6	75,5	7,6 6,9	1,58 1,44
				0	665	31	10,8	65,2		
15,5-38 модель Ф-2А ТУ 38.304-14-108-00	24000 (4800)	Лев. - З. Прав.- З.	5,83 5,83	286	660	35	9,6	72,6	8,9 8,8	1,53 1,51
				0	580	35	10,4	70,3		

Высокие интенсивности отказов шин передних колес можно объяснить частыми маневрами трактора, что способствует высокому динамизму энергообменных процессов между колесом и почвой (дорогой), и, конечно же, более выраженным их вероятностным характером (табл.2).

Таблица 2 – Соотношения видов отказов тракторных шин, эксплуатируемых в хозяйствах Гиссарской долины Республики Таджикистан, %

Виды отказов шин	Типоразмер и модель шин			
	передних колес		задних колес	
	9,00-20 модель В-24А	11,2R20 Модель Я-430	15,5-38 модель Ф-2АД	15,5-38 модель Ф-2А
Предельный износ грунтозацепа	79	81	74	72
Механические повреждения	17	14	21	23
Прочие отказы	4	5	5	5
Всего	100	100	100	100

Наиболее часто встречающимися механическими повреждениями пневматических шин тракторов МТЗ100/102, эксплуатируемых в условиях хозяйств Гиссарской долины, являются:

- отслоение протектора или боковины;
- скатывание элементов протектора, трещина по канавкам беговой дорожки;
- пробои, порезы, глухие и сквозные вдавливания инородных предметов в тело шины;
- трещины в боковине, разрыв или излом каркаса и др.

Частость механических повреждений задних шин превышает подобные отказы в передних шинах от 1,24 до 1,64 раз. Это обстоятельство объясняется тем, что на задние колеса действуют значительно большие радиальные нагрузки и крутящие моменты, они имеют большую площадь контакта с почвой (дорогой). Кроме того, эти шины работают в режимах повышенного буксования.

Таким образом, тракторные шины в хозяйствах Республики Таджикистан работают в сложных условиях климатических и нагрузочных режимах. Долговечность тракторных шин, эксплуатируемых в условиях Гиссарской долины, составляют 42 ... 64% от номинальных значений в зависимости от их позиции и типоразмера.

### Выводы

1. По результатам исследований установлено, что норма пробега тракторной шины в условиях Республики Таджикистан значительно ниже номинальных значений, чему причиной являются следующие обстоятельства:

- высокая температура воздуха, почвы и поверхности дороги;
- повышенная энергоёмкость вида выполняемой работы с чрезмерным тяговым усилием (вспашка, предпосевная обработка почвы и др.);
- высокий процент буксования колес вследствие выполнения колесным трактором энергоёмких операций;
- несоблюдение скоростного режима движения трактора.
- абразивность почвы и дорожного полотна, и их засоренность прочими механическими предметами (бульжники, щебенистые обломки, галечники и др.).

2. В реальных условиях эксплуатации МТА среднее значение интенсивности износа пневматических шин тракторов МТЗ-100/102 равняется для шин передних колес 8,2 ... 14,9, а для шин задних колес 7,6 ... 8,9 мм/(мото-ч) в зависимости от их модели, что существенно превышает их нормативные значения и составляют 1,46 ... 1,91 раз. Относительно высокая интенсивность износа грунтозацепов объясняется суровостью условий эксплуатации, характеризующейся высокой температурой воздуха и абразивностью почвы и дороги, а также повышенными нагрузочными режимами работы МТА.

### Литература

1. ГОСТ 7463-2003. Межгосударственный стандарт. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия. –М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. –28 с.
2. ГОСТР 27.010 – 2019 (МЭК 61703:2016). Надежность в технике. Математические выражения для показателей безотказности, готовности, ремонтпригодности. –М.: Стандартиформ, 2019. – 85 с.
3. ГОСТ 27.002 – 2015. Надежность в технике. Термины и определения. –М.: Стандартиформ, 2016. –28 с.
4. Мелибаев, М. Показатели надежности пропашных тракторных шин/ М. Мелибаев, Ф.А. Нишонов, М.А. Содиков//Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 2(83). – 4 с. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11232> (дата обращения: 25.02.2021).
5. Нишонов, Ф.А. Буксование ведущих колес пропашных трехколесных тракторов / Ф.А. Нишонов, М. Мелибаев, А.Р. Кидиров, А.Н. Акбаров // Научное знание современности. – 2018. – № 4. – С. 98–100.
6. Новиков, А. В. Результаты эксплуатационных испытаний тракторных шин / А. В. Новиков, Ю. И. Томкунас // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Междунар. научно-практич. конф., Минск, 14-15 апреля 2011 г.: В 2 ч. Ч. 1. - Минск: БГАТУ, 2011. - С. 315-321.
7. Пархоменко, С. Г. Основы методики исследования характеристик тракторных шин / С. Г. Пархоменко//Вестник Белорусской Государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – №3. – С. 173-175.
8. Пархоменко, С. Г. Экспериментальное исследование характеристик тракторных пневматических шин / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – №11. – С. 40–48.

9. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации. Монография/А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003г.-356 с.
10. Турсунов, А.А. Оценка суровости горных условий эксплуатации транспортных систем/ А.А. Турсунов, А.М. Умирзоков // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы развития автомобильного транспорта и транспортных коммуникаций в Центрально-Азиатском регионе» - Ташкент, 2007. -С.169-171.
11. . Умирзоков, А.М. Теоретические основы оценки и повышения эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях. Монография/А.М. Умирзоков. – Душанбе: ООО «Сифат-Офсет», 2023г.-218 с.
12. <https://tajinvest.tj/ru/priority-sectors/agrarnaya-promyshlennost> (дата обошения 16.05.2023 г.)

#### МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Umirzokov Ahmad Mallaboevich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Академическая ступень и должность,	н.и.т, дотсенти кафедраи «Истифодаи наклиёти автомобили»	канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»	cand. tech. Sciences, Associate Professor of the Department "Operation of Road Transport"
Ташкилот, Организация, Organization	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
e-mail			
ORCID			

УДК: 629.017

## ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ ХОДОВОЙ ЧАСТИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

<sup>1</sup>Ахунов Т.И., <sup>2</sup>Бобиев Р.М.

<sup>1</sup>Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемура

<sup>2</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

В Республике Таджикистан эксплуатируются сотни карьерных автосамосвалов и прочих горных машин китайского, белорусского и российского автопроизводителей. Они в основном задействованы для транспортировки горной породы при строительстве ГТС, при разработке россыпных месторождений, а также для перевозки топливных и горнорудных ресурсов. Результаты многолетних экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что они эксплуатируются в горных и высокогорных зонах республики под влиянием негативных факторов, к которым относятся значительные перепады климатических условий и дорожных условий в зависимости от времен года, времени суток, и конечно же, от изменения высоты над уровнем моря (н.у.м.). Эти условия, принято оценивать как сложные, экстремальные или как суровые. Усугубляются, обычно, характеризуются значительной удаленностью участков ведения горных работ от промышленно развитых городов и железнодорожных станций.

**Ключевые слова:** система ВАДС, карьерные самосвалы, горные условия, безотказность, наработка, неровность дороги, стиль езды.

## БАҶОДИҶИИ РАДНОПАЗИРИИ ҚИСМҶОИ ҲАРАКАТОВАРИ АВТОМОБИЛҶОИ ХУДБОРҶАРОР

Ахунов Т.И., Бобиев Р.М.

Чумхурии Тоҷикистон садҳои автомобилҳои худборҷарори қарьерӣ ва мошинҳои гуногуни қухӣ истеҳсоли Чин, Беларус ва Федератсияи Россия истифода бурда мешавад. Онҳо асосан барои кашонидани чинсоҳои қухӣ хангоми сохтмони иншоотҳои гидротехникӣ, қорқарди манбаҳои сусишворӣ ва қонҳои қухӣ таъин шудаанд.

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои бисёрсолаи таҷрибавӣ аз он далолат медиҳанд, ки автомобилҳои худборҷарори қарьерӣ ва мошинҳои гуногуни қухӣ дар минтақаҳои қухӣ ва баландқуҳ зери таъсири омилҳои таъсирашон салбӣ, ки аз руи тағйирёбии назарраси шароитҳои иқлимӣ ва роҳи вобаста аз фасли сол, вақти шабуруз ва баландии гуногун аз сатҳи баҳр истифода бурда мешаванд. Шароитҳои зикргардида ҳамчун шароитҳои вазнин, экстремалӣ ё муташанниҷ арзёбӣ қарда мешаванд ва аз сабаби дур ҷойгир шудани минтақа аз марказҳои истеҳсоли, стансияҳои роҳи оҳан боз ҳам муташанниҷтар тегаардад.

**Калимаҳои калидӣ:** Системаи РАРМ, автомобили худборҷарори қарьерӣ, шароити қухӣ, раднопазирӣ, ҳаҷми қорӣ, ноҳамвории роҳ, услуби рондан

## ASSESSMENT OF THE UNDERFAILABILITY OF CHASSIS OF THE VEHICLE MINING DUMP TRUCKS

Ahunov T. I., Bobiev R. M.

Annotation: Hundreds of mining dump trucks and other mining machines of Chinese, Belarusian and Russian automakers are operated in the Republic of Tajikistan. They are mainly involved, mainly for the transportation of rock during the construction of hydraulic structures, in the development of alluvial deposits, as well as for the transportation of fuel and mining resources. The results of many years of experimental research indicate that they are operated in the mountainous and high-mountainous zones of the Republic under the influence of negative factors, which include significant differences in climatic conditions and road conditions depending on the seasons, time of day, and of course, changes in altitude (a.s.l.). These conditions are usually assessed as difficult, extreme or severe. They are aggravated, usually, they are characterized by a significant remoteness of mining areas from industrialized cities and railway stations.

**Keywords:** DCRE system, mining dump trucks, mountain conditions, reliability, operating time, road roughness, driving style

### Введение

Безотказность горных машин и карьерных автосамосвалов в суровых горных и высокогорных условиях Республики Таджикистан на сегодня остаются неисследованными, практически нет научно-технической литературы, посвященной решению задач, связанных с оценкой их надежности и безотказности. Следует отметить, что наиболее уязвимыми элементами карьерных автосамосвалов в суровых горных и высокогорных условиях Республики Таджикистан являются агрегаты и детали ходовой части карьерных автосамосвалов, что обусловлено значительными размахами варьирования массы перевозимых грузов, очень сложными дорожными условиями, которые характеризуются сложностью геометрии дороги в плане и профиле, неровностью и абразивностью дорожного покрытия, часто меняющимися погодными условиями. Исходя из этого цель данной работы заключается в исследовании безотказности ходовой части карьерных автосамосвалов в горных условиях Республики Таджикистан. При исследовании безотказности ходовой части карьерных автосамосвалов использованы статистический и аналитический методы анализа. Результаты многолетних исследований свидетельствуют о том, что безотказность ходовой части карьерных автосамосвалов в суровых горных условиях снижается значительной интенсивностью, заметно превышающих интенсивность в равнинных условиях. В суровых горных условиях отчетливо наблюдается влияние элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС) на безотказность ходовой части

карьерных автосамосвалов: она снижается из-за увеличения агрессивности управления автомобилем, роста их наработки и срока службы, сложности дорожных и климатических условий. Необходимо отметить, что важное значение при этом имеет вероятностная природа факторов, связанных с элементами системы ВАДС.

Безотказность ходовой части карьерных автосамосвалов в суровых горных условиях лимитирует частые отказы ведущего моста, подвески, передней оси, колес и шин, рулевого управления, тормозных систем. При этом наибольшее число отказов приходится на пневматические шины, которые обусловлены высокой интенсивностью изнашивания рисунка протектора и частыми механическими повреждениями.

### **Материалы и методы исследования**

В горных и высокогорных условиях Республики Таджикистан на процесс грузоперевозки на строительстве гидротехнических сооружений, в горнодобывающей отрасли и при транспортировке энергетических ресурсов процесс грузоперевозки в основном осуществляется пневмоколесным транспортом, в частности большегрузными карьерными автосамосвалами.

Из-за особенностей функционирования транспортной системы более 90% грузооборота в республике выполняется автомобильным транспортом. На долю карьерных автосамосвалов на строительстве ГТС и горнодобывающей отрасли приходится 80-85% грузоперевозок. Несмотря на то, что в горных и высокогорных условиях в принципе не исключается применение альтернативных видов транспорта, таких как конвейерный транспорт и железнодорожный, автомобильный транспорт ещё надолго остаётся предпочтительным.

В условиях Республики Таджикистан при освоении водных энергетических запасов и в горнодобывающей отрасли применяются такие автосамосвалы как: БелАЗ-7540В, SHACMAN-SX3256DR384, Dongfeng DFL3251, КамАЗ-5511, МАЗ-5549, ХОВО-336 и др.

Экспериментальные исследования по оценке безотказности карьерных автосамосвалов в целом и в частности их ходовой части проводились на участке «Карьерный» на горнодобывающем предприятии (горном заводе) «Шахта Фон-Ягноб».

Это крупнейшее месторождение коксующего угля в Средней Азии с прогнозными запасами около 1,5 млрд. тонн угля. Рельеф площади месторождения «Фон-Ягноб» типично горный, резко расчленённый. Многочисленные, глубоко врезанные долины горных рек и ручьев создают сложные, резко расчленённые формы рельефа с крутыми склонами, переходящими в обрывы. Абсолютные высотные отметки площади составляют от 1650 м до 3600 м. Непосредственно в пределах участка Карьерного от 2411 м до 3162 м. Скалистые формы рельефа составляют 10-15% площади [13].

Все факторы, влияющие на отказ автосамосвалов и их ходовой части можно классифицировать по признакам – элементам системы (рис.1). Далее классификация существенных факторов, влияющих на отказ, составлена преимущественно для карьерных самосвалов и их агрегатов, и узлов, при их функционировании в суровых условиях горных работ.

В горных условиях эксплуатации отказы карьерных автосамосвалов и их ходовой части по виду и частоте значительно отличаются от отказов автомобилей, эксплуатируемых в равнинных условиях. В этих условиях наблюдается заметное увеличение отказов ходовой части автосамосвалов, чему причиной являются суровые дорожно-климатические условия и нагрузочные режимы работы автосамосвала [1, 2, 3].

Все отказы автосамосвалов и их ходовой части считается целесообразным сгруппировать по следующим агрегатам, системам и сборочным единицам (рис.2 и 3).

Как видно из представленных графиков, наибольшее число отказов связано с функционированием силовой установки автосамосвала, что обусловлено суровостью условий эксплуатации, вероятностным характером внешних воздействий, высотой н.у.м. и прочими факторами, ускоряющими интенсивность отказов.

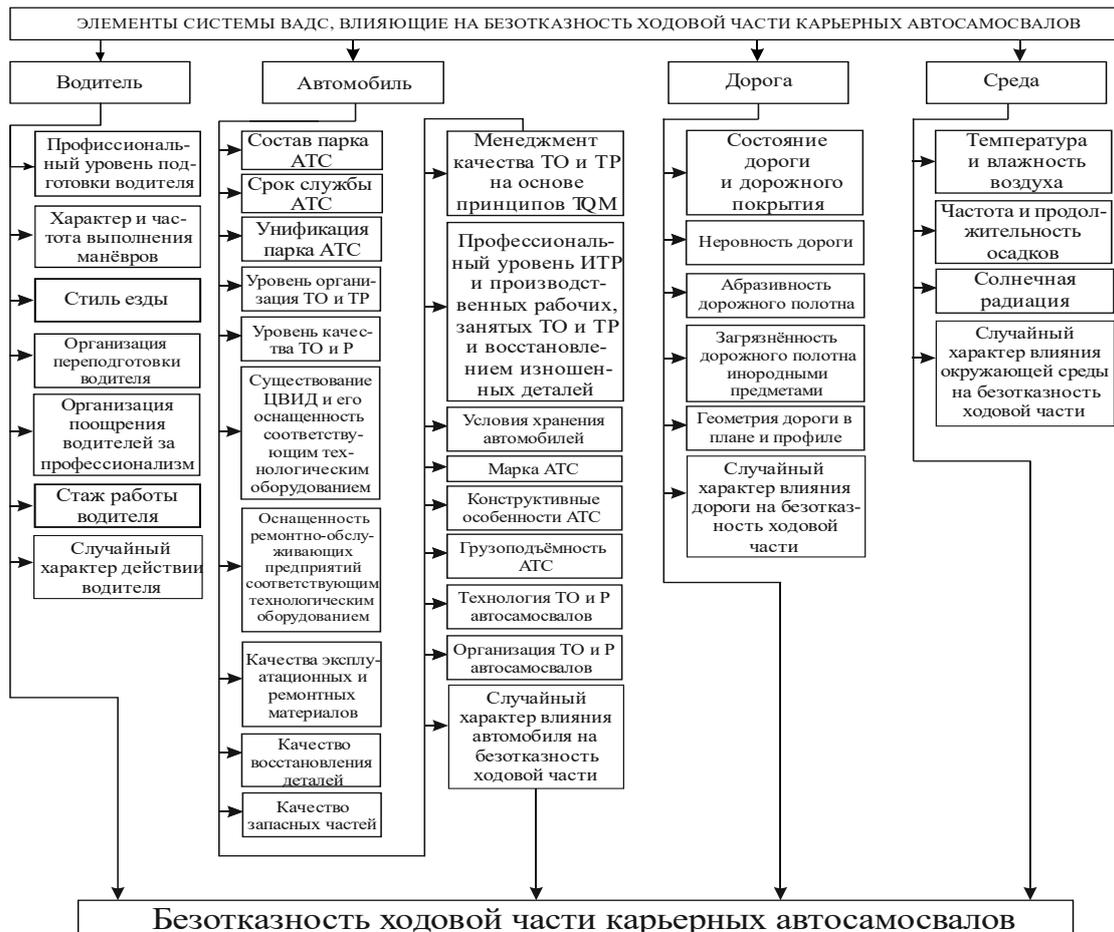
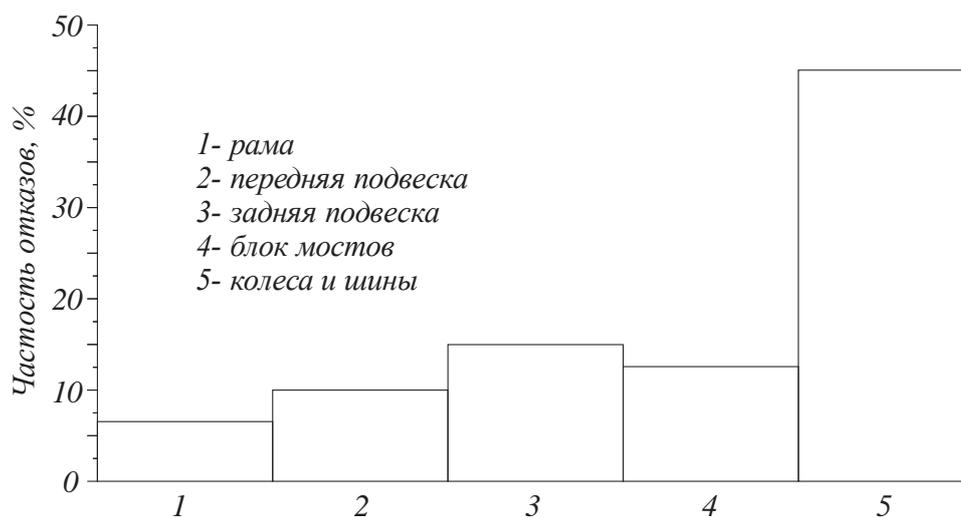


Рисунок 1 – Классификация факторов, влияющих на отказ автосамосвалов



Рисунок 2 – Частота отказов карьерных автосамосвалов, эксплуатируемых в горных условиях



Агрегаты и узлы ходовой части самосвала

Рисунок 3 – Частота отказов карьерных автосамосвалов, эксплуатируемых в горных условиях

### Результаты исследования

Безотказность карьерных автосамосвалов была анализирована на основе отказов 30 подконтрольных автосамосвалов за три года их службы на шахте «Фон-Ягноб» при добыче угля. При этом был произведен ежемесячный сбор данных об отказах подконтрольных автосамосвалов и их ходовой части (табл. 1). Данные, взятые из бортовых журналов, были обобщены и систематизированы. Адекватность полученных данных частично была сверена с расходом запасных частей и ремонтных материалов.

Таблица 1 – Отказы подконтрольных автосамосвалов

Механизмы, системы, узлы и агрегаты автосамосвала	Месяцы года												Периоды		
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	«жаркий»	«холодный»	«умеренный»
силовая установка	164	168	163	170	160	175	188	185	170	175	174	178	870	540	660
трансмиссия	40	55	90	120	70	100	102	72	51	78	77	55	340	315	255
ведущий мост или блок мостов	60	58	66	105	112	205	180	192	128	111	74	76	635	385	347
подвеска	200	188	208	232	254	236	201	174	170	194	200	188	1124	815	506
передняя ось	12	20	15	13	24	50	30	40	35	25	28	35	135	105	87
колеса и шины	104	78	85	100	108	128	121	132	130	77	65	68	734	354	108
рулевое управление	7	8	9	14	25	28	38	32	25	12	11	6	110	67	38
тормозная система	65	68	75	72	102	108	118	104	89	74	60	62	546	269	182
электрооборудование	100	108	115	119	135	138	142	165	100	1024	129	105	1427	574	379
рама, кабина и оперения	50	40	30	21	20	38	35	29	22	18	15	27	156	110	79
опрокидывающий	12	15	14	13	21	25	26	20	17	15	13	13	98	67	39

механизм															
Всего	81	80	87	97	103	123	118	114	93	180	84	81	617	360	268
	4	6	0	9	1	1	1	5	7	3	6	3	5	1	0

Оценка влияния элементов системы ВАДС на безотказность ходовой части произведена условно для трех периодов эксплуатации автосамосвалов: «холодный», «жаркий» и «умеренный». Для условий угольного разреза «Фон -Ягноб» «холодный» период продолжается 3 месяца (декабрь, январь, февраль), когда максимальная суточная температура не превышает -10 ... -15°C, «Жаркий» период в угольном разрезе «Фон-Ягноб» относительно непродолжительный (с середины июня по сентябрь), остальные месяцы относятся к «умеренному» периоду. На основании опытных данных можно сделать вывод о том, что наибольшая интенсивность отказов узлов и агрегатов ходовой части самосвалов наблюдается в «жаркий» период и составляет свыше 50% от их годового количества. Этот факт объясняется значительным влиянием температуры воздуха и увеличением загрузки автосамосвалов в этот период. «Умеренный» период характеризуется наименьшим числом отказов ходовой части автосамосвалов. «Холодный» период отличается тем, что в это время узлы и агрегаты ходовой части отказывают чуть больше, чем «умеренный период», что обусловлено снижением температуры до -40°C.

Следует отметить, что влияние всех факторов (элементов системы ВАДС) на безотказность автосамосвалов и их ходовой части носит вероятностный характер и в основном подчиняются нормальному теоретическому закону распределения с коэффициентом вариации от 7 до 18%.

Причинно-следственная связь влияния элементов системы ВАДС на безотказность ходовой части автосамосвала установлена опытным путем при функционировании автосамосвалов в условиях шахты «Фон -Ягноб» и оценена по параметру потока отказов, которая определяется как отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки [4, 5, 6]

$$\omega(t) = \Delta N / (N \times \Delta t), \tag{1}$$

где  $\Delta N$  – число отказавших машин,  $N$  – общее число машин,  $\Delta t$  – отрезок времени, в течение которого произошли отказы.

Результаты опытов по выявлению степени и характера влияния элементов системы ВАДС на безотказность ходовой части автосамосвалов представлены на рис. 4

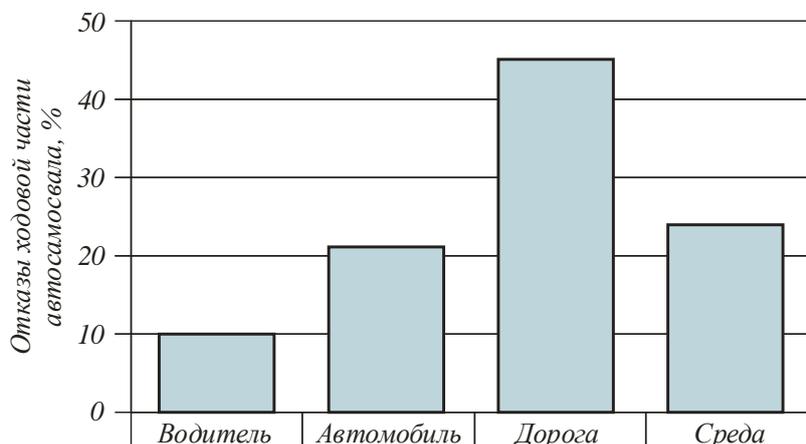


Рисунок 4 – Степень влияния элементов системы ВАДС на безотказность ходовой части автосамосвала в условиях шахты «Фон -Ягноб»

Характер теоретической кривой (кривой аппроксимации) с коэффициентом корреляции  $R=0,89$  показывает, что элементы системы ВАДС оказывают значительное влияние на безотказность ходовой части автосамосвалов. В «жаркий» период эксплуатации кривая достигает своего максимума, что можно объяснить резким увеличением объемов грузооборота и, конечно же, влиянием высокой температуры окружающей среды, что особенно негативно влияет на безотказность пневматических шин и прочих резинотехнических изделий. В «жаркий» период эксплуатации автосамосвалов в условиях шахты «Фон -Ягноб» при открытой добыче угля частота отказов до 2,5 раза больше по сравнению с «холодным» временем года (рис. 5).

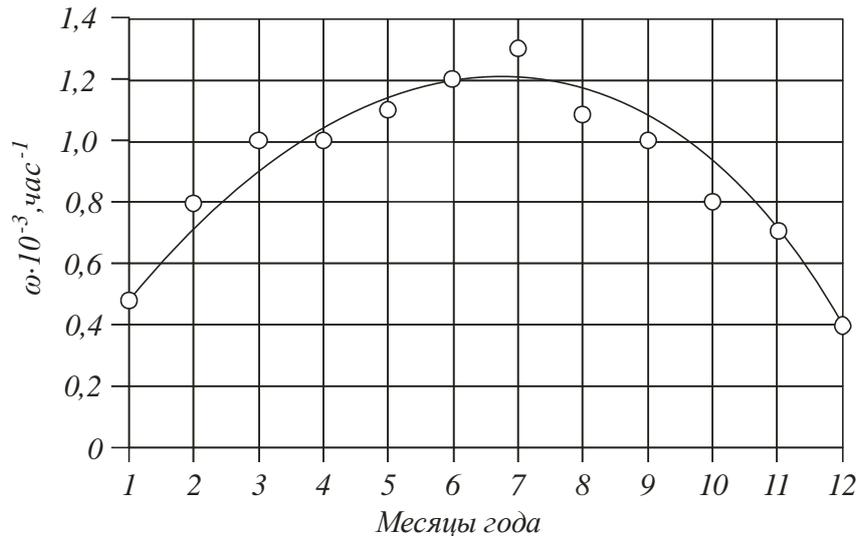


Рисунок 5 – Параметр потока отказов ходовой части карьерных автосамосвалов по месяцам года в условиях шахты «Фон -Ягноб»

Из графика, приведенного на рис.6, видно, что параметр потока отказов начинает возрастать с повышением температуры окружающей среды, достигая максимума в июле месяце, а потом убывает по мере снижения температуры и снижения объемов выработки и, как следствие, объемов грузоперевозки.

Полученные данные свидетельствуют о влиянии интенсивности горных работ на безотказность ходовой части карьерных автосамосвалов.

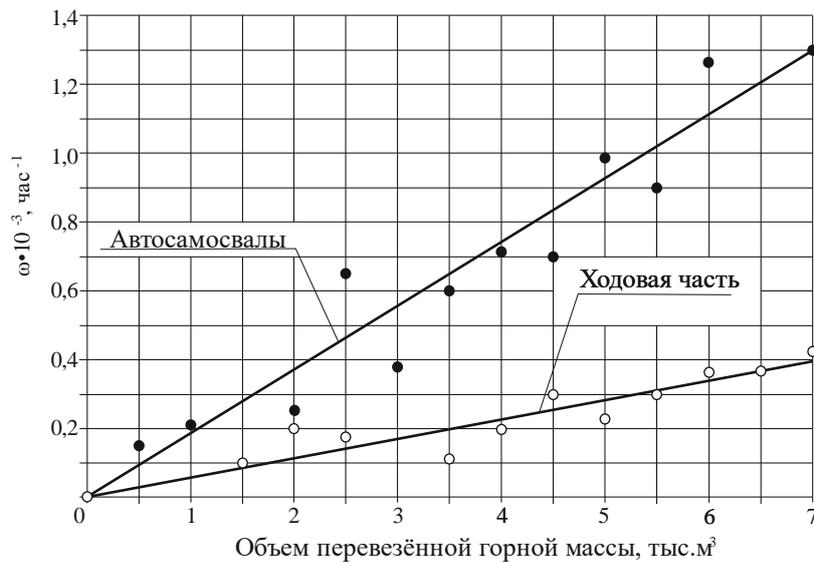


Рисунок 6 – Зависимость параметра потока отказов от объема перевезенной горной массы

Рост суммарной наработки карьерных автосамосвалов более чем в 2 раза приводит к увеличению среднего значения частоты отказов в 2,5 раза. Кривая аппроксимации параметра потока отказов к наработке карьерных автосамосвалов с коэффициентом корреляции  $R=0,75$  показывает наличие достаточно высокой корреляционной связи между ними (рис. 7).

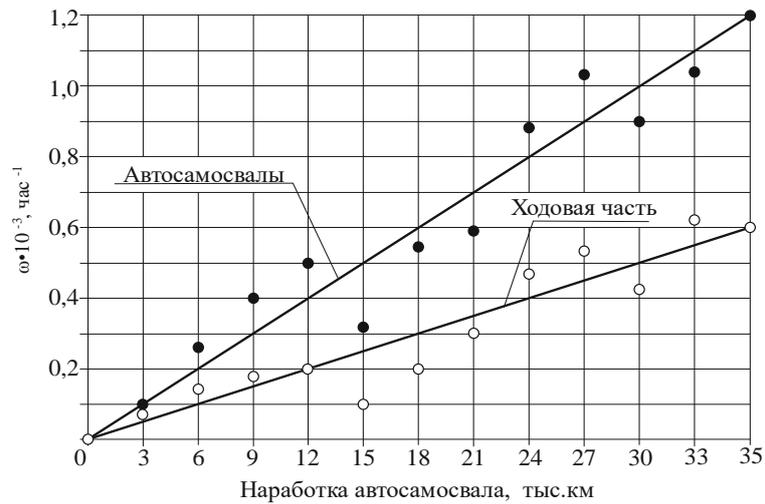


Рисунок 7 – Зависимость параметра потока отказов от наработки автосамосвала

Снижение безотказности карьерных автосамосвалов также связано с абразивным износом деталей систем, относящихся к ходовой части, которая состоит из рамы, передней оси, подвески, колес и шин, ведущего моста или блока мостов. Сопоставление числа отказов данных систем представлено на гистограмме (рис. 8). Видно, что число отказов перечисленных систем в «умеренное» время года увеличивается более чем в 2 раза.

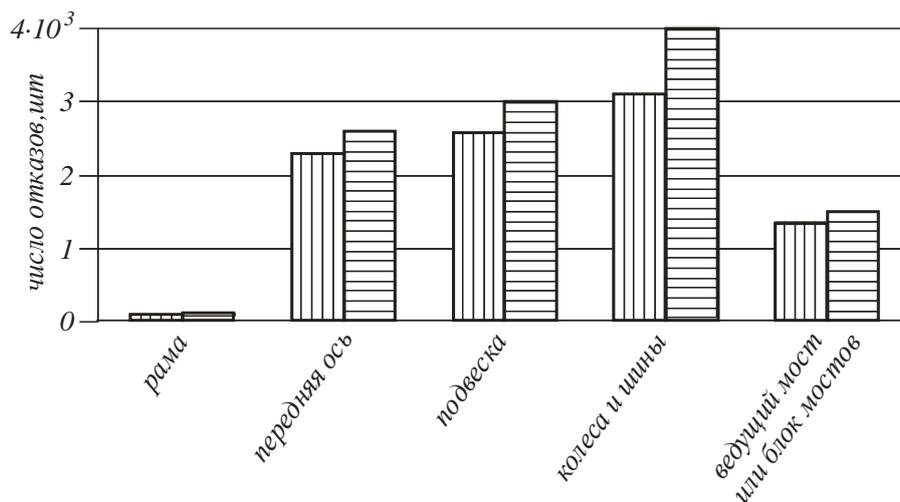


Рисунок 8 – Сопоставление числа отказов узлов и агрегатов ходовой части карьерного автосамосвала в условиях шахты «Фон - Ягноб» в различные периоды эксплуатации: графики с вертикальной штриховкой – среднее значение числа отказов за «холодный» и «умеренный» периоды эксплуатации; графики с горизонтальной штриховкой – число отказов за «жаркий» период эксплуатации

Динамику изменения безотказности карьерных автосамосвалов на длительный период эксплуатации можно получить расчетным путем на основе опытных данных значения параметра потока отказов. Значения параметра потока отказов в течение полного ресурса автосамосвала (5 лет) представлены на рис. 9.

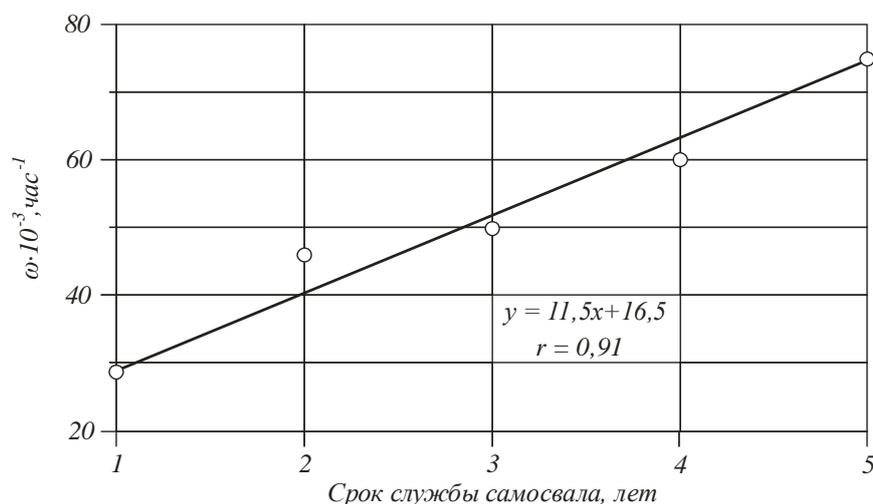


Рисунок 9 – Зависимость параметра потока отказов ходовой части карьерных автосамосвалов от их срока службы в горных условиях эксплуатации

Рост параметра потока отказов с увеличением срока службы карьерных автосамосвалов при  $r = 0.91$  свидетельствует о значительном снижении надежности узлов и агрегатов ходовой части карьерных автосамосвалов. Снижение их надежности происходит по причинам, приведенным в классификационной схеме влияния элементов системы ВАДС на надежность автосамосвалов в горных условиях эксплуатации (рис. 1).

### Выводы

1. Снижение безотказности карьерных автосамосвалов и их ходовой части препятствует выполнению планируемого объема транспортных работ, тому причиной считается снижение производительности и качества грузоперевозок, а также увеличение себестоимости единицы перевезенного груза.

2. Установлено, что на безотказность карьерных автосамосвалов значимо влияют элементы системы ВАДС. На безотказность ходовой части наибольшее влияние оказывает горная карьерная автомобильная дорога, чем обусловлено более 45% отказов.

3. Анализ опытных данных свидетельствует о том, что на безотказность карьерных автосамосвалов большое влияние оказывают периоды их эксплуатации. По результатам опытов выявлено, что в «жаркий» период эксплуатации автосамосвалов в условиях шахты «Фон-Ягноб» при открытой добыче угля частота отказов до 2,5 раза больше по сравнению с «холодным» временем года.

### Список литературы

1. Турсунов А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации. Монография/А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003г.-356 с.
2. Умирзоков А.М. Теоретические основы оценки и повышения эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях. Монография/А.М. Умирзоков. – Душанбе: ООО «Сифат-Офсет», 2023г.-218 с.
3. Турсунов А.А. Оценка суровости горных условий эксплуатации транспортных систем/ А.А. Турсунов, А.М. Умирзоков // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы развития автомобильного транспорта и транспортных коммуникаций в Центрально-Азиатском регионе» - Ташкент, 2007. -С.169-171.
4. Андреева Л.И., Ушаков Ю.Ю. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов // Известия Уральского государственного горного университета. - 2016. -№ 3. -С. 74-77.
5. Бочкарев Ю.С., Бояров М.М. Оценка безотказности автосамосвалов БЕЛАЗ-7540 при освоении запасов россыпных месторождений севера //Горное оборудование и электромеханика – 2020.– № 1 (147). – С. 10-15.
6. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. - СПб.: Наука, 2006. - 387 с.
7. Бахтурин Ю.А. Современные тенденции развития карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - №7. - С. 403-414.
8. Корецкий В.Б. Актуальные задачи эксплуатации горнотранспортных машин в жестких климатических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - Т.10. - №12. - С. 262-277.

9. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Термины и определения». - М.: Издательство стандартов, 1990. - 37 с.
10. Panagiotis Tsarouhas Statistical analysis of failure data for estimating reliability, availability and maintainability of an automated croissant production line // Journal of Quality in Maintenance Engineering. - 2019. - №78 (3). - pp. 247-258. DOI:10.1016/S0951-8320(02)00167-9
11. Tumanggor, Agustina Reliability value analysis of dump truck 108 unit (case study: South Kalimantan coal mining company) // The 6th International conference on manufacturing, optimization, industrial and material engineering: MOIME18. - 2018. DOI: 10.1063/1.5080072.
11. Anistratov K. ANV Group Ltd. Experience of operation of BelAZ dump trucks in Russian openpit mines // Eighteenth International Symposium on Mine. - 2009. - pp. 10-19.
12. [http://fonyagnob.com/about\\_us/](http://fonyagnob.com/about_us/). (дата обращения: 12.05.2023).

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

TJ	RU	EN
Ахунов Тохир Имяминович	Ахунов Тохир Имяминович	Akhunov Tokhir Imyaminovich
д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	d.i.t., professor
Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур	Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемура	Tajik Agrarian University named after Sh. Shotemur
<a href="mailto:akhunov41@bk.ru">akhunov41@bk.ru</a>		
TJ	RU	EN
Бобоев Раимҷон Мусобирович	Бобоев Раимдҷон Мусобирович	Boboev Raimdzhon Musobirovich
н.и.т., и.в., дотсет	к.т.н., и.о. доцента	Ph.D., acting docent
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	Горно-металургический институт Таджикистана	Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan
<a href="mailto:gmit_tajikistan@mail.ru">gmit_tajikistan@mail.ru</a>		

УДК 665.765

## ИМИТАЦИЯ ОКИСЛЕНИЯ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Юнусов М.Ю.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Структурообразование пластичных коллоидных систем имеет свои специфические особенности. Прежде всего, это связано с характером температурных фазовых переходов от начала расплава до агрегации частиц дисперсной фазы, создающих адсорбционные центры в структуре смазки, и окончательного формирования конечного продукта. Относительно механизма структурообразования пластичных смазок в процессе их синтеза имеются самые различные мнения ученых. Получение качественной пластичной смазки существенно зависит от природы дисперсионной среды и дисперсной фазы, рецептуры и температурного режима процесса синтеза конечного продукта. Использование масла минерального происхождения в роли дисперсионной среды с определенной кислотностью, позволяет получить смазки с хорошими объемно-механическими свойствами, но дальнейшее повышение кислотного числа может способствовать разупрочнению структурного каркаса пластичной смазки. Чтобы выявить степень влияния природы дисперсионной среды на объемно-механические и триботехнические свойства пластичных смазок, в данной статье предлагается моделирование процесса окисления углеводородов индивидуальной олеиновой кислотой, имитирующее слабые органические кислоты, появляющиеся в процессе работы двигателя внутреннего сгорания в составе моторного масла. Показано, что регулирование порогового значения кислотного числа отработанного моторного масла путем его неглубокой очистки позволяет получить регенерат вполне пригодный для использования его в качестве дисперсионной среды пластичных смазок общего назначения.

**Ключевые слова:** автомобильные двигатели, моторные масла, дисперсионная среда, продукты окисления, моделирование, пластичные смазки.

## SIMULATION OF OXIDATION OF THE DISPERSION MEDIUM OF GREASES DURING OPERATION

Yunusov M.Y.

Structure formation of plastic colloidal systems has its own specific features. First of all, this is due to the nature of the temperature phase transitions from the beginning of the melt to the aggregation of particles of the dispersed phase, creating adsorption centers in the lubricant structure and the final formation of the final product. Regarding the mechanism of structure formation of greases in the process of their synthesis, there are a variety of opinions of scientists. Obtaining high-quality grease significantly depends on the nature of the dispersion medium and the dispersed phase, the formulation and the temperature regime of the final product synthesis process. The use of mineral oil as a dispersion medium with a certain acidity makes it possible to obtain lubricants with good volumetric and mechanical properties, but a further increase in the acid number can contribute to the softening of the structural frame of the grease. In order to reveal the degree of influence of the nature of the dispersion medium on the volume-mechanical and tribotechnical properties of greases, this article proposes modeling the process of hydrocarbon oxidation by individual oleic acid, which imitates weak organic acids that appear during the operation of an internal combustion engine in the composition of motor oil. It is shown that the regulation of the threshold value of the acid number of used motor oil, by means of its shallow purification, makes it possible to obtain a regenerate that is quite suitable for use as a dispersion medium for general purpose greases.

**Keywords:** car engines, motor oils, dispersion medium, oxidation products, modeling, greases.

## ШАБЕҶСОЗИИ ОКСИДШАВИИ МУҲИТИ ДИСПЕРСИОНИИ ХАМИРАРАВҒАНҶОИ ПЛАСТИКӢ ДАР РАВАНДИ ИСТИФОДАБАРӢ

Юнусов М.Ю.

Соҳтори системаҳои коллоидии пластикӣ хусусиятҳои хоси худро дорад. Пеш аз ҳама, ин ба хусусияти гузариши фазаи ҳароратӣ аз ибтидои ғудохтшавӣ то ба яқояшавии зарраҳои фазаи дисперсии бавучудорандаҳои марказҳои адсорбсионӣ дар соҳтори хамираравған ва ташаккули охири маҳсулоти ниҳой вобаста аст. Оид ба механизми ташаккули соҳтори хамираравғанҳо дар раванди синтези онҳо фикру ақидаҳои гуногуни олимони мавҷуданд. Ҳосил намудани хамираравғани хушсифат ба таври назаррас аз хусусияти муҳити дисперсионӣ ва фазаи дисперсӣ, таркиб ва речай ҳарорати раванди синтези маҳсулоти ниҳой вобаста аст. Истифодаи равғани минералӣ ҳамчун муҳити дисперсионии дорои адади кислотагии муайян имкон медиҳад, ки хамираравғанҳои дорои ҳосиятҳои хуби ҳаҷмӣ ва механикӣ ба даст оварда шаванд, аммо афзоиши минбаъдаи миқдори кислота метавонад ба нарм шудани қолаби соҳтории равған мусоидат наояд. Барои ошкор намудани дараҷаи таъсири табиати муҳити дисперсионӣ ба ҳосиятҳои ҳаҷмӣ-механикӣ ва триботехникии хамираравғанҳо, дар мақола амсиласозии раванди оксидшавии карбогидрогенҳо бо кислотаи инфиродии олеин, ки ба кислотаҳои органикии заифи дар раванди кории муҳаррикони дарунсӯз дар таркиби равғани муҳаррикӣ бавучудоянда шабоҳат дорад, пешниҳод гардидааст. Нишон дода шудааст, ки танзими ҳадди ниҳони адади кислотагии равғани мотории истифодашуда бо роҳи тозакунии ками он имкон медиҳад регенерате ба даст оварда шавад, ки барои истифода ҳамчун муҳити дисперсионии хамираравғанҳои пластикӣ табиноти умумӣ қомилан мувофиқ аст.

**Калидвожаҳо:** муҳаррикони автомобилӣ, равғанҳои муҳаррикӣ, муҳити дисперсионӣ, маҳсулоти оксидшавӣ, амсиласозӣ, хамираравғанҳои пластикӣ.

### Введение

Современные машины и механизмы, напичканные множеством узлов трения, невозможно представить без качественного смазочного материала. С развитием техносферы параллельно повышаются и требования к данным трибосистемам. Наряду с жидкими смазочными маслами для обеспечения надежности и долговечности трибоузлов немаловажная роль принадлежит пластичным

смазкам. Последние ошибочно соотнесены к твердым телам ввиду свойственным им тиксотропным превращениям. Преимущество пластичных смазок перед жидкими углеводородами заключается в возможности применения их в открытых узлах трения. Пластичные смазки, как агент уменьшения трения и износа в машинах и защиты металлов от коррозии, применяют в течение многих лет. Их ассортимент значительно расширяется быстрыми темпами.

К качеству пластичных смазок, применяемых в трибологических узлах современных автомобилей, предъявляют высокие требования. Данный показатель в немалой степени зависит от природы и свойств одного из компонентов пластичной смазки – дисперсионной среды, в качестве которого в основном используют масла нефтяного происхождения.

В последние годы с целью частичного решения проблем вторичного применения отработанных моторных масел (ОММ) ведутся научно-поисковые работы по использованию последних в роли дисперсионной среды консистентных смазок общего назначения [1-3]. В структуре ОММ продукты окисления играют роль поверхностно-активных веществ, и потому, как и детергенты, могут заметно повлиять на процесс структурообразования пластичных смазок, а также на их триботехнические показатели [4].

В этой связи в данном направлении представляет научный интерес установление влияния продуктов окисления на объемные и поверхностные свойства получаемых олеогелей.

### Постановка эксперимента

Состав ОММ непостоянен и, как правило, срабатывание присадок различного функционального значения в период эксплуатации и хранения не происходит одновременно. Установление степени влияния природы дисперсионной среды на объемно-механические и триботехнические свойства пластичных смазок довольно-таки труднореализуемая задача. В этой связи предлагаемая методика моделирования процесса окисления углеводородов в ДВС имеет цель имитирования индивидуальной олеиновой кислотой слабые органические кислоты – продукты окисления моторного масла, появляющиеся в процессе работы двигателя внутреннего сгорания.

Для исключения влияния различных факторов, которые могут зависеть от состава отработанного масла, степени окисления, а также концентрации присадок, были подготовлены модельные смазки для изучения триботехнических и других свойств олеогелей на основе ОММ в качестве дисперсионной среды.

В роли модели дисперсной фазы служила олеиновая кислота, а модели дисперсионной среды, не содержащей присадок нефтяного происхождения, веретенное масло. Олеиновая кислота является представителем индивидуальных жирных кислот (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика олеиновой кислоты

Показатели	Значения
Формула	$C_{18}H_{33}O_2$
Молекулярная масса	282,5
Кислотное число, мг КОН/г	190
Температура плавления, °C	15,4
Температура кипения, °C	286

Выбранные объемно-механические и триботехнические параметры смазок контролировали стандартными методами.

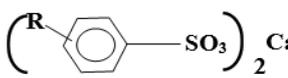
Как известно, в число наиболее типичных продуктов окисления, образующих при старении (срабатывании) моторного масла, входят кислые продукты, относящиеся к слабым органическим кислотам [5-8].

В роли базового масла, т.е. дисперсионной среды, было использовано веретенное масло МГ-22А, которое является компонентом большинства современных моторных масел, характеристики которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика веретенного масла МГ-22А

Наименование показателя	Величина показателя	Метод испытания
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре 20 <sup>0</sup> С 50 <sup>0</sup> С 100 <sup>0</sup> С	47 12 3,7	ГОСТ 33 -66
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла Зольность, %	0,026 0,0038	ГОСТ 5985 ГОСТ 1461
Содержание водорастворимых кислот и Щелочей	отсутств.	ГОСТ 6307
Содержание мех. примесей, %	отсутств.	ГОСТ 6370
Температура вспышки в открытом тигле, °С	172	ГОСТ 4333
Температура застывания, °С	-45	ГОСТ 20287

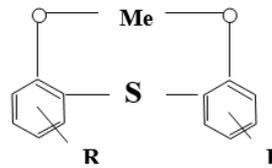
Таблица 3 – Характеристики сульфонатной присадки С-150

Показатели	Значения
Структурная формула	
Кинематическая вязкость при 100 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с, не более	50
Щелочное число, мг КОН/г	120-150
Массовая доля, %:	
сульфоната кальция, не ниже	28
сульфатной золы	17-24
механических примесей, не более	0,08
воды, не более	0,12
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	180
Растворимость в масле	Полная

В модельную дисперсионную среду вводились присадки: сульфонатная С-150 и фенолятная ВНИИНП- 714, все в количестве 3% (масс.). Как известно, С-150 обладает моюще - диспергирующим, а ВНИИНП- 714 - нейтрализующим и антиокислительным действием, характеристики которых приведены в таблицах 3 и 4. Обе присадки нашли широкое применение для улучшения качества многих современных пластичных смазок.

Были подготовлены образцы масел с различной концентрацией олеиновой кислоты для нейтрализации детергентов. Олеиновая кислота имитирует органическую кислоту, т.е. продукта, образующегося в результате окисления моторных масел в двигателях внутреннего сгорания. В зависимости от изменения показателя электропроводности определяли содержание олеиновой кислоты.

Таблица 4 – Характеристики фенолятной присадки ВНИИНП-714

Показатели	Значения
Структурная формула	
Кинематическая вязкость при 100 <sup>0</sup> С, мм <sup>2</sup> /с, не более	150
Щелочное число, мг КОН/г	140
Массовая доля, %:	
сульфоната кальция, не ниже	≤ 21
сульфатной золы	3,0-5,0
механических примесей, не более	0,08
воды, не более	0,1
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	170
Растворимость в масле	полная

Были приготовлены по четыре образца масла с присадками, содержание кислоты в которых соответствует точкам 1-4 на кривой обобщенной зависимости (рис. 1). На кривой обозначены:

1 - начало точки процесса нейтрализации детергента (концентрация кислоты – 0,01 мг КОН/г).

2 - предел нейтрализующего запаса детергента (концентрация кислоты – 1 мг КОН/г).

3 – точка, эквивалентная равновесию системы (концентрация кислоты – 1,5 мг КОН/г).

4 – точка, соответствующая области за пределами нейтрализующей способности детергента (концентрация кислоты – 2 мг КОН/г).

Используя данные образцы были приготовлены гидратированные кальциевые и литиевые смазки.



Рисунок 1 – Зависимость изменения электропроводности масла МГ-22А в зависимости от содержания олеиновой кислоты

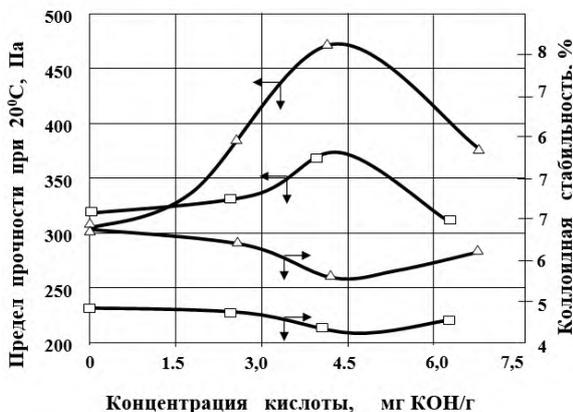
### Обсуждение полученных результатов

Установлено, что с увеличением кислотности до точки нейтрализации симбатно улучшаются объемно-механические свойства подготовленных образцов (рисунок 2).

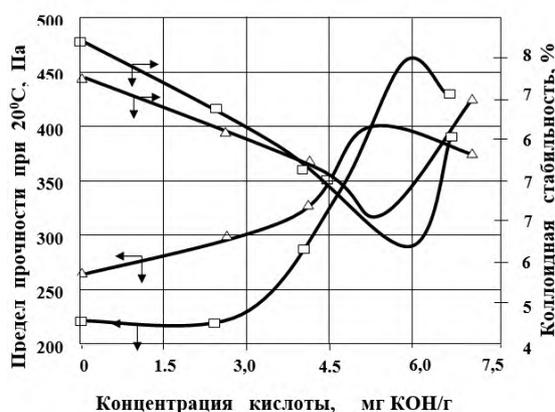
Скорее всего, это связано с тем, что нейтрализующее действие олеиновой кислоты на используемый детергент, позволяет в какой-то мере предотвратить его разрушающее действие на формирование структуры мыла.

Однако предел прочности у смазок, приготовленных на свежем МГ-22А, установленный ранее проведенными исследованиями, значительно выше (690 Па – для литиевой и 540 Па – для гидратированной кальциевой). В данном случае это происходит из-за образования надмицеллярных структур в связи с молекулой жирной кислоты – детергент, которые обладают необходимой поверхностной активностью и вполне могут повлиять на процесс структурообразования мыла.

Дальнейший избыток кислоты ведет к разрушению структуры смазки, что коррелирует с результатами опытов, ранее проведенных учеными [3].



Гидратированная кальциевая смазка (Са-мыло ДЖКХМ+МГ-22А)



б) Литиевая смазка (Li St+МГ-22А)

Рисунок 2 – Изменение объемно – механических свойств смазок в зависимости от содержания олеиновой кислоты. На рисунке обозначены:

—□— С-150

Введение моюще - диспергирующих присадок (С-150) значительно улучшает противозадирные характеристики смазок, а противоизносные характеристики несколько ухудшаются (таблица 5). Так, при введении до 3% (масс.) присадки С-150 с увеличением доли олеиновой кислоты наблюдается рост критической нагрузки на сваривание и соответствующее уменьшение диаметра пятна износа на поверхности контакта стальных шариков машины трения.

Аналогичная картина наблюдается и в случае с присадкой ВНИИНП- 714, обладающей нейтрализующим и антиокислительным действием.

Таблица 5 – Влияние олеиновой кислоты на триботехнические свойства смазок (МГ-22А + 3% присадка + 12% Li St)

Дисперсионная среда	Содержание кислоты, мг КОН/г	Критическая нагрузка, Н	Диаметр пятна износа, мм
<b>МГ-22А+ +3%С-150</b>	0	580	0,65
	2.05	600	0,67
	4.10	620	0,68
	6.16	680	0,72
<b>МГ-22А+ +3%В-714</b>	0	750	0,58
	2.12	800	0,70
	4.24	860	0,82
	6.36	740	0,85

### Заключение

Таким образом, установлено, что высокомолекулярные органические кислоты, образующиеся в процессе окисления углеводов масла, до определенной концентрации способны улучшать объемно-механические и триботехнические свойства смазок, а дальнейшее увеличение концентрации кислоты ведет к разупрочнению структуры пластичной смазки. Полученные результаты показывают, что в качестве дисперсионной среды пластичных смазок общего назначения, можно использовать отработанные моторные масла автомобильных двигателей после отстоя и неглубокой очистки от продуктов окисления.

### Литература:

1. Юнусов М.Ю. Физико-химические основы утилизации отработанных смазочных материалов / Автореф. дисс. ... канд.техн.наук, М.: 2006. – 25 с.
2. Евдокимов А.Ю. Смазочные материалы и проблемы экологии / Евдокимов А.Ю. Фукс И.Г., Шабалина Т.Н., Багдасаров Л.Н. – РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – М.: ГУП Издательство “Нефть и газ”, 2000. – 424 с.
3. Бодурбеков, Ф. С. Рациональное использование отработанных минеральных моторных масел / Ф. С. Бодурбеков, М. Ю. Юнусов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 216-219. – EDN BSTNXD.
4. Влияние дисперсионной среды на антиокислительную стабильность комплексных литиевых смазок / Л. В. Железный, В. В. Бутовец, Л. М. Костюк, И. В. Лендбель // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 5(531). – С. 51-53. – EDN HSJFRD.
5. Ищук Ю.Л. Технология пластичных смазок. – Киев: Наукова Думка, 1996. – 516 с.
6. Бодурбеков Ф.С. Изменение качества моторного масла - индикатор текущего состояния автомобильных двигателей / Ф. С. Бодурбеков, М. Ю. Юнусов, Б. Ж. Мажитов, Н. Б. Сахибов // Kishovarz. – 2018. – № 1. – С. 38-40. – EDN STQAJE.
7. Пластичные смазки на основе отработанных моторных масел энергоустановок наземного транспорта / М. Ю. Юнусов, М. А. Абдуллоев, А. Л. Бердиев [и др.] // Транспортные и транспортно-технологические системы : мат. Междун. научно-технической конфер., Тюмень, 16 апреля 2014 года / МО и Н РФ, ТГНУ УрО РАТ – Тюмень: ТГНУ, 2014. – С. 293-298. – EDN SYFCMN.
8. Юнусов М.Ю. Влияние продуктов окисления дисперсионной среды на свойства пластичных смазок / М. Ю. Юнусов, М. Д. Исобаев, Т. Т. Пиров [и др.] // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2010. – Т. 53. – № 6. – С. 479-482. – EDN NCFQF.

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

RU	TJ	EN
Юнусов Мансур Юсуфович	Юнусов Мансур Юсуфович	Yunusov Mansur Yusufovich
к.т.н.	н.и.т.	Ph.D.
ТТУ имени акад. М.С. Осими	ДТТ ба номи академик М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
m-yunusov@mail.ru		
<a href="https://orcid.org/0000-0003-3456-9118">https://orcid.org/0000-0003-3456-9118</a>		

УДК 656.02

## ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА СКОРОСТЬ СООБЩЕНИЯ НА ЧЕТЫРЁХПОЛОСНЫХ СЕКМЕНТАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МИКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Пиров Ж. Т., <sup>1</sup>Давлатшоев Р.А., <sup>2</sup>Бобоев Р. М.

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

<sup>2</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

Целью данного исследования является разработка методики и повышения точности оценки качества организации дорожного движения (ОДД) на четырёхполосных регулируемых сегментах городских улиц и дорог с помощью данных, получаемых микромоделированием процесса транспортных потоков (ТП).

Продолжающийся рост уровня автомобилизации и численности населения в городе Душанбе с ежегодным увеличением количества жителей на 2,7% сопровождается усложнением условий дорожного движения, т. е. снижением скорости сообщения ТП, задержками транспортных средств (ТС), увеличением загрязнения окружающей среды и появлением транспортных заторов. Соответственно, необходимость оценки качества ОДД является одной из важнейших задач эффективного развития наземного транспорта, обеспечения экологической и дорожной безопасности, а также обеспечения его работоспособности.

Оценка качества организации дорожного движения является актуальной проблемой, особенно в постиндустриальном обществе в условиях роста требований эффективности функционирования транспортных систем. В настоящее время с развитием компьютерных технологий, таких как программный продукт PTV Vissim (микромоделирование), а также средства автоматизированного сбора данных о различных характеристиках дорожного движения, появляются принципиально новые методы оценки качества ОДД. В частности, применение микромоделирования может значительно упростить процедуру оценки условий движения на сегментах городских улиц, предложенную в руководстве HCM 2010. В данный момент в мировой практике транспортного планирования и проектирования городских улиц основным критерием оценки качества ОДД является показатель LOS - level of service (уровень обслуживания). Применительно к регулируемым городским улицам критерием качества ОДД является Travel speed (скорость сообщения) на сегменте улицы. В американском руководстве Highway Capacity Manual (HCM) 2010 Travel speed определяется с учетом продолжительности движения по сегменту и задержки ТП на замыкающем перекрестке. Данная работа посвящена разработке методов оценки уровня обслуживания на городских улицах и дорогах с применением данных, получаемых на основе микромоделирования ТП.

Ранее в рамках выполняемого исследования для двух и трехполосных регулируемых сегментах с конфликтом левоповоротного потока и без конфликта на основе полученных данных микромоделирования и статистического анализа были получены 36 регрессионных зависимостей «скорость сообщения - длина сегмента», которые имеют высокие значения. Следовательно, на новом этапе выполняемого нами исследования принято решение выявить закономерности влияния на скорость сообщения распределения ТП по направлениям движения на замыкающем сегменте пересечения на четырёхполосных сегментах УДС с регулируемого движения светофорного объекта без конфликта левоповоротного потока.

Завершённый этап исследования подтвердил влияние на скорость сообщения неравномерности распределения ТП по направлениям движения на замыкающем пересечении на четырёхполосных сегментах с регулируемым движением светофорного объекта, не имеющего конфликта левоповоротного потока.

**Ключевые слова:** сегмент, скорость сообщения, ОДД, транспортный поток, микромоделирование, улично-дорожная сеть.

## ТАЪСИРИ ТАКСИМШАВИИ СЕЛАИ НАҚЛИЁТӢ БА СУРЪАТИ МИЁНАИ ҲАРАКАТ ДАР ПОРЧАҶОИ ЧОРХАТТАИ ШАБАКАИ РОҶУ НАҚЛИЁТ ДАР АСОСИ МАЪЛУМОТҶОИ МИКРОМОДЕЛСОЗӢ

Пиров Ҷ.Т., Давлатшоев Р.А., Бобоев Р. М.

Мақсади ин тадқиқот таҳияи методология ва такмил додани дақиқии арзёбии сифати ташкили ҳаракат дар роҳ (ТҲР) дар сегментҳои танзимшавандаи чорхатта бо истифода аз маълумоте, ки аз микромоделсозии селайи нақлиётӣ гирифта шудааст, мебошад.

Афзоиши пайвасти сатҳи автомобилизатсия ва аҳолии шаҳри Душанбе бо афзоиши солонаи 2,7% шумораи аҳоли, бо мушкил шудани шароити ҳаракати нақлиёт, яъне паст шудани суръати робитавии селайи нақлиётӣ, андармонию воситаҳои нақлиёт, афзудани ифлосшавии муҳити зист ва бавучуд омадани тамбашавӣ. Бинобар ин, зарурати баҳодиҳии сифати ташкили ҳаракат дар роҳ яке аз вазифаҳои муҳимтарини рушди самаранокии нақлиёти автомобилӣ, таъмини фаъолияти он, беҳтарини ҳаракат дар роҳ ва экологӣ мебошад.

Баҳодиҳии сифати ташкили ҳаракат дар роҳ, махсусан дар ҷомеаи руш ба иқтисод дар шароити афзоиши талабот ба самаранокии системаҳои нақлиёт, масъалаи таъхирнопазир аст. Дар айни замон, бо рушди технологияҳои компютерӣ, ба монанди барномаи компютери PTV Vissim (микромоделсозӣ), инчунин воситаҳои автоматии ҷамъоварии маълумот оид ба хусусиятҳои гуногуни ташкили ҳаракат дар роҳ, усулҳои принципиалии нави арзёбии сифати ТҲР пайдо мешаванд. Аз ҷумла, истифодаи микромоделсозӣ метавонад тарғиби арзёбии ҳолати ҳаракати нақлиётро дар сегментҳои шабакаи роҳу нақлиёт, ки дар дастури HCM 2010 пешниҳод шудааст, хеле содда кунад. Дар робита ба кӯчаҳои танзимшавандаи шаҳр, меъёри сифати ТҲР суръати робитавӣ (суръати миёна) дар сегменти кӯчаҳо мебошад. Дар дастури иқтисодии роҳи автомобилгарди амриқой (HCM) 2010 суръати робитавӣ бо назардошти давомнокии ҳаракат дар тӯли сегмент ва андармонию селайи нақлиётӣ дар чорроҳаи танзимшаванда муайян карда мешавад. Қори мазкур ба таҳияи усулҳои баҳодиҳии сатҳи хизматрасонӣ дар кӯчаҳо ва роҳҳои шаҳр бо истифода аз маълумоте, ки дар асоси микромоделсозии селайи нақлиётӣ ба даст оварда шудааст, бахшида шудааст.

Қаблан, дар доираи таҳқиқоти қорӣ, барои сегментҳои танзимшавандаи ду ва се хати ҳаракат бо селайи нақлиётҳои ҳаракати муқобили тарафи чап, дар асоси маълумоти бадастомадаи микромоделсозӣ ва таҳлили оморӣ 36 вобастагии регрессионии "суръати робитавӣ-дарозии порча" ба даст оварда шуданд, ки арзишҳои баланд доранд. Аз ин рӯ, дар марҳилаи нави тадқиқоти мо тасмим гирифта шуд, ки намунаҳои таъсир ба суръати робитавии тақсимооти селайи нақлиётӣ дар самтҳои ҳаракат дар сегменти шабакаи роҳу нақлиёт дар китъаҳои қорхаттаи роҳ бо қорроҳои идорашавандаи ҳаракат дар роҳ тавасути қароғакҳои роҳнамо ба ҳаракати муқобили тарафи чапи селайи нақлиётӣ.

Марҳилаи анҷомёфтаи тадқиқот таъсирасониро ба суръати робитавӣ нобаробарии тақсимооти селайи нақлиётӣ ба самтҳои ҳаракат дар қорроҳа дар сегментҳои қорхаттаи танзимшавандаи ба ҳаракати селайи нақлиёти муқобили тарафи чап, тасдиқ кард.

**Калимаҳои калидӣ:** сегмент, суръати робитавӣ (суръати миёна), ташкили ҳаракат дар роҳ, селайи нақлиётӣ, микромоделсозӣ, шабакаи роҳу нақлиёт.

## INFLUENCE OF DISTRIBUTION OF TRAFFIC STREAMS ON COMMUNICATION SPEED ON FOUR-LANE SEGMENTS OF STREET AND ROAD NETWORKS ON THE BASIS OF MICROMODELING DATA

Pirov J.T., Davlatshoev R.A., Boboev.R.M.

The purpose of this study is to develop a methodology and improve the accuracy of assessing the quality of road traffic (ORT) on four-lane regulated segments using the data obtained from the micro-modeling of the traffic flow (TF) process.

The continuing growth in the level of motorization and population in the city of Dushanbe, with an annual increase in the number of inhabitants by 2.7%, is accompanied by a complication of traffic conditions, i.e., a decrease in the speed of communication of TS, delays of vehicles (V), an increase in environmental pollution and traffic congestion. Accordingly, the need to assess the quality ORT is one of the most important tasks for the effective development of road transport, ensuring its performance, road and environmental safety.

Assessing the quality of traffic organization is an urgent problem, especially in a post-industrial society in the face of growing requirements for the efficiency of transport systems. At present, with the development of computer technologies, such as the PTV Vissim software product (micro-simulation), as well as automated data collection tools for various road traffic characteristics, fundamentally new methods for assessing the quality of ORT appear. In particular, the use of micro-simulation can greatly simplify the procedure for assessing traffic conditions on segments of city streets, proposed in the HCM 2010 guide. services). In relation to regulated city streets, the criterion for the quality of ORT is Travel speed on the street segment. In the American Highway Capacity Manual (HCM) 2010 Travel speed is determined taking into account the duration of movement along the segment and the TF delay at the closing intersection. This work is devoted to the development of methods for assessing the level of service on city streets and roads using data obtained on the basis of micromodeling of TF.

Previously, within the framework of the ongoing study, for two and three-lane regulated segments with and without a left-hand flow conflict, 36 regression dependencies "message speed-segment length" were obtained based on the obtained data of micromodeling and statistical analysis, which have high values. Therefore, at the new stage of our research, it was decided to identify the patterns of influence on the speed of communication of the distribution of TF in the directions of movement at the closing segment of the intersection on the four-lane segments of the road network from the regulated movement of a traffic light object without a left-turn flow conflict.

The completed stage of the study confirmed the impact on the speed of communication of the non-uniformity of the distribution of TF in the directions of movement at the closing intersection on four-lane segments from the regulated movement of a traffic light object without a left-turn flow conflict.

**Key words:** segment, travel speed, traffic management, traffic flow, micromodeling, road network.

### ВВЕДЕНИЕ

В данный момент в Соединенных штатах Америки и ряде европейских стран основным критерием оценки качества ОДД стал показатель уровня обслуживания (level of service - LOS), при этом для каждого из видов транспортной инфраструктуры используются определенные критерии уровня обслуживания. Применительно к регулируемой УДС критерием является скорость сообщения на сегменте улицы, включающем перегон и замыкающий перекресток. Скорость сообщения рассчитывается с учетом продолжительности движения по сегменту и задержки на замыкающем перекрестке.

Средняя задержка определяется аналитически на основе методики, представленной в руководствах Highway Capacity Manual - HCM (HCM 2000, HCM 2010, HCM 6<sup>th</sup>) и адаптируемых к условиям других стран мира. Другая составляющая – продолжительность движения на сегменте определяется на основе эмпирических зависимостей «скорость – дорожные условия», полученных для условий движения городов США [12]. В исследовании рассматривается альтернативный метод, основанный на использовании данных микромоделирования, что позволит значительно сократить трудоемкость оценки скорости сообщения.

### Исследование влияния длины регулируемого сегмента с конфликтом и без конфликта левоповоротного потока и распределения ТП на скорость сообщения

Выполняемое нами исследование позволило выявить закономерности влияния на скорость сообщения распределения ТП по направлениям движения на замыкающем пересечении сегмента без конфликта левоповоротного потока. Рассмотреть обширный диапазон сочетаний длины

четырёхполосных сегментов и распределения ТП по направлениям движения на замыкающем пересечении возможно лишь с применением методов микро моделирования ТП и для этой задачи использована программа PTV Vissim.

Выполненный этап исследования подтвердил влияние на скорость сообщения неравномерности распределения ТП по направлениям движения на замыкающем пересечении.

Ранее в рамках выполненного исследования были рассмотрены двухполосные и трехполосные сегменты городских улиц с регулируемым движением с конфликтом и без конфликта фазы регулирования ТП, получены регрессионные зависимости «скорость сообщения  $S_T$  – длина сегмента» [4, 5]:

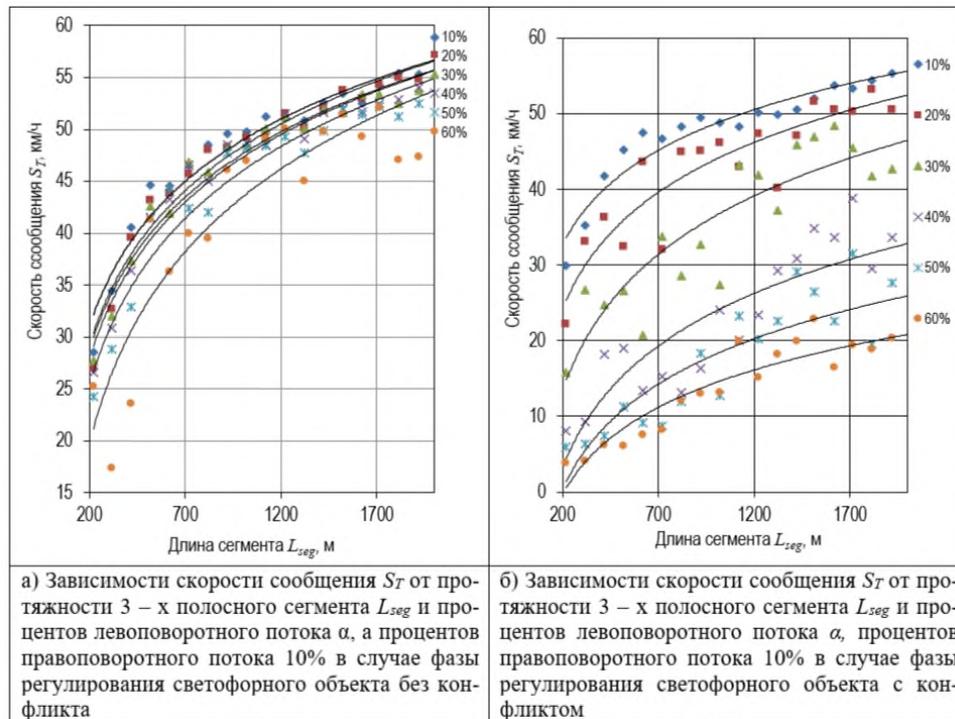


Рисунок 3 – Результаты микро моделирования влияния на скорость сообщения  $S_T$  ТП протяжности 3 – х полосного сегмента  $L_{seg}$  и процентов левоповоротного потока  $\alpha$ , а процентов правоповоротного потока 10% в случае фазы регулирования светофорного объекта, имеющего конфликт и без конфликта [5].

Таблица 1 – Зависимости влияния процентов левоповоротного потока  $\alpha$ , правоповоротного потока  $\gamma$  и суммарных процентов лево- и правоповоротных потоков  $\beta$  на скорость сообщения  $V_T$  на трехполосных сегментах длиной  $L_{seg}$ , обслуживаемых фазами с конфликтом левого поворота и без конфликта [5].

Фазы регулирования без конфликта				R <sup>2</sup>	Фазы регулирования с конфликтом				R <sup>2</sup>
1	2	3	4		5	6	7	8	
α	10%	$V_T = 11,13 \ln(L_{seg}) - 27,91$	0,96	α	10%	$V_T = 9,97 \ln(L_{seg}) - 20,12$	0,93		
	20%	$V_T = 11,87 \ln(L_{seg}) - 33,63$	0,96		20%	$V_T = 12,27 \ln(L_{seg}) - 40,75$	0,83		
	30%	$V_T = 11,65 \ln(L_{seg}) - 32,85$	0,96		30%	$V_T = 14,36 \ln(L_{seg}) - 62,62$	0,79		
	40%	$V_T = 12,04 \ln(L_{seg}) - 35,87$	0,95		40%	$V_T = 12,88 \ln(L_{seg}) - 65,07$	0,77		
	50%	$V_T = 12,83 \ln(L_{seg}) - 42,58$	0,94		50%	$V_T = 11,11 \ln(L_{seg}) - 58,53$	0,74		
	60%	$V_T = 14,77 \ln(L_{seg}) - 58,53$	0,83		60%	$V_T = 9,18 \ln(L_{seg}) - 48,96$	0,87		
β	20%	$V_T = 10,54 \ln(L_{seg}) - 23,67$	0,97	β	20%	$V_T = 9,97 \ln(L_{seg}) - 20,14$	0,93		
	30%	$V_T = 10,96 \ln(L_{seg}) - 26,96$	0,96		30%	$V_T = 10,81 \ln(L_{seg}) - 27,83$	0,90		
	40%	$V_T = 12,05 \ln(L_{seg}) - 34,99$	0,96		40%	$V_T = 11,33 \ln(L_{seg}) - 34,87$	0,87		
	50%	$V_T = 12,08 \ln(L_{seg}) - 35,56$	0,96		50%	$V_T = 11,91 \ln(L_{seg}) - 47,0$	0,83		
	60%	$V_T = 13,29 \ln(L_{seg}) - 37,27$	0,94		60%	$V_T = 13,82 \ln(L_{seg}) - 66,78$	0,78		
	70%	$V_T = 12,17 \ln(L_{seg}) - 37,14$	0,95		70%	$V_T = 14,03 \ln(L_{seg}) - 72,98$	0,90		
γ	10%	$V_T = 11,13 \ln(L_{seg}) - 27,91$	0,96	γ	10%	$V_T = 11,54 \ln(L_{seg}) - 32,57$	0,96		
	20%	$V_T = 11,33 \ln(L_{seg}) - 29,32$	0,95		20%	$V_T = 11,99 \ln(L_{seg}) - 38,20$	0,95		
	30%	$V_T = 11,44 \ln(L_{seg}) - 30,37$	0,95		30%	$V_T = 12,22 \ln(L_{seg}) - 38,20$	0,93		
	40%	$V_T = 11,62 \ln(L_{seg}) - 31,71$	0,96		40%	$V_T = 12,39 \ln(L_{seg}) - 40,07$	0,93		
	50%	$V_T = 11,53 \ln(L_{seg}) - 31,38$	0,96		50%	$V_T = 12,70 \ln(L_{seg}) - 42,83$	0,94		
	60%	$V_T = 11,20 \ln(L_{seg}) - 28,69$	0,94		60%	$V_T = 13,21 \ln(L_{seg}) - 46,94$	0,91		

Вышеуказанные полученные зависимости имеют достаточно высокие показатели статистической значимости и поэтому могут использоваться в практике для оценки качества ОДД в стадии проектирования сегментов городских улиц с регулируемым движением светофорного объекта, в случае доли левоповоротного потока с конфликтом и без конфликта.

Рассмотреть широкий диапазон сочетаний протяжности регулируемого сегмента и распределения ТП по направлениям движения на замыкающем пересечении на основе практических данных и реальных условий городских улиц очень сложно. Возможное решение этой сложной задачи – применение микромоделирования ТП и для этого выбрана программа PTV Vissim [14]. Пакет основан на модели Вейдемманна (Wiedemann's Car following model), позволяющей моделировать транспортный процесс, в том числе маневры смены полос движения на многополосных проезжих частях, опережение, обгон [7]. Модель Вейдемманна предполагает, что водитель может находиться в одном из четырех состояний: свободное движение, приближение, следование и торможение. Специалисты в области транспортного планирования и проектирования городских улиц отмечают [5], что значения средней задержки на регулируемых пересечениях, получаемые при использовании пакета PTV Vissim, наиболее близки к расчетным значениям методики руководств HCM 2000, 2010, 2016 [10, 11, 12]. Также надо отметить, что с использованием PTV Vissim-микромоделирование уже применялось во многих зарубежных исследованиях, в том числе для выявления влияния интенсивности движения на скорость сообщения [12-14], оптимизации светофорных объектов, анализа эффективности круговых перекрестков и др.

Влияние распределения ТП и протяжности регулируемого сегмента по направлениям движения на замыкающем сегменте перекрестка рассмотрено в программе PTV Vissim для следующих условий:

- четырёхполосные сегменты протяженностью от 200 до 2000 м с шагом 100 м;
- длительность цикла регулирования на замыкающем перекрёстке рассматриваемого сегмента 80 с и относительная длительность зеленого сигнала 40% (рисунок 2);
- фазы регулирования без конфликта левоповоротного потока (рисунок 2);
- распределение ТП на замыкающем перекрёстке сегмента: вправо – 10%; прямо от 80% до 30%; влево от 10% до 60%;
- скорость движения ТП в свободных условиях 60 км/ч (т.е. разрешаемая скорость);
- интенсивность движения на перегоне сегмента **3240** авт/ч;
- удельная интенсивность движения ТП 810 авт./ч·полосу;
- продолжительность имитационного моделирования в 1000 с (16,6 мин).

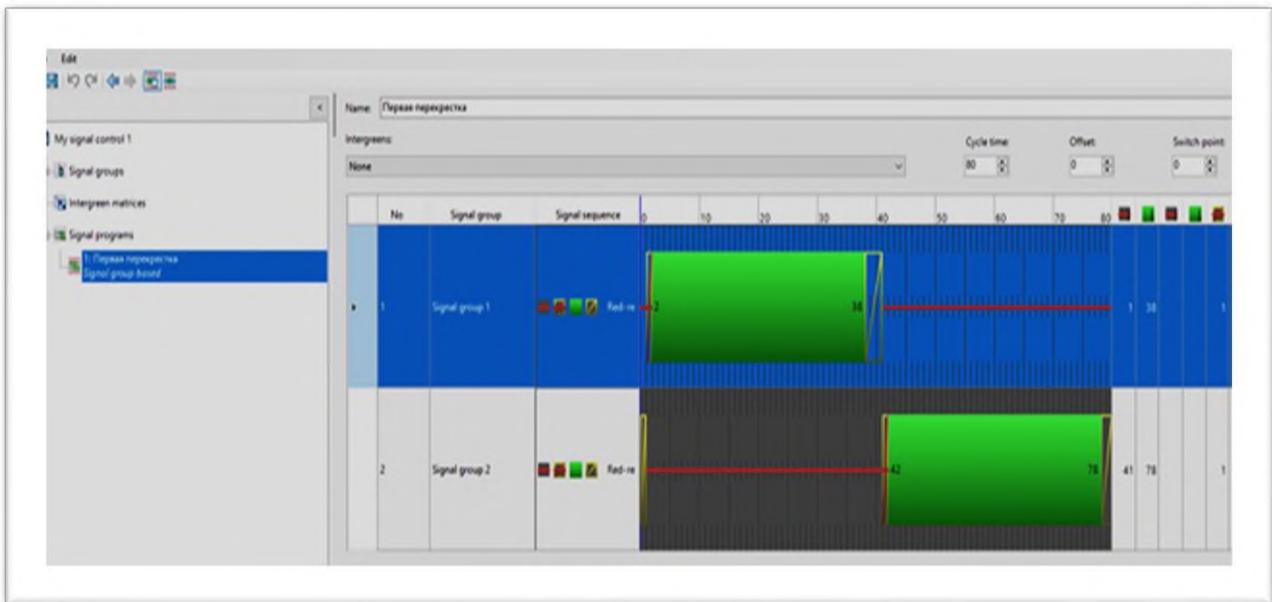


Рисунок 2 – Диаграмма регулирования светофорного объекта с указанием времени начала и окончания фаз на замыкающем пересечении четырёхполосного сегмента в программе PTV Vissim, с



Рисунок 3 – Рассмотренные варианты четырёхполосных сегментов с пересечениями имеющих фаз регулирования, обслуживающих ТП без конфликта левоповоротного движения с прямым потоком (PTV Vissim).

Длительность цикла 80 с и относительная длительность зеленого сигнала 40% были выбраны как широко распространенные в практике организации движения.

Полученные результаты микро моделирования значений скорости сообщения (рис. 4) позволяют делать следующие выводы:

в условиях отсутствия левоповоротного конфликта (рис. 4) большее влияние на скорость сообщения оказывает длина регулируемого сегмента. У сегментов длиной от 200 до 300 м скорость потока на 30-45%, чем у сегментов протяженностью более 1500 м (рис. 4);

распределение ТП на четырехполосных сегментах доля левоповоротного движения оказывает незначительное влияние на скорость сообщения (рис. 4). Так при увеличении этой доли до 60% скорость сообщения снижается 3-6% (рис. 4).

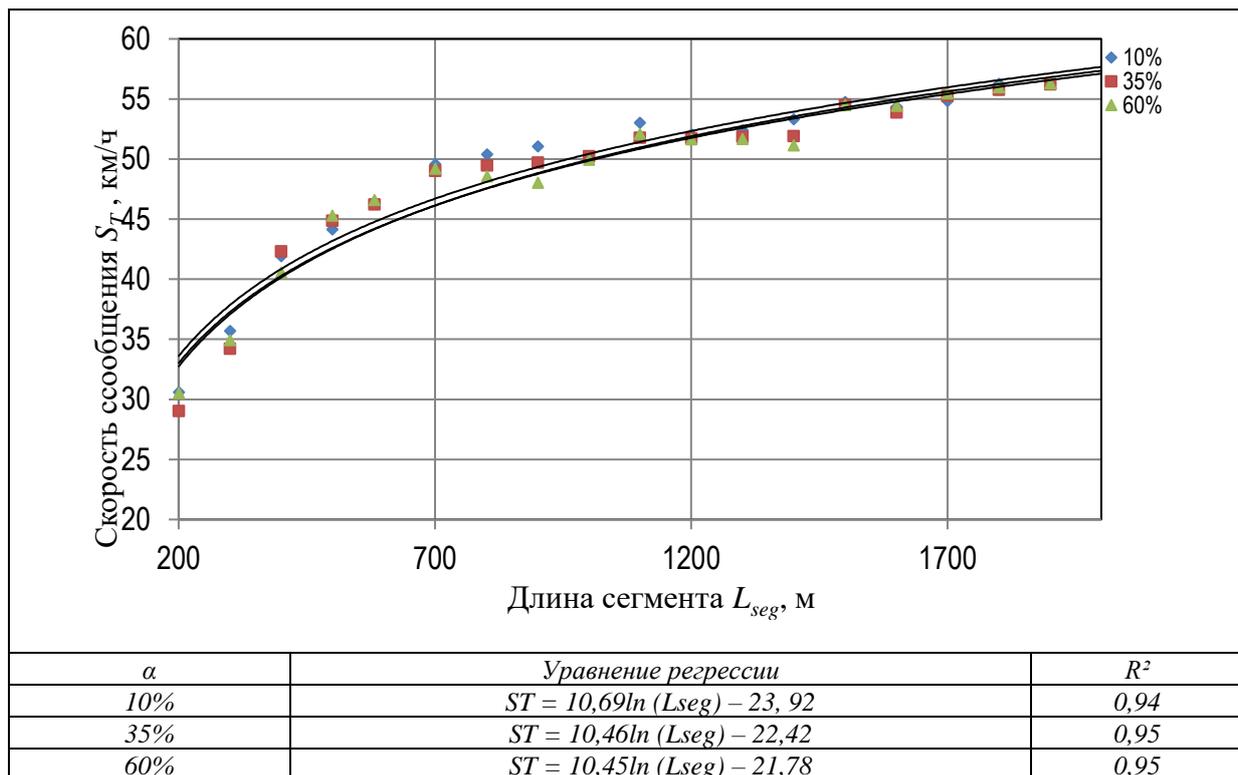


Рисунок 4. Результаты микромоделирования влияния протяженности 4-х полосного сегмента  $L_{seg}$  и процентов левоповоротного потока  $\alpha$ , а процентов правоповоротного потока 10% в случае фазы регулирования светофорного объекта, имеющего конфликт и без конфликта на скорость сообщения  $ST$  ТП.

Полученные результаты моделирования значений скорости сообщения  $V_T$  для 4-х полосных сегментов (рисунка 4) позволяют делать следующие выводы:

-при наличии конфликта на скорость сообщения  $V_T$  оказывает более значительное влияние доля левоповоротного движения (рис. 1). В результате при увеличении доли левоповоротного потока до 60% скорость сообщения  $V_T$  на перегоне сегмента снижается от 80 до 90%. Таким образом, подтверждается неравномерность предположения необходимости учета распределения ТП на замыкающем пересечении сегмента по направлениям движения при оценке уровня обслуживания регулируемых городских улиц и дорог (рис. 1).

-на сегментах без конфликта левоповоротного потока на скорость сообщения  $V_T$  значительное влияние оказывает протяженность сегмента. Таким образом, у сегментов длиной от 200 до 400 м скорость сообщения  $V_T$  на 30 до 45%, меньше, чем у сегментов протяженностью более 1500 м.

### Выводы

Завершенный этап исследования распределения ТП на четырёхполосных сегментах с регулируемым перекрестком подтвердил гипотезу о значительном влиянии неравномерности распределения ТП по направлениям движения на скорость сообщения  $S_T$ , включая с конфликтом (2-х и 3-х полосных сегментах) и без конфликта левоповоротного ТП четырёхполосных сегментов, что можно рассматривать как принципиально новый научный результат.

В дальнейших исследованиях авторы планируют рассмотреть влияние остановочных пунктов (с карманом и без кармана) различного вида маршрутного пассажирского транспорта, искусственных неровностей, пешеходных переходов, уличных парковок, а также влияние характеристик ОДД на скорость сообщения на сегментах с кольцевыми пересечениями и сегментах с нерегулируемыми пересечениями.

### Список литературы

1. Горбунов, Р.Н. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надежности / Р.Н. Горбунов, А.Ю. Михайлов, Ж.Т. Пиров // ВЕСТНИК ИрГТУ 2017. – № 8. – С. 188 – 194.
2. Пиров Ж.Т., Михайлов А.Ю. Оценка скорости движения в свободных условиях для определения уровня обслуживания транспортных потоков на сегментах городских улиц и дорог/ Пиров Ж.Т., Михайлов А. Ю // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. № 2 (57). С. 16-25.

3. Пиров, Ж.Т. Сегмент при оценке качества организации дорожного движения на УДС (на примере г. Душанбе) / Пиров Ж.Т. // Организация и безопасность дорожного движения Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Организация и безопасность дорожного движения». Отв. ред. Д.А. Захаров. Тюмень. Издательство: Тюменский индустриальный университет (г. Тюмень) 2019. – С. 289 –294.
4. Пиров Ж.Т. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на двухполосных регулируемых сегментах городских улиц / Ж.Т. Пиров, // XIV Международная научно-техническая конференция "Авиационное строительство и транспорт Сибири" Иркутск, 2020. – С. 184-192.
5. Пиров Ж.Т. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на трехполосных сегментах улично-дорожных сетей / Ж.Т. Пиров, Ш.А. Бозоров, Дж.Д. Мухторов// Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2023. № 1 (61). С. 127-131.
6. Bassani M Calibration to Local Conditions of Geometry-based Operating Speed Models for Urban Arterials and Collectors / M. Bassani, E Sacchi// *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, (2012) -Vol 53. pp. 822 – 833 (In Eng.).
7. Bloomberg L Comparison of Vissim and Corsim Traffic Simulation Models on a Congested Network / L. Bloomberg, J. Dale // *Transportation Research Record*. (2000) -Vol 1727. pp. 52-60. (In Eng.)
8. CHEN Tianzi. Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection / CHEN Tianzi, JIN Shaochenb, YANG Hongxu // *Social and Behavioral Sciences*. (2010) -Vol 96. pp. 2004 – 2010 (In Eng.)
9. Fellendorf M. Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. Available at: <https://trid.trb.org/view/689890> (accessed 10.12.2019) (In Eng.)
10. Gundolf J. Impact of Different Lengths of Urban Road Segments on Speed-Volume Relationship Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-43985-3\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-43985-3_15) (accessed 10.12.2019) (In Eng.)
11. Highway Capacity Manual 2000 // TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000. 1207 p. (In Eng.)
12. Highway Capacity Manual 2010 // TRB, National Research Council, Washington, DC, 2010. – 1475 p.
13. NCHRP Report 825 Planning and Preliminary Engineering Applications Guide to the Highway Capacity Manual // TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2016. 259 p. (In Eng.)
14. Tian Z. Variations in Capacity and Delay Estimates from Microscopic Traffic Simulation Models / Z. Tian, T. Urbanik, R. Engelbrecht, K. Balke // *Transportation Research Record*. (2000) -Vol 1802. pp. 23-31(In Eng.)
15. VISSIM 5.30-05 User Manual PTV // Planung Transport Verkehr AG, 2011. (In Eng.)

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

TJ	RU	EN
Пиров Чаҳонгир Тиллоевич н.и.т., ассистент	Пиров Жаҳонгир Тиллоевич к.т.н., ассистент	Pirov Jahongir Tiloevich candidate of technical sciences, assistant
ДТТ ба номи академик М.С. Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
Тел:(+992)930803802 Email: Vilia-7@mail.ru ORCID Id 0000-0003-0553-4338		
TJ	RU	EN
Давлатшоев Рашид Асанхонович н.и.т., дотсент	Давлатшоев Рашид Асанхонович к.т.н., доцент	Davlatshoev Rashid Asankhonovich candidate of technical sciences, associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осими	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
Тел:(+992)933332271 Email: d_rashid71@mail.ru ORCID Id 0000-0003-0553-4344		
TJ	RU	EN
Бобоев Раимҷон Мусобирович н.и.т., и.в., дотсет	Бобоев Раимджон Мусобирович к.т.н., и.о. доцента	Boboev Raimdzhon Musobirovich Ph.D., acting docent
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	Горно-металлургический институт Таджикистана	Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan
<a href="mailto:gmit_tajikistan@mail.ru">gmit_tajikistan@mail.ru</a>		



УДК: 629.113

**ЭЛЕКТРОЛИЗЁР АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА****А.Г. Уланов<sup>1</sup>, С.С. Сайдуллозода<sup>2</sup>, Х.Б. Хусейнов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Предлагается автономная электролизная установка генерации водородного топлива, которая может решить проблему эксплуатации транспортных средств на альтернативных видах топлива. Данное решение позволяет уменьшить расход топлива, повысить детонационную стойкость топлива, уменьшить отложения нагара на стенках камеры сгорания, клапанах, днище поршня, впускных и выпускных каналах головки блока цилиндров, снизить концентрацию вредных веществ в отработанных газах. Результаты исследований показали реальную возможность перевода двигателя внутреннего сгорания на водородную смесь, использования электролизёра в качестве автономного источника питания для водородных топливных элементов.

Таким образом, применение на практике данного конструкторского решения позволит существенно снизить количество выбросов в окружающую среду за счёт уменьшения использования нефтяных видов топлив.

Ключевые слова: автомобиль, альтернативные виды топлива, водород.

**ЭЛЕКТРОЛИЗЁРИ ХУДТАВЛИДКУНАНДАИ СӢЗИШВОРИИ ҲИДРОГЕНИ****А.Г. Уланов<sup>1</sup>, С.С. Сайдуллозода<sup>2</sup>, Х.Б. Хусейнов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Донишгоҳи давлатии Урали Ҷанубӣ<sup>2</sup>Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Таҷҳизоти электролизи худтавлидкунандаи сӢзишвории гидрогени пешниҳод карда шудааст, ки метавонад мушкилоти истифодабарии воситаҳои нақлиётро бо намудҳои алтернативии сӢзишворӣ ҳал намояд. Ҳалли мушкилоти мазкур имкон медиҳад, ки харочоти сӢзишворӣ коҳиш дода шуда, устувории детонатсионии он баланд гардад, таҳшиншавии боқимондаҳои сӯхташуда дар девораҳои камераи сӢзиш, клапанҳо, қисматҳои канорӣ поршенҳо, инчунин роҳҳои воридшавӣ ва хориҷшавӣ сарпуши блоки цилиндрҳо кам гардида, консентратсияи моддаҳои захрок дар газҳои ихроҷнамудаи воситаҳои нақлиёт коҳиш ёбад. Натиҷаҳои таҷқиқотӣ имконияти воқеии гузаронидани муҳаррики дарунсӯзро ба омехтаи водород ва истифодаи электролизёр ба сифати манбаи мустақили таъминот барои унсурҳои гидрогени сӢзишворӣ фароҳам меорад.

Ҳамин тариқ, истифодаи чунин ҳулосаи конструкторӣ дар истеҳсолот имкон медиҳад, ки теъдоди партофтҳои зараррасон аз ҳисоби камшавии истифодаи намудҳои нафтии сӢзишворӣ ба таври назаррас камтар гардад.

Калидвожаҳо: автомобил, намудҳои алтернативии сӢзишворӣ, водород

**ELECTROLYZER OF AUTONOMOUS GENERATION OF HYDROGEN FUEL****A.G. Ulanov<sup>1</sup>, S.S. Saidullozoda<sup>2</sup>, H.B. Huseinov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>South Ural State University<sup>2</sup>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

An autonomous electrolysis plant for generating hydrogen fuel is proposed, which can solve the problem of operating vehicles on alternative fuels. This solution allows to reduce fuel consumption, increase the knock resistance of fuel, reduce carbon deposits on the walls of the combustion chamber, valves, piston crown, inlet and outlet channels of the cylinder head, and reduce the concentration of harmful substances in exhaust gases. The results of the research showed the real possibility of transferring the internal combustion engine to a hydrogen mixture, using the electrolyzer as an autonomous power source for hydrogen fuel cells.

Thus, the practical application of this design solution will significantly reduce the amount of emissions into the environment by reducing the use of petroleum fuels.

Key words: car, alternative fuels, hydrogen.

**Введение**

Нефть – сегодня основной и наиболее востребованный энергоресурс, однако её запасы катастрофически снижаются и уже сегодня вполне очевидно, что наступает закат нефтяной эры. Тем не менее, следует признать, что в настоящее время двигатель внутреннего сгорания остаётся основной движущей силой современного автомобиля. В связи с этим, единственный путь решения энергетической проблемы на транспорте – это переход на альтернативные виды топлива [1]. Новое горючее должно удовлетворять нескольким требованиям: иметь необходимые сырьевые запасы, низкую стоимость, не ухудшать выходные характеристики двигателя, как можно меньше выделять вредных веществ, по возможности сочетаться со сложившейся инфраструктурой снабжения топливом и др.

В связи с этим большое количество научно-исследовательских центров моторостроительных организаций проводят исследования, направленные на экономию топлива и замену традиционных жидких углеводородных топлив новыми видами: природный газ, сжиженный нефтяной газ, газовый

конденсат, шахтный метан, синтетический бензин, уголь, спирты, электрическая энергия, солнечная энергия, биодизельное топливо, биогаз, отработанное масло, сжатый воздух, жидкий азот, водород и т.д.

Все перечисленные виды альтернативных моторных топлив имеют неоспоримое преимущество перед углеводородами – высокую экологичность. Интерес учёных в области двигателестроения к водороду, как к топливу для двигателей внутреннего сгорания, прослеживается во всей истории научно-технического прогресса в части создания и развития автономных силовых установок. Благодаря тому, что водородное топливо не содержит углерод, продукты его сгорания в воздухе теоретически не могут содержать парниковый газ CO<sub>2</sub>, оксид углерода CO, несгоревшие углеводороды CH и сажу. Однако на практике при сгорании водорода в двигателе внутреннего сгорания выбросы этих компонентов присутствуют, но в очень небольшом количестве, это в первую очередь связано со сгоранием масла в камере сгорания [2].

Именно водородной энергетике сегодня пророчат большие перспективы, её называют энергетикой будущего [3, 4]. Эксперты совета по водородным технологиям (Hydrogen Council) в своём докладе утверждают, что к 2050 году на водород придётся 18% всех энергетических потребностей мира. По другим прогнозам, к этому времени мировое потребление водорода вырастет до 370 млн. тонн в год (к 2100 году – до 800 млн. тонн). По данным Европейской комиссии ещё в 2010 году главными инвесторами в развитии водородной энергетике были США (500 млн. \$), Япония (около 300 млн. \$) и страны ЕС (около 230 млн. \$). Также к лидерам следует отнести Южную Корею (100 млн. \$) и Китай (60 млн. \$).

Активные работы в нашей стране были начаты в 60-х годах XX века в научных и производственных учреждениях СССР. Они возглавлялись НАМИ, Институтом проблем машиностроения Украинской Академии наук, Волгоградским политехническим институтом (ВПИ) и другими организациями. Практическая реализация результатов этих исследований позволила создать конструкции автомобилей, использующих добавку водорода к бензо-воздушным смесям. В 1979 году под научным руководством Шатрова Е.В. творческим коллективом работников НАМИ в составе Кузнецова В.М., Раменского А.Ю., Козлова Ю.А. был разработан и испытан опытный образец микроавтобуса РАФ, работающего на водороде и бензине. В теоретических исследованиях серьезный вклад был внесен коллективом научных сотрудников ВПИ и коллективом Тольяттинского политехнического института.

Электролиз воды отличается от других методов получения водорода простотой технологической схемы, доступностью воды в качестве сырья, простотой обслуживания установок, высокой надежностью в эксплуатации. Это позволяет успешно применять данный метод в комплексе с использованием возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой и др.). Основным недостатком электрохимического метода получения водорода является его большая энергоёмкость, поэтому для водородной энергетике перспективной и актуальной является разработка электрохимических технологий генерации водорода из воды с минимальными затратами электроэнергии.

Особенности рабочего процесса двигателей, работающих на водороде, определяются главным образом свойствами водородно-воздушной смеси, а именно: температурой и пределами воспламенения, скоростью распространения фронта пламени, расстоянием угасания пламени [5]. Все эти свойства водорода на порядок лучше, чем у углеводородных топлив. С точки зрения моторных свойств топлива наибольший интерес представляет нижний предел воспламенения, так как он позволяет оценить степень эффективного обеднения топливовоздушной смеси и определяет способ регулирования мощности двигателя. Для водорода он в несколько раз выше, чем для углеводородных топлив. Даже при низких температурах возможно качественное регулирование мощности двигателя, что позволяет получить высокую топливную экономичность по сравнению с бензиновым двигателем в широком диапазоне нагрузок и частот вращения.

При организации рабочего процесса с воспламенением от искры большой интерес представляет энергия воспламенения топливовоздушной смеси, значение которой зависит от её состава. Максимальное значение энергии соответствует границам воспламенения, а минимальное – стехиометрическому составу. При стехиометрическом составе энергия, необходимая для воспламенения водорода, примерно в 10 раз ниже той, которая необходима для углеводородных топлив, и составляет всего лишь 0,2 МДж, по сравнению с 0,25 МДж, соответственно. При переводе существующих двигателей на водородное топливо следует учесть существенные повышения механических и тепловых нагрузок на детали двигателя. Причина этого – высокая скорость сгорания водорода. Водород является одним из наиболее энергоёмких топ-лив (1 кг H<sub>2</sub> равен 4,1 кг условного топлива), его низшая теплотворная способность почти в 3 раза больше, чем у нефтяных моторных топлив и составляет 120 МДж/кг (10,8 МДж/м<sup>3</sup>).

Наряду с разработкой и исследованием рабочих процессов ДВС на водороде получило развитие другое направление – использование водорода в смеси с углеводородными топливами и, в первую очередь, с бензином [6]. Это направление интересно тем, что незначительная модификация серийного двигателя позволяет значительно повысить топливную экономичность, снизить количество вредных выбросов в отработавших газах и существенно снизить расход бензина.

### Перспективность направления развития

Электролизёр – это специальное устройство, которое предназначено для разделения компонентов соединения или раствора с помощью электрического тока. Устройство электролизёра (рис. 1) представляет собой ёмкость, наполненную специальным веществом – электролитом. Также в эту ёмкость помещено не менее двух электродов.

Работа электролизера осуществляется следующим образом: к источнику постоянного тока подключены электроды, которые опущены в ёмкость с водным раствором. Проходящий ток должен иметь напряжение, которое превышает точку разложения трёхатомных молекул воды. Через некоторое время на одном из электродов образуется кислород, а на другом – водород. Так как количество молекул водорода в воде ровно в 2,5 больше, чем количество молекул кислорода, то водорода выделяется в 2 раза больше. Главной характеристикой устройства является его производительность [7].



Рисунок 1 – Электролизная установка

Во время электролиза воды, на КПД установки влияют следующие параметры:

- а) уровень напряжения (минимального электродного потенциала), оно должно быть от 1,8 до 2 вольт, меньшее значение не запустит процесс, а большее приведет к значительному расходу энергии, идущий на нагрев воды;
- б) расстояние между пластинами (между катодным и анодным пространством), чем оно меньше, тем меньше будет сопротивление, и соответственно, больший ток пройдет через раствор электролита, что приведет к увеличению выработки газа;
- в) размеры пластин (электродов), прямо пропорциональны току, идущему через электролит, а значит, оказывают влияние на производительность;
- д) концентрация электролита и его тепловой баланс;
- ж) характеристики материала, используемого для изготовления электродов;
- к) применение катализаторов процесса и т.д.

### Результаты исследований

Для обеспечения оптимальной работы электролизёра автономной генерации водородного топлива на автомобиль был установлен генератор Стар-ВОЛЬТ 135А, который имеет улучшенные выходные характеристики: номинальное напряжение 14,6 В, выходной ток 140 А ( $\pm 5$ А). Для получения спектра значений напряжения и тока, в электрической схеме использовались инвертор и преобразователь напряжения.

Результаты, полученные в ходе исследования электролизёра на эффективность генерации водородной смеси, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

Напряжение, В	Количество пластин	Сила тока, А	Объём газа, м <sup>3</sup> /мин
14	10	20	0,5
	13	80	2
	18	140	3
	10	40	2
	13	80	4
	18	180	8
36	10	40	1
	13	90	2
	18	160	3

### Выводы

Выполненная работа имеет практическую ценность, так как исходя из общемировой практики замещения нефтяных топлив и сохранения окружающей среды, водородное топливо сегодня становится всё более востребованным, а полученные результаты вселяют надежду на возможность выбора оптимального варианта.

### Список литературы

- Канило П.М. Анализ эффективности использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / П.М. Канило, И.В. Парсаданов // Всеукраинский научно-технический журнал. НТУ «ХПИ», 2009. №1. – С. 8–14.
- Петров В.Ю. Конкурентоспособность водорода как моторного топлива на автомобильном транспорте / В.Ю. Петров // Научные труды: народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2008. №1. – С. 462–483.
- Полякова Т.В. Состояние и перспективы развития водородной энергетики / Т.В. Полякова // Вестник МГИМО-Университета. 2012. №2. – С. 156 – 164.
- Радченко Р.В. Водород в энергетике: учебное пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа // – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. – 229 с.
- Борсук В.В. Повышение эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей применением топливно-водородных смесей / В.В. Борсук, В.В. Салмин // Вестник ЧГПУ им И.Я. Яковлева. 2012. №2 (74). – С. 20–26.
- Алимов В.А. Краткий обзор опытно-конструкторских работ по использованию в двигателях внутреннего сгорания добавок водорода к топливовоздушным смесям и практическое использование их результатов / В.А. Алимов, Е.В. Федянов, Е.А. Захаров, Д.С. Гаврилов, Э.Г. Сафаров // Молодой ученый. 2017. №27. – С. 27–31.
- Хрипач Н.А. Разработка водородной энергоустановки новой генерации / Н.А. Хрипач, Л.Ю. Лежнев, Б.А. Папкин, Ф.А. Шустров, Д.А. Иванов, А.П. Татарников, В.И. Сонкин // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. №1 (13). – С. 96–101.

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

TJ	RU	EN
Уланов Александр Григорьевич	Уланов Александр Григорьевич	Ulanov Alexander Grigorievich
н.и.т., дотсенти кафедраи «Мошинҳои ҷарҳдор ва тасмаҷарх»	к.т.н., доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department " Wheeled and tracked vehicles"
Донишгоҳи давлатии Урали Ҷанубӣ	Южно-Уральский государственный университет	South Ural State University
<a href="mailto:ulanov@mail.ru">ulanov@mail.ru</a>		
ORCID: 0000-0002-9573-2137		
TJ	RU	EN
Сайдуллозода Сайвали Сайдулло	Сайдуллозода Сайвали Сайдулло	Saidullozoda Saivali Saidullo

н.и.т., и.в.дотсенти кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ»	к.т.н., и.о. доцент кафедраи «Эксплуатация автомобильного транспорта»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Operation of road transport"
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
<a href="mailto:saivali.saidullo@mail.ru">saivali.saidullo@mail.ru</a>		
<b>ORCID:</b> 0000-0002-9663-2453		
<b>TJ</b>	<b>RU</b>	<b>EN</b>
Ҳусейнов Ҳасан Бозорович	Хусейнов Хасан Бозорович	Huseinov Hasan Bozorovich
Муаллими калони кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ»	Старший преподаватель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»	Senior Lecturer of the Department "Operation of road transport"
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
<a href="mailto:hasan-84@bk.ru">hasan-84@bk.ru</a>		
<b>ORCID:</b> 0000-0001-5424-5589		

## СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК 728.1. (511.32)

### РАЗВИТИЕ ТРАДИЦИОННОЙ ЗАСТРОЙКИ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ГОРОДАХ ТАДЖИКИСТАНА

Мирзоева Ф.З., Олимова Н.О., Разоков А.А.

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

В настоящее время бурным ростом развивается городское жилищное строительство, в котором главной задачей архитекторов и специалистов остаются совершенствование методов домостроения, прочная конструкция и технология новых материалов, композиционно-планировочное решение с применением традиционных и современных приёмов.

Жилище еще с древних времён являлось творческой деятельностью человека, таким образом, в процессе его многовекового развития формировались городские и сельские поселения, организовывались застройки на равнинной и рельефной местности, горных и предгорных зонах, образуя композиционную структуру жилой среды населения, являющейся важной задачей историко-культурной науки. Малоэтажная жилая застройка на рельефе вносит разнообразие в композицию городской среды, играющее важную роль в формировании объемно-пространственного и архитектурно-художественного облика городов Таджикистана.

Ключевые слова: город, градостроительство, традиция, жилые дома, традиционное жилище, архитектура, культура.

### РУШДИ АНЪАНАВИИ БИНОҶОИ ИСТИҚОМАТӢ ДАР ШАҲРҶОИ ТОҶИКИСТОН

Мирзоева Ф.З., Олимова Н.О., Разоков А.А.

Дар айни ҳол сохтмони хонаҳои истиқоматии шаҳрӣ бо суръати тез рушд меёбад, ки дар он вазиҳои асосии меъморон ва мутахассисон аз усулҳои такмилифтаи сохтмони манзилӣ, конструксияи мустаҳкам ва технологияи материалҳои нав, ҳалли композиционии лоҳақашӣ бо усулҳои анъанавӣ ва ҳозиразамон иборат аст.

Ҳонаи истиқоматӣ аз замони қадим ҷаҳони инсон буда, бо ҳамин дар ҷараёни таракқиёти ҷамъияти инсон он маҳалҳои аҳолинишини шаҳр дехот ба вучуд омада, дар ҳамвориву рельеф, минтақаҳои кӯҳу доманакӯҳ сохтори композиционии биноҳои муҳити зисти аҳолиро ташкил мекунад, ки вазиҳои муҳими илми таъриху маданият мебошад. Биноҳои пастшӯнаи истиқоматӣ дар рельеф ба таркиби композиционии муҳити шаҳрӣ таъсири гуногунро дарҷ намуда, дар ташаккули симои ҷаҳони меъморӣ ва бадеии шаҳрҳои Тоҷикистон нақши муҳимро мебозад.

Калимаҳои калидӣ: шаҳр, шаҳрсозӣ, анъана, биноҳои истиқоматӣ, манзилҳои анъанавӣ, меъморӣ, фарҳанг.

### DEVELOPMENT OF TRADITIONAL OF RESIDENTIAL HOUSES IN THE CITIES OF TAJIKISTAN

F. Mirzoeva, N. Olimova, A. Razokov

At present, urban housing construction is developing rapidly, in which the main task of architects and specialists remains the improvement of housing construction methods, a solid construction and the technology of new materials, a compositional and planning solution using traditional and modern methods.

Housing since ancient times has been a creative activity of man, thus, in the process of its centuries-old development, urban and rural settlements were formed, buildings were organized on the flat and relief terrain of mountainous and foothill zones, forming a compositional structure of the residential environment of the population, which is an important task of historical and cultural science. Low-rise residential buildings on the terrain add variety to the composition of the urban environment, which plays an important role in shaping the spatial, architectural and artistic appearance of the cities of Tajikistan.

**Key words:** city, urban planning, tradition, houses, traditional dwelling, architecture, culture.

### Введение

Традиционный жилой дом, его эволюционное развитие и генезис, широко распространенный в прошлом, различаются у разных этнических групп населения народной культурой, климатическими и природными условиями, строительным искусством.

Исследование жилой архитектуры позволяет считать, что в современной городской структуре существует по сей день жилища традиционного типа, определяющие этапы социально-экономической, культурно-этнической жизни и духовности таджикского народа. Систематическое исследование традиционного жилища, как самостоятельного научного направления, оформилось лишь в конце XIX века. Таким образом, по сей день ученые и исследователи - историки, археологи, этнографы отдельно на основе изысканий, анализа своих источников изучают историко-культурные и социально-экономические вопросы традиционного жилища таджиков [1].

Изучение научных материалов традиционной жилой застройки таджиков дает ясную картину о более подробном описании народного жилища оседлого населения Центральной Азии, относящееся к середине XIX века. Можно отметить, что традиционные жилые дома равнинных и предгорных местностей (РРП и Южные регионы) были сходны по типам от воздействия одинаковых климатических условий, но в основном типы жилищ различались архитектурной планировкой и конструкцией.

### Объект исследования

В среднеазиатских городах конструкции жилищ играли главную роль в сейсмостойкости, о чём свидетельствует традиция толщины стен и кровли с применением природного строительного материала из сырца, пахсы с деревянным каркасом и земляным настилом в компоненте дают теплоизоляцию. Такие методы теплоизоляции использовали жители северного региона Таджикистана в горных суровых условиях, к примеру на территории раннесредневекового поселения Хоняйлов V-VIII вв. ущелья Актанги близ поселения Шахристан Ура-Тюбинского района, были раскопаны около 100 помещений различного назначения: хозяйственные помещения, загоны для скота, погребальные помещения, молитвенные помещения, жилые помещения с очагами сложной и простой планировки [2] (табл.1, рис.4).

Дома имели каменные стены 20-40 см., регулярная каменная кладка из рваных камней имела ширину 60 см, иногда была сложена в стиле «рыбьей кости», такая же техника была известна и аналогична в помещениях Чильдухтароне и в Мазори Ходжаи Туг [3]. Конструкция крыши была перекрыта из брусьев дерева, прутьев и настила, смазанная глиняным раствором. Площадь, занятая поселением Хоняйлов (в переводе «ханское пастбище») простиралась 1,3 га, вытянутая с севера на юг, параллельно руслу речки Актанги (в переводе «белая теснина») [4] (табл.1, рис.4). Другим примером является городище Каршаул-тепа, расположенное на подъезде к небольшому городку Чиназ, у правого берега Сырдарьи на площади в 6 га. В этом городке жилые помещения также имели отопительные очаги, найдены следы нескольких религий, что говорит о существовавшей здесь толерантности, закончившейся в конце VIII века (табл.1, рис.3).

*Таблица 1 – Жилища-памятники культуры древнейшего среднеазиатского оседлого населения и кочевых племён*



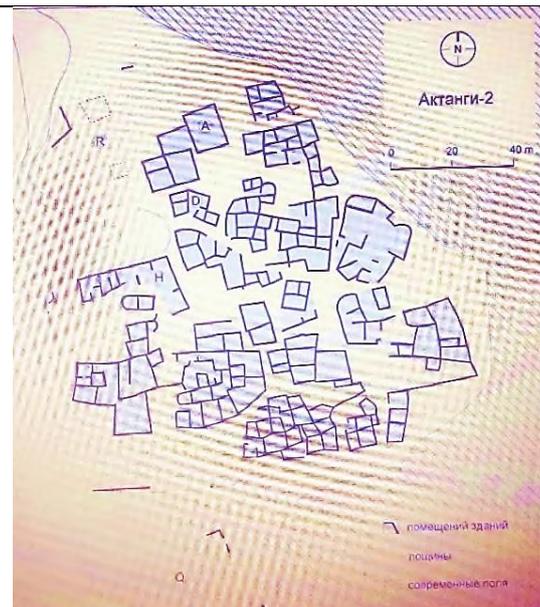
*Рис.1. Помещения древнего протогорода Саразм.*



*Рис.2. Помещения древнего протогорода Саразм.*



*Рис.3. Отопительные очаги помещения в городище Каршаул-тепа.*



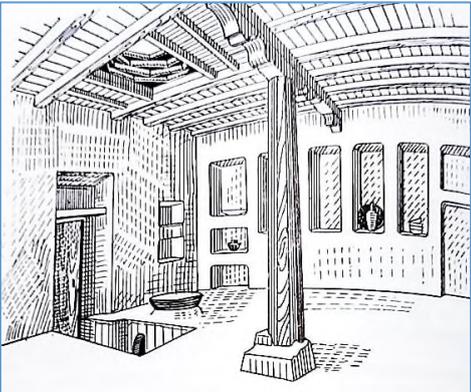
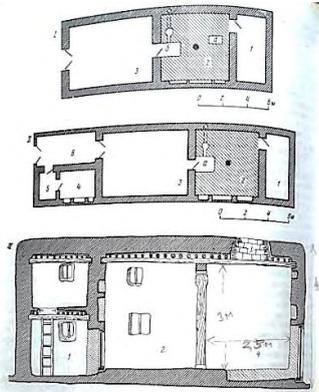
*Рис.4. План поселения Актанги 2 Шахристанского района.*

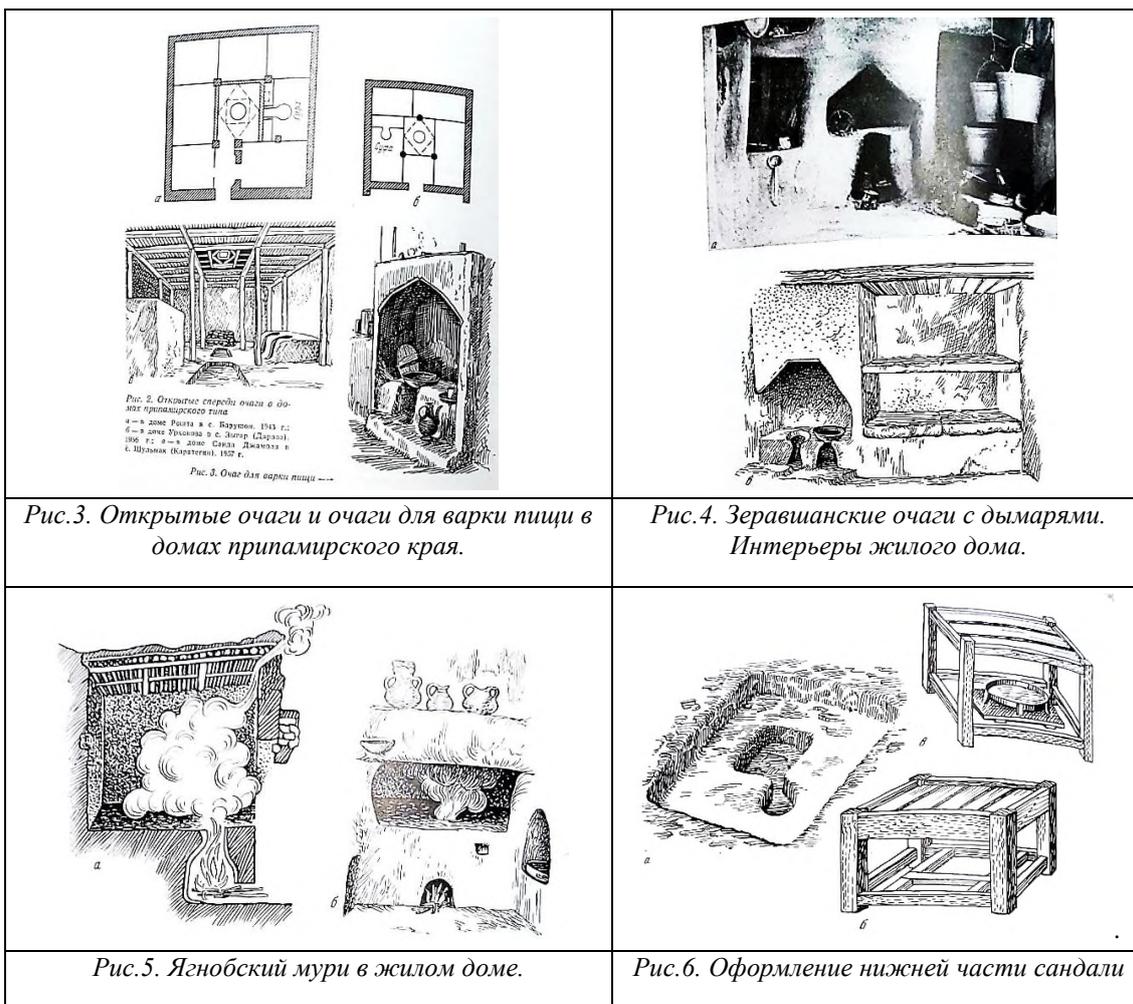
Таким образом, для полного анализа традиционных способов энергосбережения, конструкций, архитектурного образа и других черт местного жилища необходимо учесть местные особенности климата городского пространства [5, с.48].

Архитектура Таджикистана уходит далеко в эпоху Саразма. Именно это поселение протогород положило начало культуры, стиля архитектуры Таджикистана (табл.1, рис. 1,2). Развитие градостроительных и планировочных решений строительного искусства, открытия монументальной архитектуры в Саразме позволяют считать его городом неолитического периода каменного века. Этому свидетельствуют оплывшие, невысокие стены из сырцового кирпича, остаточные следы бывшего величия древнего города на левом берегу реки Зарафшан. Зодчество жилищ горного селения зависит не только от климатических условий, местности, рельефа, но и от уклада жизни людей в суровых горных условиях. Среди горных поселений средневекового горное селение Хоняйлов (IX-XI вв.) в переводе «Ханское пастбище», расположенное в юго-восточном направлении от посёлка Шахристан на северном склоне Туркестанского хребта на плато Тегана принадлежит к типу неукрепленного селения сплошной застройки рядовыми помещениями. Жилые ячейки пристроенные друг к другу отличаются своей формой и каменной кладкой, образом застройки, в которых сохранились тандыр, очаги, ямы и суфы. В целях сохранения тепла в помещениях внешние каменные стены имели толщину от 40 см до 1 м., с внутренней стороны отделялись глиносаманной штукатуркой, оконные проёмы отсутствовали, свет попадал через верхнее отверстие в потолке, двери по аналогии были узкими 90 см.х1 м, чтобы сохранить тепло в доме из-за сурового холодного климата [4, с.44].

Традиции народов Таджикистана веками складывались из образа жизни. Также на территории Таджикистана сохранились памятники культуры древнейшего среднеазиатского оседлого восточного, иранского населения и кочевых племён. В зодчестве Центральной Азии характерна архитектура жилищ с применением национальных исторических традиций в строительстве, с выявлением декоративно-пластических искусств и строительных особенностей народных местных зодчих и мастеров-отделочников (табл.2, рис. 1,2).

Таблица 2 – Традиционные жилые дома Средней Азии и способы обогрева

	
<p>Рис.1. Интерьер традиционного жилого дома в с. Карнак Туркестанского района, сер. XIX в.</p>	<p>Рис. 2. Планировка традиционных жилищ в Средней Азии, XIX в.</p>



Народный жилой дом отгораживался от городской среды глухой стеной, и только декорированная дверь, айван с резными колоннами, массивные резные ворота и лоджия на втором этаже оживляли внешний облик городской среды. Внутреннее убранство декора жилых и хозяйственных помещений, в основном «мехмонхоны» - гостиной, отличалось более богатым разнообразием отделки. К примеру, жилой дом северного региона отличался главным проявлением местного зодчества, которым являлся айван, покоящийся на изящных деревянных колоннах - покрытых резным узором растительного и геометрического орнамента [6, с.37].

### Методы

Сегодня в строительной практике традиционных жилых домов таджиков архитекторы и специалисты используют современные технологические особенности метода, конструкций и материалов (железобетон, пластика, стекло, полимеры и по-новому используемые традиционные материалы такие, как – дерево, камень, кирпич), позволяющие создавать жилые здания в сложных, пластических очертаниях [6, с.65].

Сельские поселения таджиков расположены на склонах характерными компактными кишлаками с тесной застройкой с лабиринтом кривых улиц и тупиков, глухими стенами домов и заборов.

Традиционные жилые дома по характеристике делятся на два типа:

- **равнинный** тип отличается более сложной архитектурой;
- **горный** более простой тип по конструкции (таблица 4, рис. 4,5).

В основном **равнинный** тип жилища распространяется к северу от Гиссарского хребта - в бассейне Зеравшан и в Ферганскую долину. Эти типы домов традиционно строились на стилобате (цоколе), имели деревянный каркас, заложенный сырцовым кирпичом. В стенах отсутствовали окна, поэтому под потолком устраивали узкие световые проемы. Стены домов клали из битой глины или из сырцового кирпича.

Кровля, как одна из главных элементов конструкции жилищ служила защитой от погодных условий, вредных веществ и в основном была плоской, земляной и обмазывалась глиной.

В **горных** районах древнего Таджикистана (Каратегин, Дарваз и верховье Зеравшана) строились два основных типа традиционных жилищ, которые можно было отличить устройством отопительного очага. Традиционные методы формы вырытого очага в земле с дымоходами в виде отопления, обогревавшего пол жилой комнаты, известны еще с давних времён в Центральной Азии северных регионов (Фергана, Туркестан), также подобный метод отопления очагом архаической формы без поддувала сохранился на южных территориях (Кулябской области), которые являются усовершенствованными методами энергоэффективности жилых зданий.

Таблица 3 – *Художественный образ отопительной системы в традиционных жилых домах*

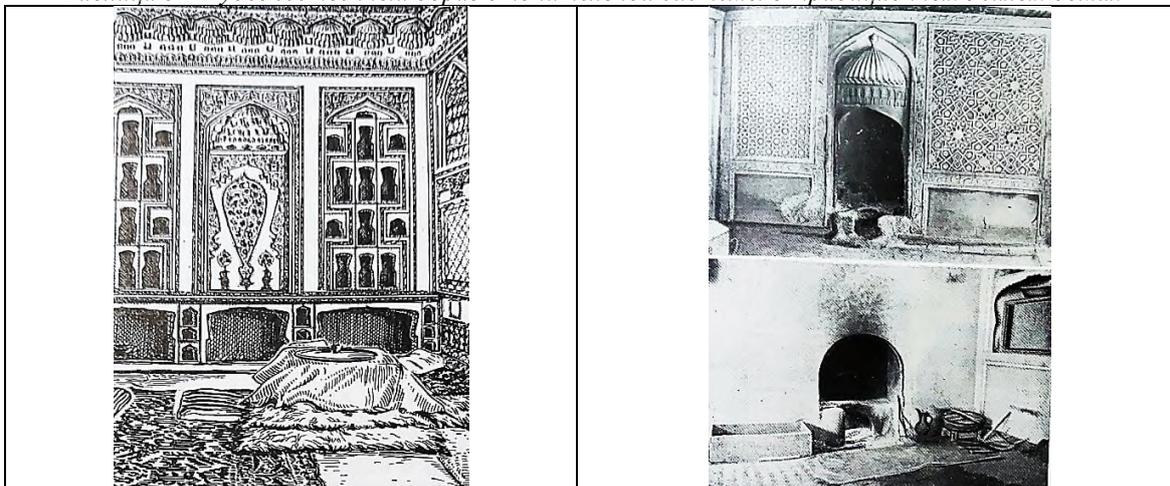


Рисунок 1. Сандали и очаг (оистон) в традиционном жилом доме, XIX в.



Рисунок 2. Традиционный жилой дом севера

Рисунок 3. Памирский традиционный жилой дом

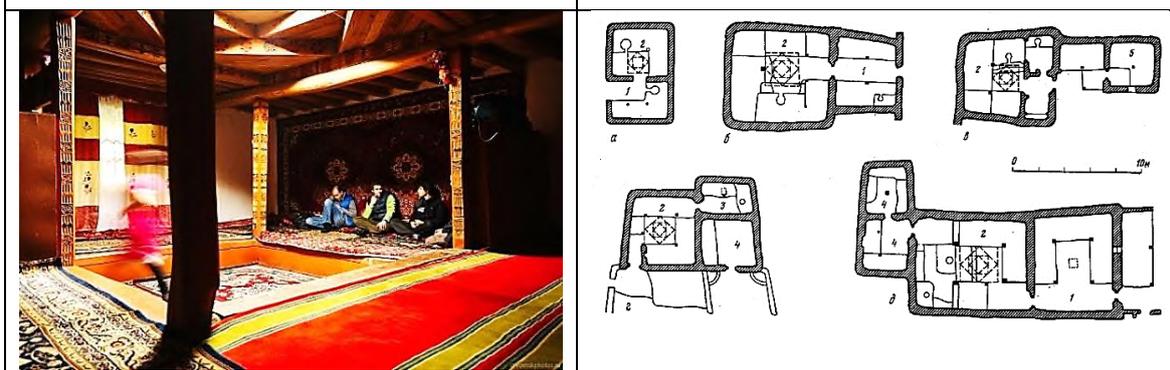


Рисунок 4. Памирский жилой дом с светодымовым отверстием «равзан»

Рисунок 5. Планировочное решение жилищ Западного Памира и Припамирья; а-Дарваз, б-Ванч, в-долина Бартанга, г- Шунган, д –Ванхан; 1-долон (дарго), 2-жилое помещение, 3-кухня, 4-кладовые, 5-жилая комната.

Другим методом обогрева помещения жилищ является – сандали, который вплоть до XX в. стал традиционным средством обогрева, и в настоящее время такой метод используется в помещениях равнинных и горных районов Таджикистана (таблица 2, рисунок 6). В бытовом хозяйстве населения народов Центральной Азии универсальные очаги имели важное место, как известно, в новое время очаги разделились по функциональности: это очаг для приготовления хлеба (танур), очаг для обогрева (сандали) и очаг для приготовления горячей пищи (оштон) (таблица 2, рисунок 3; таблица 2, рисунки 3-6; таблица 3, рисунок 1).

Таблица 4 – Рассматривая зоны горных склонов южных районов Таджикистана, можно отметить, что жилые дома были приспособлены для суровых природных условий, имели массовый вид, были рассчитаны на многолюдные большие семьи. Таким образом, для постройки таких домов использовали природный дикий камень и в некоторых случаях сырцовый кирпич (таблица 4, рис. 1-3).

Применение природного стройматериала в традиционных жилых домах



Рисунок 1. Традиционные таджикские дома из местного материала-дикого камня



Рисунок 2. Формирование и высушивание сырцового кирпича



Рисунок 3. Горные жилища. Просушка топлива.



Рисунок 4. Жилые дома в предгорьях Зеравшана. Пример традиционных домов Таджикистана в горных районах.



Рисунок 5. Традиционный жилой дом равнинной области Таджикистана

В высокогорных районах Таджикистана, в том числе горно-бадахшанской зоне традиционным жилым домом является «чид», по религиозным святыням, означающий символ чистоты, состоящий из трехуровневого настила. Элементом завершения памирского дома считается «чорхона», имеющая по середине дома ступенчатый четырехъярусный купол «равзан», который устанавливается на балках, поддерживающихся тремя-пятью опорными столбами, расположенными внутри дома (таблица 2, рисунки 1-3; таблица 3, рисунок 4). (таблица 3, рисунки 3, 5). Деревянная конструкция кровли в жилищах памирцев имеет особую систему ступенчатого деревянного свода со светодымовым отверстием в центре помещения. В конструктивной системе кровли четвертый ярус символизирует солнце, так как открытое отверстие служит для проникновения света, а также для выхода дыма. Для сохранения тепла в доме отверстие закрывают на ночь. Жилые дома памирцев в плане были однокамерными, вдоль двух продольных и торцевых стен напротив входа устраивались нары, обмазанные глиной, и имелся узкий проход между ними. По настоящее время современные жилые дома таджиков Памира сохраняют традиционные методы с использованием конструктивных систем сводов, кровли и опорных столбов, расположенных в интерьере жилищ горного региона (таблица 3, рисунки 3, 4).

Для обогрева помещений в жилищах южного Таджикистана планировалась особая комната для гостей, где пол в основном застилался паласами, коврами и кошмами, а стены украшались сюзане – национальной ручной вышивкой, гобеленами (таблица 4, рисунок 5).

Сегодня жилища отдаленных горных и предгорных селений с традиционной конструктивной системой без окон обычно используются как хозяйственные помещения [1, с.2]. Население горных областей в основном стремились использовать природный материал как камень, а иногда возделывали глинобитные стены из «пахсы» для строения домов (таблица 4, рисунок 3). Стены из глины покрывались стропильными двускатными крышами, которые выполнялись из камыша. В основном фундамент основания дома собирался из камня, а стены были построены из сырцового кирпича (таблица 4, рисунок 2). Жилые дома, расположенные на склонах гор в основном состояли из одной-двух комнат с айваном. Айван служил, как летнее открытое помещение -терраса с плоской крышей, опирающейся на колоннах, или сводчатого зала, который открыт со стороны внутреннего двора. Конструктивные детали – колонны айванов, балки украшались декором в виде завитков, напоминающих ионийский ордер, представляющий собой древнюю местную традиционную архитектуру.

В равнинных регионах Центральной Азии в строительстве жилых зданий использовали строительные природные материалы – глину, лесс, гипс и отходы сельскохозяйственного производства. Наиболее распространенными жилищами на равнинах Центральной Азии были дома из кирпичных стен, стены из деревянного каркаса, заполненные кладкой из гувалья или сырца. Такую конструкцию возведения жилища используют и в наше время во многих жилых домах городов и сел (таблица 4, рисунок 2).

Рассматривая жилые дома равнинных долин, можно отметить, что в стенах помещений устраивались ниши (токча), которые часто выполняли функцию современных шкафов (таблица 3, рисунок 1).

В современных условиях жилые застройки Таджикистана более модернизированы, так как для отопительной системы пол и нары настилали деревянными досками, красили их, встраивали большие окна, наружные стены белили или облицовывали, а вместо очага использовали разные виды обогревателей и печей, являющихся одним из видов традиционных методов энергоэффективности.

### Результаты исследования

Следует отметить, что раньше города и поселения имели аналогичную планировку, в центральной части которых возвышалась цитадель, окруженная огромными глинобитными стенами. Вокруг древней части поселения располагалась его историческая часть с узкими улицами и проходами, на которые выходили глухие стены усадеб, а между ними находились сады, пашни и огороды.

Наряду с историческими жилищами современные жилые дома представляют корпусные блочные или каменные постройки, используется традиционный метод, в котором устраивается типовая мебель, композиция архитектурно-планировочной системы, а в традиционных жилых домах в украшении стен интерьера помещений используют орнаментальное «сюзане» и «попури» (вышивка ручной работы) [1, с.3].

Изобразительное искусство в истории Центральной Азии привнесла в архитектуру и строительное дело мастерство отделочных материалов, используемых для декора конструктивных деталей. Анализ показал, что первыми образцами резного ганча в раннем средневековье являются детали, встречающихся во дворцах Топрак-Кала в Хорезме и Варахши близ Бухары [7, с.464].

Центральная Азия, считающаяся регионом высокой сейсмичности в строительстве застройки жилых домов, в основном использует конструктивную систему каркасной схемы. В формировании структуры жилой среды и организации застройки жилищ немаловажную роль играют рельеф местности, климатические условия, социально-экономические положения, интересы населения. Архитектурно-планировочная структура жилищ разделялась по функциональному назначению: жилой комплекс, хозяйственный комплекс и передняя часть участка дома. Хозяйственные помещения по своему понятию разделялись на два вида построек – наземный и подземный. Еще со времён средневековья хозяйственные части занимали важное место в жилом комплексе, имели мансарду на втором этаже «болохона», а на сегодня они образуют специальные места для хранения зерна, топлива и хранения продуктов. Ранее часть жилого помещения отводили для содержания скота, но позже в средневековье сооружались отдельные хозяйственные постройки по типу – открытые, закрытые, подземные дальше от жилого помещения.

Таким образом, эволюционное развитие строительства и архитектуры изменялось со временем, зодчему потребовались решительные изменения творческой направленности архитектурных новшеств с развитием интересных методов строительства [6, с. 81-101].

Следует отметить, что в процессе развития строительного дела, строительной технологии и строительных материалов архитекторы-специалисты создали гибкие объёмно-планировочные решения зданий с энергоэффективными ограждающими конструкциями и с применением местных строительных материалов, новых архитектурно-композиционных приемов в застройке населенных мест Таджикистана.

### Выводы и заключения

Традиционная жилая застройка таджикского населения и их предков считалась всегда священной. Названия «манзил», «даргох» определяли жилище местом радости и благополучия, двери которого были всегда открыты для посетителей, название «боргох» означало место, в которое ступает нога духа предков и связывает жилище с благородным культом предков. По аналогичным сведениям, из «Авесты» нам становится известно, что в середине I тыс. до н.э. древнеиранские племена очень хорошо знали строительное дело, дома имели культовое и духовное назначение.[9]

На основе исследования научного материала, можно сделать вывод, что история жилищной культуры таджикского народа рассматривается в качестве воплощения достижений культурной и духовной жизни, социально-экономического преобразования жизни и деятельности наших предков.

Следуя по вышеизложенному материалу, выявлено, что строительство жилых домов регионов Таджикистана разнообразно, их архитектурный образ выявляется от местности ландшафтно-географических условий, композиции, локальных историко-культурных особенностей, традиций и образа жизни, определяющих характерную черту народного зодчества и искусства, в котором за многие годы сложились свои традиции и приемы.

### Литература

1. Архитектура Таджикистана. <https://www.tajembassy.ru/ru/ob-yavleniya/37-arkhitektura-tadzhikistana>;
2. Мамаджанова Мусабия. Раскопки на поселении Хоняйлов //Археологические работы в Таджикистане, вып. XXV. – Душанбе, 1994;
3. Литвинский Б.А., Ранов В.А. Раскопки навеса Ак-Танги в 1961 г.// Археологические работы в Таджикистане, вып. IX. – Душанбе, 1964;
4. Мирзоева. Ф.З. Создать музей памятников Шахристана. // Мероси ниёгон – Наследие предков. – Душанбе, «Шарки озод», 1998. -С.42, 44, 45;

5. Воронина В.Л. Жилище народов Средней Азии и климат. Жилище народов Средней Азии и Казахстана. -М.: «Наука», 1982. -С. 48-68;
6. Мирзоева Ф.З. Декор в архитектуре Таджикистана. -Душанбе: «Ирфон», 2007. -С. 37, 65, 81, 101.
7. Байрамова Д.М. «Художественно-эстетическая выразительность внутреннего пространства в архитектуре Средней Азии» Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №1 (40), 2016. -С. 92, 464;
8. Воронина В.Л. Жилище народов Средней Азии и климат. Жилище народов Средней Азии и Казахстана. -М.: «Наука», 1982. -С. 48-68.
9. Джурабаев Д.Х. «Из истории жилищной культуры таджиков» Научная диссертация, 2002;
10. Традиционный таджикский дом. <https://www.advantour.com/rus/tajikistan/traditions/home-interiors>.
11. Традиционные дома стран Центральной Азии в горных и равнинных регионах. [http://www.remontpozitif.ru/publ/stroitelstvo/stroitelstvo\\_doma/tradicionnye\\_doma\\_stran\\_centralnoj\\_azii\\_v\\_gornyx\\_i\\_ravninnykh\\_regionakh73-1-0-1496](http://www.remontpozitif.ru/publ/stroitelstvo/stroitelstvo_doma/tradicionnye_doma_stran_centralnoj_azii_v_gornyx_i_ravninnykh_regionakh73-1-0-1496);
12. Шерматов М. Характерные особенности и традиции формирования поселений и жилищ Таджикистана. Вестник ТТУ имени акад. М.С.Осими 1(29). -Душанбе, 2015.

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

TJ	RU	EN
Мирзоева Фируза Зокировна	Мирзоева Фируза Зокировна	Mirzoeva Firuza Zokirovna
номзади меъморӣ, дотсенти кафедраи «Меъморӣ ва шаҳрсозӣ», профессори Академияи байналмиллалии меъморӣ дар Москва Евразия	кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», профессор МААМ Евразия.	PhD in Architecture, Associate Professor of the Department «Architecture and urban planning», IAAM Professor Eurasia.
ДТТ ба номи акадмик М.С.Осимӣ.	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.C.Osimi
firuza.1@mail.ru		
TJ	RU	EN
Олимова Нодирабегим Омоновна	Олимова Нодирабегим Омоновна	Olimova Nodirabegim Omonovna
докторанти курси 2-юми кафедраи “Сохтмон”-и ИПДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ дар ш.Хучанд	докторант 2-ого курса кафедры «Строительство» ПИТТУ имени академика М.С. Осими в городе Худжанд	2nd year doctoral student of the department "Construction" PITTU named after academician M.S. Osimi in the city of Khujand.
begim-o@mail.ru		
TJ	RU	EN
Разоков Абдуманон Абдусаломович	Разоков Абдуманон Абдусаломович	Razokov Abdumanon Abdusalomovich
Муаллими калон	старший преподаватель	Senior Lecturer
ДТТ ба номи акадмик М.С.Осимӣ.	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.C.Osimi
razok@mail.ru		

УДК 72.036 (575.3)

## **МАВҶЕИ МАНЗИЛҶОИ ИНФИРОДӢ ДАР ТАШАККУЛИ МУҶИТИ ЗИСТИ ШАҲРАКҶОИ ШИМОЛИ ТОҶИКИСТОН**

**<sup>1</sup>Муқимов Р.С., <sup>2</sup>Зокиров Р.Ш.**

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

<sup>2</sup>Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ (ш. Хучанд).

Мақола масъалаҳои меъморӣ ва типологии ташаккули манзилҳои инфиродии шаҳракҳо дар шароити шимолӣ Тоҷикистонро баррасӣ мекунад. Яке аз ҳадафҳои «Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030» тақвият бахшидан ба рушди шаҳрҳои миёна ва хурди Тоҷикистон дар мисоли биноҳои инфиродии истиқоматӣ буда, дар мақола мавриди таҳқиқ қарор гирифтааст. Дар баробари ин ба ҷиҳатҳои типологӣ ва иҷтимоӣ шаҳрсозии манзил, дифференсиатсияи намудҳои тарзи ҳаёти оилавӣ таваҷҷӯҳи махсус дода мешавад. Мавриди истифода қарор гирифтани биноҳои инфиродии истиқоматии камшӯна барои шароити иқлими гарму хушкӣ мо ҷанбаҳои муҳими иҷтимоӣ, иқтисодӣ ва минтақавии ҳоси шаҳракҳои шимолӣ Тоҷикистон, дар мисоли Шайдон, Навкат, Гонҷӣ ва шаҳрҳои миёнаи Исфара, Конибадам мебошад.

Омузиши масъалаи нишон дод, ки талаботи имрӯзаи сокинони биноҳои истиқоматии шаҳракҳои таърихии Шимолӣ Тоҷикистон ҷавобгӯ набуда, бозбинии куллиро тақозо менамояд. Инчунин муҳтавои мақола таснифоти намудҳои манзилҳои инфиродии истиқоматии камшӯна дар муҳити шаҳрҳои хурд ва миёна дар намудҳои манзилҳои бошукӯҳ, муқаррарӣ ва манзилҳои иҷтимоӣ фаро гирифтааст.

Калидвожаҳо: стратегияи рушд, манзили камшӯна, шаҳрак, шимолӣ Тоҷикистон, инфиродӣ.

## **РОЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛИЩ В ФОРМИРОВАНИИ ЖИЛОЙ СРЕДЫ ГОРОДКОВ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА**

**Муқимов Р.С., Зокиров Р.Ш.**

В статье рассматриваются архитектурно-типологические вопросы формирования жилой среды городков в условиях Северного Таджикистана. Одной из целей «Стратегии развития строительной отрасли Республики Таджикистан на период до 2030 года» является усиление развития средних и малых городов Таджикистана на примере индивидуальной жилой застройки, что является предметом исследования в статье. При этом особое внимание уделяется типологическим и социально-градостроительным аспектам жилищ, дифференциации типов семейного образа жизни. Использование индивидуальной малоэтажной жилой застройки для условий нашего жаркого и сухого климата учитывает важные социальные, экономические и региональные аспекты городков северного Таджикистана, как Шайдон, Навкат, Гончи и средних городов Исфара, Канибадам.

Изучение проблемы показало, что текущие потребности жителей жилых домов малых исторических городов Северного Таджикистана не удовлетворяются и требуют полного пересмотра. Также содержание статьи охватывает типологическую классификацию типов индивидуальных малоэтажных жилых домов в среде малых и средних городов на типы элитного, среднего и социального жилья.

Ключевые слова: стратегия развития, малоэтажное жилье, поселок, Северный Таджикистан, индивидуальное.

## **THE ROLE OF INDIVIDUAL HOUSINGS IN THE FORMATION OF THE RESIDENTIAL ENVIRONMENT OF TOWNS OF NORTHERN TAJIKISTAN**

**Mukimov R.S., Zokirov R. Sh.**

The article deals with the architectural and typological issues of the formation of small towns in the conditions of northern Tajikistan. One of the goals of the "Strategy for the development of the construction industry of the Republic of Tajikistan for the period until 2030" is to strengthen the development of medium and small towns in Tajikistan on the example of individual residential development, which is the subject of research in the article. At the same time, special attention is paid to the typological and socio-urban planning aspects of housing, differentiation of types of family lifestyle. The use of individual low-rise residential buildings for the conditions of our hot and dry climate takes into account important social, economic and regional aspects of the towns of northern Tajikistan, such as Shaidon, Navkat, Gonchi and the medium-sized cities of Isfara, Kanibadam.

The study of the problem showed that the current needs of residents of residential buildings in small historical towns of the North of Tajikistan are not satisfied and require a complete revision. The content of the article also covers the typological classification of types of individual low-rise residential buildings in the environment of small and medium-sized cities into types of elite, medium and social housing.

Keywords: development strategy, low-rise housing, village, northern Tajikistan, individual.

### **Муқаддима**

Бо мақсади дастрасӣ ба муҳити мусоид барои зиндагӣ, рушди инфрасохтори иҷтимоии маҳал, талаботи муҳандисӣ, нақлиётӣ ва истехсолӣ, ҳифз ва истифодаи оқилонаи мероси таърихӣ фарҳангӣ, ҳифзи муҳити зист ба қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 27 апрели соли 2022 таҳти № 203 санади муҳим- «Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030» мавриди амал қарор дода шуд.

Сиёсати давлатӣ дар соҳаи сохтмон ва меъморӣ чиҳати баланд бардоштани иқтисодии соҳа бо роҳи самаранок истифода бурдани захираҳои меҳнатию моддӣ, инноватсия ва сармоягузориҳо бо мақсади таъмини амалиявии бомуваффақонаии барномаҳои рушди иҷтимоию иқтисодии кишвар равона мегардад.

Тибқи арзёбии ин санад 41,1 фоиз ҷамъи сармоягузориҳо дар сармояи асосӣ ба сохтмони биноҳои истиқоматӣ рост меояд[1]. Раванди воқеии инкишофи фонди манзилӣ нишон медиҳад, ки масоҳати умумии ҳуҷраҳои истиқоматӣ ба ҳисоби миёна ба як шаҳрванди кишвар дар охири соли 2020 ба 11,1 м<sup>2</sup> баробар гардид, ки нисбат ба нишондоди соли 2010 -27,6 % зиёд мебошад[2].

Дар сохтмони манзил аз соли 2000 то соли 2020 ҳаҷми солонаи ба истифода супоридани манзил аз 245 ҳазор метри мураббаъ то ба 1463,4 ҳазор м<sup>2</sup> расид[3].

Талабот ба сохтмони манзил аз даромаднокии аҳоли, дастрасии қарзҳои ипотекаӣ ва арзиши манзил вобаста мебошад. Ба сохтмони манзил инчунин амалиявии барномаҳои давлатӣ оид ба кучонидан аз манзилҳои садамавӣ, ҳавасмандгардонии сохтмони манзил дар минтақаҳо, ҷудо намудани қитъаҳои замин ба оилаҳои камбизоат ва ғайра таъсири бевосита мерасонад.

### Маводҳо ва методҳо

Дар шароити кунунии муносибатҳои бозорӣ дар соҳаи сохтмони манзил, тағйир додани сиёсат дар сохтори маблағгузорӣ ва қатъиян тағйир ёфтани шумора ва намудҳои фармоишгарони манзил (муассисаҳои сохтмонӣ, идораҳо, коллективҳои корхонаҳо, ҷамъиятҳо, кооперативҳо, шахсонӣ алоҳида) дар шимолӣ кишвари мо шиддати масъалаи манзил ба назар мерасад. Ба ин муносибат дар шаҳракҳои хурд ва миёна сохтмони манзилҳои истиқоматии инфиродии камшоёна аҳамияти калон дорад, ки он имкон медиҳад самти кулии тамоми стратегияи сохтмони манзил тағйир дода, беҳтар намудани шароити зиндагонии аҳоли бо ҷалб намудан дар баробари маблағҳои сектори хусусӣ, аҳоли ва имкониятҳои физикии он дар сохтмони манзили шахсӣ мавриди татбиқ қарор дода шавад. Ин махсусан дар солҳои 2007-2009-ум равшан зоҳир гардид, ки дар сохтмони нави шаҳракҳо дар шимолӣ кишвар ҳиссаи калонро (37%) ташкил дода ҳаҷм ва суръати он дар муқоиса аз ҳама калонтар буд. Аммо дар баробари вусъати сохтмони манзили сершоёнаи сектори хусусӣ вазни қиёсии сохтмони инфиродии камшоёна дар шаҳракҳои кишвар пай дар пай кам шудан гирифт ва дар солҳои 2011-ум ҳамагӣ 15 %-ро ташкил дод ва дар бисёр шаҳракҳо ин тамоман манъ карда шуд. Дар баробари ин, таҷрибаи як қатор давлатҳои мутараққии минтақа (Узбекистон, Қазоқистон, Қирғизистон ва ғайра) нишон медиҳад, ки маҳз сохтмони манзили инфиродӣ дар баробари манзилҳои бисёршоёнаи сектори хусусӣ (ё баръакс) ба онҳо имкон дод, ки масъалаҳои ҳудро амиқтар баррасӣ намоянд.

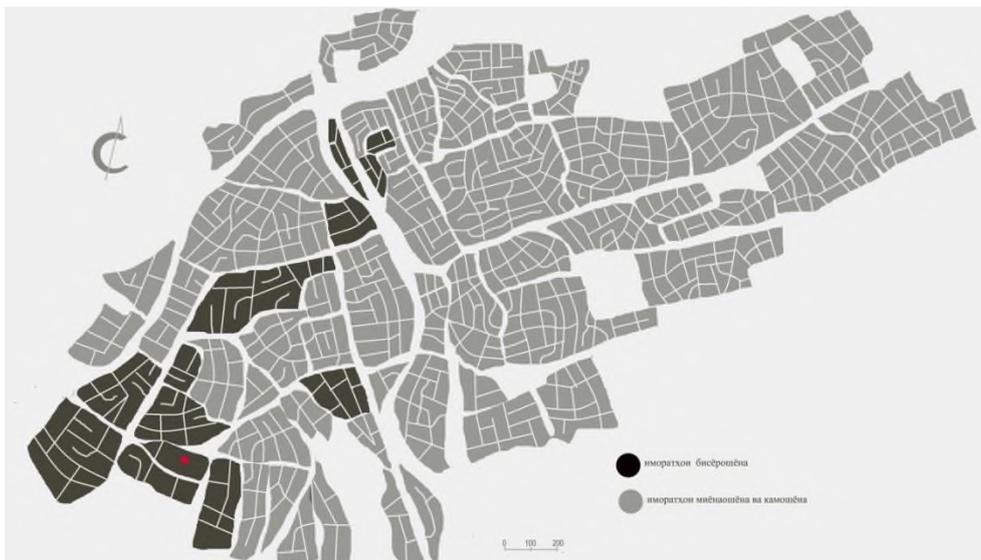
Маъмулан омили аз ҳама муҳими бунёди манзил- ҳаёти аъзоёни оила, хусусиятҳои гендерии синнусоли, муносибатҳои онҳо ва талаботҳои демографӣ мутаасифона аксаран сарфи назар мегардад[4].

Мувофиқ ба андешаи муҳаққиқ Ю.А. Снедков « шаҳрҳои хурд ва миёна дар ҳалли масъалаҳои муҳими иқтисодии иҷтимоии ҳар кишвар мавқеи калидиро соҳиб мебошанд» [5]. Шаҳракҳо аз рӯи таносуби зичии аҳоли дар радиои воҳидҳои шаҳрсозӣ миёни маҳаллаҳои аҳолинишини деҳот ва шаҳрҳои калонро ишғол менамоянд. Аз ҳамин нуқтаи назар дар шаҳракҳои Шимолӣ Тоҷикистон аксаран манзилҳои камшоёна (1-3 ошёна то 70%) ва миёнашоёна (4-7 ошёна то 15%)ро ба назар мерасад[6]. Рушди шаҳракҳо дар самаранок азхуд намудани захираҳои хоми табиӣ дар марҳилаи саноатигардонии босуръат уфуқҳои амиқро фароҳам меоварад [7].

Айни замон дар шаҳракҳои хурд ва миёнаи мавриди таҳқиқ вусъати лоиҳакашӣ ва сохтмони манзили камшоёна назаррас аст, ки ин чӣ тавре ки амалияи ҷумҳуриҳои ҳамҷавор нишон медиҳад, ба ҳалли масоили манзил дар кишвари мо ҳам ёрӣ мерасонад.

Биноҳои инфиродии камшоёнаи шаҳракҳо дар аксар мавридҳо, асосан дар давраи нимаи аввали асри XX ва барқарорсозӣ ба таври стихиявӣ инкишоф ёфтаанд[8]. Дар шимолӣ кишвари мо сохтмони оммавии муташаккилонаи хонаҳои инфиродӣ амалан ба роҳ монда нашудааст, хонаҳои камшоёна дар шаҳракҳо ва типологияи он, ки ба самти сиёсати давлатии фонди манзил дохил карда нашудаанд, омӯхта нашудааст. Ин махсусан ба манзилҳои камшоёна дар шаҳракҳои хурд ва миёна дахл дорад, ки лоиҳаҳои стандартии мавҷуда ба тарзи ҳаёти воқеӣ чандон мувофиқ нестанд.

Масалан, таносуби сохтмони манзил дар Исфара, ки аз рӯи нақшаи кулли ба лоиҳа гирифта шудааст (ҶДММ Шахрофар, 2018) 80 %-и биноҳои камшоёна ва 20 %-и баландшоёнаро дар бар мегирад (расми 1).



Расми 1 - Нақшаи минтақабандии сохтмон дар ш. Исфара ба 2021 (таҳлили муаллиф).

Баррасии эҳтиёҷи шаҳрвандон ва талаботи имрӯза - мафҳуми робитаи байни барномаи функционалий ва ҷойгиркунии он дар минтақаҳои гуногуни шаҳракҳо тамоман мавҷуд нест. Бинобар ин лоиҳаҳои мавҷудаи сохтмони манзилҳои камшоёна барои маҳаллаҳои хурд, маҳаллаҳои наздишаҳрӣ ва маҳаллаҳои деҳот, ки пештар як қатор пажухишгоҳҳои тадқиқотию илмӣ мисли САНИИОСП, Суғдшахрофар, Бунёдгари Суғд ба амал бароварда мешуданд, мебояд масъалаҳои мубрам мисли фарқ кардани манзили камшоёна вобаста ба ҷойгиршавии он дар муҳити шаҳрак, бештар ба назар гирифтани талабот ва тарзи ҳаёти аҳоли, имкониятҳои иқтисодии он боз ҳам вусъат дода шаванд.

### Масъалагузориҳо

Ҳамин тариқ, дар шароити нави муосири ҷаҳонишавӣ доништан лозим аст, ки кадом навъи манзилҳое, ки дар шароити гуногуни шаҳрак воқеъ гардидаанд, дар байни аҳоли бештар талабот пайдо карда, эҳтиёҷоти онҳоро бештар қонеъ мегардонанд. Ин ба татбиқи сиёсати конструктиви сохтмони манзил чи дар тамоми ҷумҳурӣ ва чи дар ноҳияву шаҳракҳои алоҳидаи шимолӣ кишвар мусоидат мекунад.

Хусусияти фарқкунандаи манзили истиқоматии инфиродии камшоёна, ки дар шаҳрак маъмул аст, дар муқоиса бо дигар намудҳои шаҳрсозӣ имкони пайвастанӣ тарзи ҳаёти шаҳрӣ дар он бо унсурҳои фаёолияти хунармандию кишоварзии сокинони он тавҳам мебошад. Хусусиятҳои меъморӣ ва фазоии чунин манзил инчунин имкон медиҳад, ки модели функционалии онро вобаста ба ҷойгиршавӣ дар сохтори шаҳрак тафтиҳ карда, дар қарори худ хусусияти тарзи ҳаёти шаҳрвандон, касбу кор, шуғл, сатҳи маълумот, самтҳои арзишнок ва ғайра дар маҳалли зисти онҳоро ба инобат гирад. Чунин тағйирпазирии тарҳи меъморӣ манзили камшоёна, мутобиқати он ба шароити мушаххас ба ташкил ва рушди бозори манзил мусоидат мекунад, ки он имкон медиҳад, то барои фармоишгари инфиродӣ ҷиҳати харидории манзили чунин андоза ва сифат имконият фароҳам оранд. Омили мазкур бешубҳа ба даромади оила, эҳтиёҷот ва хусусиятҳои иҷтимоӣ демографии он, хусусияти ҳаёти иҷтимоӣ мувофиқ аст.

Бинобар ин дар шароити муосири ҷаҳонишавӣ лоиҳаи асоснок ва сохтмони манзили камшоёнаро ба назар гирифта, гуногунии талаботи мушаххасро нисбат ба чунин манзил ва пеш аз ҳама, самтҳои иҷтимоӣ демографӣ омӯختан лозим аст. Ба муносибати ба вуҷуд омадани фармоишгари нав бо талаботи инфиродии худ ва тағйирёбии кулӣ дар самти умумии рушди сектори манзил, таҳқиқоти пеш аз лоиҳакашии меъморӣ ва иҷтимоӣ шаҳрак, ки ҳанӯз ба амал бароварда нашудаанд махсусан аҳамияти калон пайдо карда истодааст.

Чунин тадқиқот бояд ба ниёзҳо, тарзи зиндагии оилаҳо ва навъҳои афзалиятнокии манзили онҳо нигаронида шуда, натиҷаҳо барои корҳои мутахассисони лоиҳакашии манзил маводи асосӣ ва гузаронидани сиёсати тафтиҳи шаҳрсозӣ дар минтақаҳои гуногуни шаҳрак гардад.

Тадқиқоти шаҳрдорӣ муосир як мушкилоти мураккабест, ки банақшагирии шаҳрак ва ҷанбаҳои типологии ташаккули онро дар якҷоягӣ бо тарзи ҳаёти оилавӣ дар бар мегирад. Характери мураккаб ва байнисоҳавӣ ташаккули илм зарурати ба назар гирифтани натиҷаҳо ва маълумотҳоро оид ба самтҳои зерини масъала муайян мекунад:

- омилҳои шаҳрсозӣ-дар таркиби шаҳрак ҷойгир кардани манзилҳои камшоёна, имконияти интенсификатсияи ободонии шаҳракҳо модели он омӯхта нашудааст;

- масоили типологӣ ва иҷтимоию иқтисодии ташаккули манзилҳои камшоёна ва сершоёна, ячейкаи истиқоматӣ, бинои истиқоматӣ, як қатор биноҳои истиқоматӣ;
- хусусиятҳои тарзи ҳаёти шаҳрӣ, ки ҷомеашиносон дар сатҳи умумии назариявӣ таҳия кардаанд;
- таҳқиқоти бунёдии хусусиятҳои демографӣ, иҷтимоӣ, психологӣ ҳаёти оилавӣ дар манзил ва талабот ба он;
- таҳаввулотҳои характери пешгӯишуда, ки самти умумии рушди манзил ва тарзи зиндагии оилаҳоро инъикос мекунад.

Солҳои 80-уми асри гузашта ба муносибати сохтмони оммавии манзили сершоёнаи ҷамъиятӣ оид ба робитаи ҳалли меъморӣ тарҳкашии манзил ва хусусиятҳои иҷтимоию демографӣ оилаҳо ва тарзи зиндагии онҳо таҳқиқотҳо ба таври густурда гузаронида шуданд. Дар муҳити шаҳрак низ ҳамин гуна масъалаҳо омӯхта нашудаанд, ки ин ба сабаби тағйир ёфтани самти умумии сохтмони манзил аҳамияти мавзӯро тасдиқ мекунад.

Дар айни замон тарзи ҳаёти оилавӣ дар сохтори манзил қисман омӯхта шудааст. Вобаста ба мубрамияти тадқиқот ва вазифаҳои ба миён гузошташуда коршиносон сатҳи гуногун таҳияи ғояҳоро оид ба мафҳум, сохтор ва намудҳои тарзи ҳаёти оилавӣ истифода мебаранд.

Масоили демографӣ аҳолии шаҳраку деҳот; аҳолии шаҳрҳои калон, миёна ва хурд; аҳолие, ки ба гурӯҳҳои гуногуни иҷтимоию касбӣ ва синну соли гендерӣ тааллуқ доранд (ҷавонон, занон, пиронсолон ва ғайра) пажӯҳишро тақозо менамояд. Аммо ҷамъбасти таҳқиқоти сершумори тарзи ҳаёти шаҳракҳо нишон медиҳад, ки дар айни замон ягон тадқиқоте вуҷуд надорад, ки тарзи зиндагии оилаҳоро дар манзили камшоёнаи шаҳрӣ ва талаботи онҳоро барои ҳалли меъморӣ ва банақшагирии он баррасӣ кунад.

Дар таҳқиқоти шахрсозӣ танҳо вақтҳои охир ба ҳалли масъалаҳои асоснок кардани эҳтиёҷот ба хонаҳои инфиродӣ камшоёнаи шаҳракҳо шурӯъ карда, барои дар тарҳҳои кулии шаҳракҳо ҷой додани он мутобиқи талаботи стратегӣ тадбирҳои мушаххас дида мешаванд. Аммо масоили иҷтимоию демографӣ дифференсиатсияи сиёсати шахрсозӣ дар манотиқи гуногуни шаҳрак, ки дар он воқеъ аст, ҳанӯз мебоҷад такмил дода шавад.

Типологияи манзилҳои инфиродӣ дар сохтори шаҳрак дар сохтмони манзилҳои бисёршоёнаи мутамаркази сектори хусусӣ омӯхта нашудааст, барои муайян кардани таркиби вариант ва намуд-мачмуаҳои биноҳои манзилҳои инфиродӣ асоси шаклҳои гуногуни ҳаёти оилаҳои шаҳрӣ, моделҳои функционалии он қор карда нашудааст. Ҷамаи ин тақозо менамояд, ки намудҳои мавҷудаи тарзи ҳаёти оилаҳо ва фаъолияти воқеии онҳо дар манзилҳои инфиродӣ ва дар асоси он ташаккул додани моделҳои меъморӣ фазоии манзилҳои инфиродӣ баррасӣ карда шавад. Чунин таҳияи масъала зарурати ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумоти нав, таҳияи талаботи истеъмолкунандагонро ба манзил ва арзёбии иҷтимоии лоиҳаҳои анҷомёфтаре тақозо мекунад, ки ҳадаф ва вазифаҳои онро муайян менамояд.

### Натиҷаҳо

Бо мақсади таҳияи моделҳои ташаккули меъморӣ ва банақшагирии манзили истиқоматии инфиродӣ камшоёнаи шаҳрӣ мувофиқи ҷойгиршавии он дар сохтори шаҳрак ва бо назардошти тарзи ҳаёти оилаҳо мақолаи пеши худ ҳадаф гузоштааст.

Барои ноил шудан ба ин ҳадаф вазифаҳои зеринро баррасӣ кардан лозим аст:

1. Хусусиятҳои ҷойгир кардан ва фарқи ҳиссаи хонаҳои истиқоматии инфиродӣ камшоёна дар шаҳракҳои шимолии дорои андозаи гуногун муайян карда, ҷой ва шаклҳои он дар берун аз минтақаи мавриди таҳқиқ муайян карда шаванд.

2. Хусусияти робитаи байни манзилҳои инфиродӣ ва тарзи зиндагии оилаҳо дар сохтори шаҳрак муайян карда, баҳои иҷтимоии оилаҳо ба манзили камшоёнаи онҳо, навъҳои афзалиятноки манзил ва талабот ба он муайян карда шаванд.

3. Таркиб ва намудҳои асосии биноҳои камшоёнаи шаҳрӣ дар шароитҳои гуногуни шаҳрак муайян намудан.

4. Моделҳои дифференсиалии иҷтимоии оилаҳои шаҳракҳо бо назардошти тарзи зиндагонии онҳо ва роҳҳои принципалии беҳтар намудани сиёсати манзил дар манотиқи гуногуни шаҳракҳо тартиб дода шаванд.

Матлаби тадқиқот системаи муносибатҳои меъморӣ ва банақшагирии байни манзилҳои инфиродӣ камшоёна ва тарзи зиндагии оилаҳо дар сохтори шаҳрак мебошад.

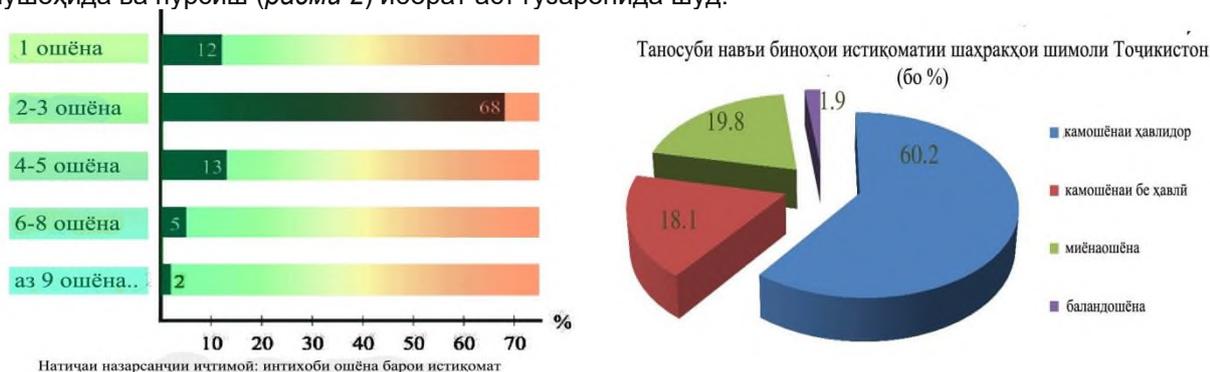
Ба сифати омили таҳқиқот манзили инфиродӣ камшоёна дар шаҳракҳо буда, иморатҳои истиқоматии навъҳои гуногун бо минтақаҳои ҳаммарз ва ё бе он, ки талаботи гурӯҳҳои гуногуни иҷтимоии аҳолиро қонеъ мегардонанд. Дар ин раванд, манзили инфиродӣ бояд ҳамчун як бинои камшоёна барои як ё якчанд оилаҳои алоқаманд ҷиҳати сохтмон дар шаҳракҳои хурду миёна дарк карда шаванд. Манзилҳои инфиродӣ аз рӯи намудҳо, таркиб ва масоҳати ҷузъҳои он (биноҳои истиқоматӣ,

қитъаи замин, ҳучраҳои коммуналӣ ва айвонҳо) фарқ мекунанд, метавонанд мувофиқи вазъи иҷтимоию иқтисодии оилаҳо табақаҳои гуногун бунёд шаванд.

Шаклу навъҳои манзилҳои инфиродӣ (ва ҷузъҳои он), ки талаботи аҳолиро пурратар қонеъ мегардонанд, вобаста ба ҷойгиршавӣ дар сохтори шаҳрак, таркиби демографии оилаҳо ва тарзи зиндагии онҳо фарқ мекунанд. Дар ин замина ба кор бурдани конструкцияҳои бинокорӣ ва усулҳои сохтмони манзилҳои инфиродӣ мувофиқи матлаб аст.

Методологияи пажӯҳиши илмӣ ҷамъбасти таҷрибаи ватанию хориҷии лоиҳакашӣ ва сохтмони оммавӣ барои оилаҳои шаҳрак дар асоси таҳлили адабиёти махсус ва даврӣ, маводҳои ҷамоӣшҳои байналмиллалӣ ва дохилӣ, тадқиқоти саҳроии ҷойгиркунии муташаккилонаи иқоматгоҳҳои инфиродӣ дар шаҳракҳои гуногун (хурд, миёна, калон) дар мисоли шаҳракҳои вилояти Суғд, ки ҳоло ҳам асосан биноҳои истиқоматии камшоёнаро нигоҳ медоранд, аз ҷумла шаҳри Конибодом, таҳлили муқоисавии лоиҳаҳоро баррасӣ менамояд.

Таҳлили ҷамъонибаи ташаккули манзилҳои инфиродӣ дар шароити тараққиёти шаҳрҳои миёна (дар мисоли Конибодом) гузаронидани тадқиқоти махсуси меъморӣ ва иҷтимоии манзили камшоёна, ки аз мушоҳида ва пурсиш (расми 2) иборат аст гузаронида шуд.



Расми 2. Талабот ва ҳолати воқеӣ ба ошёнанокии манзил дар ш. Конибодом.

Тавассути усули махсус кор карда баромадаи муаллиф (аз ҷумла саволномаи мусоҳиба) таҳқиқи оилаҳо (зиёда аз 250 оила дар маҳалҳои марказӣ, миёна ва берунии шаҳрак, ки зиндагӣ мекунанд ва барои муқоиса дар биноҳои серошёнаи ҳозиразамон), бо коркарди минбаъдаи маълумот дар барномаи компютери "PARADOXS" коркард шуд.

### Муҳокима

Таҳлили муқоисавии (дар асоси маълумоти таҳқиқоти мушаххаси меъморӣ сотсиологӣ) баҳодихии иҷтимоии оилаҳои манзили истиқоматии замонавии камшоёна ва миёнаошёна (5-9 ошёна), инчунин талабот ва афзалиятҳои гурӯҳҳои гуногуни иҷтимоии аҳоли; дар манзилҳои инфиродии шаҳрӣ дар манотиқи гуногуни шаҳрак ва дар биноҳои серошёнаи ҳозиразамон истиқомат кардаанд.

Натиҷагирӣ усулҳои омӯрӣ дар коркарди маълумот (гурӯҳбандӣ, таснифот ва муқоиса), ки дар натиҷаи таҳқиқ ба даст оварда, дар ҳисобот дар шакли графикҳо моделсозии графикӣ-таҳлилий, диаграммаҳо ва ҷадвалҳо оварда шудаанд;

Навоварии илмии лоиҳаҳо дар кор карда баромадани асосҳои назариявии ташкили меъморӣ тарҳкашии муҳити зисти шаҳрак, муносибати комплексӣ ба омӯзиши он мебошад. Бори аввал хусусиятҳои типологии манзилҳои инфиродӣ вобаста ба тарзи ҳаёти оилаҳо ва ҷойгиршавии он дар сохтори шаҳрак таҳқиқ карда шуданд, ки дар натиҷа:

- чор намуди тарзи зиндагии шаҳрвандон- сокинони биноҳои инфиродии камшоёнаи шаҳракҳо аз ҷиҳати дараҷаи инкишофи фаъолияти иқтисодии оилаҳо муайян карда шуда, чор намуди манзилҳои инфиродии камшоёнаи ба онҳо мувофиқ (иҷтимоӣ, муқаррарӣ, бошукӯҳ ва ниҳоят бошукӯҳ) муайян карда шуд;

- таъсири тарзи зиндагии оилаҳо ба ташаккули намудҳои манзилҳои инфиродӣ дар шароити гуногуни шаҳрак, инчунин тағйирёбии тарзи ҳаёти оилаҳо бо тағйирёбии шаклҳои манзил муқаррар ва ба таъри назаррас нишон дода шудааст.

Оид ба сиёсати дифференсалии манзил ва шаҳрсозӣ дар манотиқи гуногуни шаҳрак (марказӣ, миёна ва канорӣ) биноҳои инфиродии камшоёна тадқиқотҳо карда шуданд.

Асосҳои илмии баррасишавандаи мавзӯи таҳқиқшаванда чунин мебошад:

- силсилаи типологии пай дар пай инкишоф додани таркиби ҳучраҳои ёррасони хонаҳои инфиродии камшоёнаи шаҳрак, ки аз қисматҳои асосӣ иборат аст;

- моделҳои асосии манзилҳои инфиродӣ аз нуқтаи назари таркиби биноҳо ва робитаҳои байниҳамдигарии онҳо дар шакли диаграммаҳои функционалӣ, ки дар асоси намудҳои чунин

*манзилҳои истиқоматӣ ва аз ҷониби оилаҳо бартарӣ дода шудаанд, ки ба онҳо манзилҳои инфиродӣ тарзи зиндагӣ ва ҷойгиршавии онҳо барои шаҳрак мувофиқанд.*

Аҳамияти амалии масъала дар тақмили асосҳои назариявии ташаккули комплекси манзилҳои инфиродии шаҳрак мебошад, ки ин барои дар асосҳои илмӣ кор карда баромадани амалии ин намуди манзили оммавӣ имконият медиҳад. Маҷмӯаи типологии биноҳои коммуналии камошёна ба даст овардашуда метавонад ҳангоми таҳияи барномаҳои мушаххаси тарҳрезии ҷунин манзил истифода шавад, дар ҳоле, ки меъморон ҳам бо фармоишгарони хусусӣ ва ҳам бо намояндагони мақомоти давлатӣ кор мекунанд ва инчунин ҳамчун асос барои арзёбии лоиҳаҳои анҷомёфтаи ташхисии биноҳо хизмат мекунанд. Дар лоиҳакашӣ истифода бурдани моделҳои тартиб додашудаи ташкилоти меъморию тарҳкашии манзилҳои инфиродӣ самараи иҷтимоию мадании қарорҳои лоиҳавиро баланд мебардорад ва барои интиҳоби оқилонаи манзилҳои инфиродии муосири шаҳрак, беҳтар намудани фонди манзил имконият фароҳам меорад. Ҷиҳати тартиб додани қоидаҳои сиёсати дифференсиалии шаҳрсозӣ дар шаҳракҳои гуногун ва барои минтақаҳои алоҳидаи шаҳрак, инчунин ташкили кори пеш аз лоиҳакашӣ, ташкили ҳадамоти эксперти маълумоти омӯрӣ ва ахборот зарурат ба миён меояд.

Муқаррарот ва натиҷаҳои тадқиқоти меъморӣ ва сотсиологӣ, ки дар шаҳрҳои Конибодом ва Исфара бо мақсади муайян кардани баҳодиҳии иҷтимоии аҳолии манзили муосир, афзалиятҳои он ба намудҳои ва шаклҳои манзили нав гузаронида шудааст, аз ҷониби пажӯҳишгоҳи лоиҳакашии минтақавии Суғдшаҳрсоз дар кори худ истифода шудааст, ба ҳадафҳои стратегияи рушди миллии сохтмони ҚТ «Манзил 2030», ҳамчун тавсия оид ба сиёсати манзил ба комичроияи шаҳрҳои Исфара ва Конибодом дохил карда шудааст.

Вазъияти ҳозира ва ҷойгиркунии хонаҳои истиқоматии инфиродии камошёна дар шаҳракҳо эҳтиёҷ ба тақмилро дорад. Масъалаҳои ба ҳисоб гирифтани тарзи ҳаёти шаҳрвандон проблемаҳои назариявӣ оид ба сохт ва намудҳои тарзи зисти оилаҳо; таҳлили таҷрибаи лоиҳакашии ватанӣ ва хориҷӣ ва сохтмони манзили камошёна; натиҷаҳои таҳқиқоти саҳроии шаҳракҳои алоҳида аз ҷиҳати дар онҳо ҷойгир кардани манзилҳои инфиродӣ ва ҳиссаи он дар сохтори фонди манзили шаҳрак пешниҳод карда мешаванд; масъалаҳои умумии сохт ва намудҳои тарзи ҳаёти оилаҳои шаҳракҳо баррасӣ мешаванд. Дар натиҷа дар бораи зарурати муносибати комплекси ба инкишофи намудҳои биноҳои истиқоматӣ бо назардошти ҷойгиршавии он дар сохтори шаҳрак ва тарзи гуногуни зиндагии оилаҳо натиҷаҳо баррасӣ шуданд.

Манзили инфиродии камошёна дар сохтори шаҳрак ва эҳтиёҷоти аҳоли таҳлили натиҷаҳои таҳқиқоти меъморию сотсиологӣ аҳолиеро, ки дар манотиқи гуногуни шаҳри Конибодом зиндагӣ мекунанд, дар бар мегирад; талаботи гурӯҳҳои гуногуни аҳоли ба манзили камошёна ва эҳтиёҷи аҳоли ба он муайян карда мешавад. Баҳодиҳии иҷтимоии оилаҳои манзили муосир ва навҳои воқеии тарзи зиндагии он дар манзилҳои инфиродии шаҳрак, инчунин он манзилҳои инфиродие, ки ба фарқиати намудҳои он таъсир мерасонанд, муайян карда шудаанд.

Моделҳои манзилҳои инфиродии камошёна ва дар сохтори шаҳрак ҷойгиркунии он аз самтҳои умумии ташаккули сохтори манзилҳои камошёнаи шаҳрӣ дар асоси шаклҳои гуногуни тарзи ҳаёти оилавӣ ва роҳҳои имконпазири сиёсати шаҳрсозӣ дар манотиқи гуногуни шаҳрак баъзе фарқиятҳоро ошкор мекунанд. Тафсилоти моделҳои пешниҳодшудаи манзил бо назардошти майдони қитъаҳои ҳамшафат, таркиб ва намудҳои маҷмӯи хонаҳои ёрирасони манзил ва майдони он гузаронида шуд.

Дар шароити сохтмони муттасил дар шимоли кишвари мо асосан биноҳои инфиродии камошёна, махсусан дар шаҳракҳои таърихӣ ҳанӯз боқӣ мондаанд. Дар канори шаҳракҳо ва ҳам дар минтақаҳои марказии он (вобаста ба андозаи шаҳрак) воқеъ гардида, аз ҷиҳати ҳудудӣ ҳоло ҳам масоҳатҳои калонро ишғол мекунанд.

Сохтмони хонаҳои истиқоматии инфиродии камошёна дар шимоли кишвари мо махсусан дар охири солҳои 50-ум ва 80-ум хеле калон буд, ки ин асосан барои ҳамаи шаҳрҳои шӯравӣ, ки дар асоси иқтисодии тарҳӣ тараққӣ мекарданд, хос аст. Аммо сохтмони манзили индустриявӣ ва самти дар солҳои 60-ум пешгирифтаи сохтмони танҳо хонаҳои бисёршӯна дар шаҳракҳо боиси ба таври назаррас кам шудани ҳиссаи сохтмони инфиродии манзил дар ҳаҷми умумии сохтмони манзил (то 15 %) гардид.

Бо мақсади муайян кардани мавқеи воқеии манзилҳои инфиродии камошёна дар шаҳракҳо ва ҳиссаи он дар фонди манзил шаҳракҳои аҳамияти таърихидоштаи Ҷонҷӣ ва Навкат таҳқиқ карда шуданд. Аз ин ҷиҳат, шаҳракҳои аҳолии гуногун мақсаднок интиҳоб карда шуданд, ки гурӯҳҳои асосии таснифотро намояндагӣ мекунанд. Дар натиҷаи таҳқиқоти саҳроӣ ва таҳлили лоиҳаҳои кулии ин шаҳракҳо маълум гардид:

1. Дар шаҳракҳо ҳоло биноҳои алоҳидаи камошёна бо қитъаҳои ҳамсоя (ё бе онҳо), ки қисми дигари қаламрави шаҳракҳоро ишғол мекунанд, ҳанӯз нигоҳ дошта мешаванд. Вобаста ба шумораи аҳолии онҳо ҳиссаи он 24 %-и фонди умумии манзил дар шаҳраки калон ва дар шаҳраки хурд аз 50 % зиёдро ташкил медиҳад.

2. Биноҳои инфиродии камшоёна дар сохтори шаҳракҳои таҳқиқшаванда ҳам дар канори шаҳракҳо ва ҳам дар манотиқи марказӣ ҷойгир буда, бо бартарии биноҳои сангини якошонаи дорои дараҷаи пасти зерманзилҳои муҳандисӣ ва дараҷаҳои гуногуни фарсудашавӣ хос мебошанд.

3. Дар ҳамаи шаҳракҳои таҳқиқшуда сохтмони хеле инкишофёфта (аз солҳои 80-ум сар карда) бунёди хонаҳои инфиродии камшоёна (ҳам бо қитъаҳои ҳамшафат ва иморатҳои ёрирасон ва ҳам бе онҳо) ошкор гардид, ки ин аз афзоиши талабот ба чунин манзил дар байни аҳолии шаҳракҳои таърихӣ гувоҳӣ медиҳад. Ин зарурати ба таври максималӣ муттаҳид намудани ҳам аз вобастагии шаҳрак ва ҳам дар минтақаи таъсири он, қаламравҳои биноҳои алоҳидаи камшоёна ва зиёд кардани ҳиссаи он дар сохтори сохтмони ояндаро дар назар дорад.

4. Дар маҳалҳои гуногуни шаҳрак ҷой додани хонаҳои истиқоматии инфиродии камшоёна боиси ташаккули шаклҳои гуногуни тарзи зисти оилаҳое, ки дар он зиндагӣ мекунанд, оварда мерасонад.

Ҳамин тариқ, дар баробари тарзи ҳаёти шабеҳи шаҳрнишинӣ аҳоли вучуд дорад, ки тарзи ҳаёти деҳотӣ ё наздишаҳриро пеш мебарад. Муқаррар карда шудааст, ки ба навҳои шаҳрӣ, наздишаҳрӣ ва деҳот гузаронидани тарзи зиндагӣ бештар ба манотиқи алоҳидаи шаҳрак, ки биноҳои инфиродии камшоёна доранд, аз ҷумла: минтақаи марказӣ, миёна ва канори шаҳракҳо мувофиқ аст.

Таҳлили таҷрибаи хориҷии ҳамҷавор нишон медиҳад, ки роҳҳои сохтмони манзил, махсусан дар Узбекистон ва Қазоқистон нисбат ба муҳити мо фарқкунандаанд. Дар ин ҷо ба ҷои манзили бисёршоёна бинои истиқоматии якошона навъи маъмултаринро бештар месозанд. Хонаҳои пастшоёна дар Қазоқистон намудҳои гуногуни биноҳоро дар бар мегирад: аз биноҳои беназир - барои оилаҳои дорои даромади баланд, ба биноҳои истиқоматии сердаромад нисбатан арзон. Намудҳои зерини хонаҳои якҷурагӣ ҷудо карда мешаванд: *-хонаҳо барои оилаҳои камтаъмин; барои оилаҳои миёна; хонаҳо («виллаҳо») барои гурӯҳҳои сердаромади иҷтимоӣ.* Дар ҳар як намуди хонаҳои якҷурагӣ аз рӯи майдони худ се намуди хонаҳои якҷурагиро ҷудо кардан мумкин аст: *хурд, миёна ва калон.*

Дар шароити мо танҳо як қисми ками (қариб 8 % оилаҳои сердаромад дар асоси таҳқиқотҳои солҳои охир хонаҳои навъи бошукӯхро бунёд карда метавонанд, ки барои оилаҳои даромади миёна таркиби биноҳо - *виллаҳо* пешбинӣ карда шудаанд. Қисми асосии аҳоли бо қувваи худ манзилҳои инфиродии камшоёнаи иҷтимоиро месозанд, танҳо ба ёрии молиявӣ дар намуди дигари манзили табақаи миёнаҳол эҳтиёҷи худро бароварда месозанд. Аз ин рӯ, барои шароити мо ин вариантҳои биноҳои пастшоёнаи хориҷӣ қобили қабул нестанд, зеро онҳо на танҳо ба иқтисоди иқтисодии аҳолии мо, балки ба тарзи зиндагии мо, иқлим, анъанаҳои миллӣ низ мувофиқат намекунанд.

Намудҳои тарзи ҳаёти оилаҳо дар сохтори меъморӣ ва банақшагирии манзил ва талабот ба он таъсири бевоситаи худро мегузорад. Ин як ҷузъи ҷудонашаванда бо мавҷудияти синхронии онҳо бо тағйироти мутақобила дар манзили инфиродӣ бидуни мушкилӣ амалӣ карда мешавад. Амалан ду гурӯҳи он манзилҳои инфиродӣ (ҳамчун омилҳои муҳимтарин) муайян карда шудаанд, ки ба ташаккули тарзи ҳаёти оилаҳои дар манзилҳои инфиродӣ зиндагӣ мекунанд:

Якум - он манзилҳои инфиродие, ки вобаста ба шароити шаҳрсозӣ барои ҷойгиркунии манзили камшоёна ва таъиноти функционалии он (ҷойгиршавии биноҳои инфиродии камшоёна дар шаҳракҳо; дараҷаи рушди соҳаи хизматрасонӣ; мавҷудият ва андозаи қитъаи наздиқавлигӣ; биноҳои ёрирасон, ки дар ин мавзӯ ҷойгиранд; хоҷагии ёрирасон), дуюм - манзилҳои инфиродии вобаста ба хусусиятҳои иҷтимоӣ-демографии оилаҳо (андозаи оила; сатҳи таҳсилот; касб ва хусусияти кор; тамоюли арзишҳои аъзои оила ва ғайра).

Омузиши амиқи фарқиятҳои тарзи ҳаёти оилаҳо ва хусусиятҳои манзилҳои инфиродӣ дар мисоли шаҳраки Шайдон ва Навкат мебошад, гузаронида шуд, ки дар он дар намуди биноҳои камшоёна дар муқоиса бо поселкаҳои хурдтар мисли Хистеварз, Адрасмон, Чойрух фарқияти назаррас мавҷуд аст.

Аз рӯи нишондодҳои Агенсии омори назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ба ҳолати соли 2021, таъминнокии аҳоли бо манзил 11,1м<sup>2</sup>/нафарро ташкил дод, ки ин ба 92,5 фоиз нишондоди меъёрии муқаррарнамудаи Кодекси манзили Ҷумҳурии Тоҷикистон (12 м<sup>2</sup>/нафар) баробар аст[9]. Дар ин замина такмили меъёр ва қоидаҳои лоиҳакашии «Банақшагирӣ ва иморатсозии маҳалҳои аҳолинишини деҳот», «Хонаҳои истиқоматии якманзила» (Манзилҳои истиқоматии намуди ҳавлидор) ва мавҷуд набудани механизми самараноки татбиқи «Концепсияи ислоҳоти хоҷагии манзилию коммуналӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2010 – 2025» мувофиқи мақсад аст.

### Хулоса

Ба мушкилоти асосӣ дар меъморӣ манзил нарасидани қитъаҳои замин барои сохтмони манзил; самаранокии пасти истифодаи заминҳо бо иқтисоди калони шаҳрсозӣ; нокифоягии мониторинги ҳолати фонди манзил ва қитъаҳои замин, сохтмони манзил, маблағгузори манзилӣ ва бозори он дар шароити муосир боқӣ мемонад[10].

Афзалиятҳои калидӣ дар соҳаи сохтмони манзил барои давраи то соли 2030 бошад, баланд бардоштани дастрасии манзил, таъмини афзоиши сохтмони манзил, паст кардани арзиши он, баланд

бардоштани бароҳати манзил ва сифати он, мутобиқ намудани фонди манзили мавҷуда ва инфрасохтори коммуналӣ ба стандартҳои беҳатарӣ ва сифат; рушди сохтмони камшоёна дар ду самтҳои ояндадор - иморатсозии камшоёна бо зичии зиёд дар шаҳрҳо, асосан дар маҳалҳои ноҳамвор ва сохтмони хонаҳои камхарчи якҷуғрадор ва блоконидашудаи истиқоматӣ аз масолеҳҳои сохтмони маҳаллӣ дар дигар маҳаллаҳо; ҷорӣ намудани стандартҳои байналмилалӣ муҳити бароҳати истиқомат доништа мешавад. Барои ноил гардидан ба ин ҳадафҳои стратегӣ заминаҳои иқтисодию иҷтимоӣ кифоякунанда буда, дар ин замина моро танҳо иқдоми созанда мебояд.

### Адабиёт

1. «Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030». с.21. [https://tajsotmon.tj/pdf/strategy\\_taj\\_20\\_06\\_2022.pdf](https://tajsotmon.tj/pdf/strategy_taj_20_06_2022.pdf), санаи мурочиат:04 02 2023с.
2. Ҳамон ҷо. с.26.
3. Барсуков Е.М. Развитие планировочной структуры малых городов. -М; Наука, 2019. 184 с.
4. Снедков А.В. Управление социальным развитием малых и средних городов на основе комплексного социального планирования. -М; Омега, 2009.176 с.
5. Ҳисоботи солонаи Агентии омили назди Президенти ҚТ. Душанбе; 2022. с 243.
6. Гейер И.И. Весь Русский Туркестан. - Ташкент,1909. – 308с, 422 илл.
7. Ҳисоботи омили Ҷумҳурии Тоҷикистон дар солҳои 2000-2020.
8. Смоляр И.М. Принципиҳои шаҳрсозӣ ва тавсияҳо оид ба таҳияи нақшаҳои кулии шаҳракҳо дар шароити нави иҷтимоӣ-иқтисодӣ.- Душанбе; 1995, - с.40.
9. Ҳисоботи Агентии омили назди Президенти ҚТ ( 2000-2020). Душанбе; 2021.
10. «Стратегияи рушди соҳаи сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030». [https://tajsotmon.tj/pdf/strategy\\_taj\\_20\\_06\\_2022.pdf](https://tajsotmon.tj/pdf/strategy_taj_20_06_2022.pdf), санаи мурочиат:04 02 2023с.

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

TJ	RU	EN
Муқимов Рустам Саматович	Муқимов Рустам Саматович	<i>Mukimov Rustam Samatovich</i>
доктор меъморӣ	доктор архитектуры	doktor of Architecture
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:mukimovr@mail.ru">mukimovr@mail.ru</a>		
телефон 907 77 18 02		
ORCID Id: 0000-0001-9361-3575		
TJ	RU	EN
Зокиров Раҳимҷон Шарифович	Зокиров Раҳимҷон Шарифович	Zokirov Rahimjon Sharifovich
омӯзгори калон	старший преподаватель	senior Lecturer
ДПДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.	ПИТТУ имени академика М.С. Осими.	Polytechnic Institute TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: <a href="mailto:zokirov_1974_rahimjon@mail.ru">zokirov_1974_rahimjon@mail.ru</a>		
телефон 928 07 67 66		
ORCID Id: 0000-0001-9750-8641		

## НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПРОСЛОЙКАМИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МИКРОКЛИМАТ

Нигматов И.И.

(ТТУ им. акад. М.С. Осими)

В статье на основе натурных исследований определяется зависимость температурных параметров на поверхностях современных стеновых ограждений с вентилируемыми воздушными прослойками от скоростей движения воздуха. Эффективность прослойки в условиях летних температур возрастает при её удлинении, так как происходит отток тепла с массива стен. А в зимний период при закрытых заслонках, располагаемых на входе воздуха в нижней части прослойки, исключается конвекция воздуха в ней.

Ключевые слова: воздушная прослойка, конвекция, микроклимат, удельный расход, энергия, экранированная, летний режим, трение, сопротивление, тепловой баланс, амплитуда.

### EXTERNAL WALLS OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH VERTICAL LAYERS AND THEIR INFLUENCE ON THE MICROCLIMATE

Nigmatov I.I.

The article, based on field studies, determines the dependence of temperature parameters on the surfaces of modern wall enclosures with ventilated air gaps on air speeds. The effectiveness of the layer in summer temperatures increases with its elongation, as there is an outflow of heat from the wall array. And in winter, with closed dampers located at the air inlet in the lower part of the layer, air convection in it is excluded.

Keywords: air layer, convection, microclimate, specific consumption, energy, screened, summer mode, friction, resistance, heat balance, amplitude.

### ДЕВОРҶОИ БЕРУНИИ БИНОҶОИ БИСЁРОШЁНА БО ҚАБАТҶОИ АМУДӢ ВА ТАЪСИРИ ОНҶО БА МИКРОИҚЛИМ

Нигматов И.И.

Мақола дар асоси таҳқиқоти саҳроӣ вобастагии параметрҳои ҳароратро аз рӯи деворҳои замонавӣ бо фосилаҳои ҳаво вентилирашуда аз суръати ҳаво муайян мекунад. Самаранокии қабат дар ҳарорати тобистон бо дарозшавии он зиёд мешавад, зеро аз массиви девор баромадани гармӣ вучуд дорад. Ва дар зимистон, бо дамперҳои пӯшида, ки дар даромадгоҳи ҳаво дар қисми поёнии қабат ҷойгиранд, конвексияи ҳаво дар он истисно карда мешавад.

Калидвожаҳо: қабати ҳаво, конвексия, микроиқлим, масрафи ҳос, энергия, экраншуда, речаи тобистона, соиш, муковимат, тавозуни гармӣ, амплитуда.

Ежегодно в строительной отрасли на отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию и кондиционирование гражданских и производственных зданий тратится около 45% всего добываемого жидкого, твердого и газообразного топлива, идущего на внутренний рынок. Кроме того, около 10% идет на производство строительных материалов, изделий, конструкций и возведение зданий.

В жарких условиях имеется тенденция к увеличению протяженности зданий, уширению корпуса и повышению этажности. По сравнению с 4-х секционными домами в 10-ти секционных домах снижается удельный расход тепла на отопление на 5-7%. С повышением этажности снижается удельный расход энергии на отопление зданий. Для экранированных однослойных панелей с воздушными прослойками при толщине массива стены 110мм-140мм, экранированных двухслойных панелей с массивом 140мм, панелей-скорлуп, либо панелей с устроенными воздушными полостями шириной 70, 80 и 100мм в массиве температура на внутренней поверхности в 17ч ( $t_{вн}$ ) составила 29,3 - 30,7°C. А в двухслойной экранированной панели температура в 29°C сохраняется на внутренней поверхности ещё дольше.

Высокие скорости движения воздуха в вентилируемых прослойках ограждений являются благоприятным фактором, т.к. основная доля воздействующего на стеновое ограждение и аккумулированного им тепла удаляются путем конвекции. О высокой теплоустойчивости экранированной панели можно судить по характеру затухания колебаний температур по вертикали стенового ограждения в наружных стенах, совмещенных с прослойками крыш зданий, обладают большей эффективностью в летних и зимних условиях.

Микроклимат в помещениях, как известно, формируется также и от температуры на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

В настоящее время наряду с другими системами в зданиях используется система «вентилируемый фасад». В последних ограничена высота прослойки (в пределах одного этажа) и её толщина составляет 50,60 мм. В условиях жаркого климата Республики Таджикистан тепловой эффект таких ограждений снижается. Натурные исследования автора, проведенные в Душанбе с вентилируемыми прослойками большой протяженности, подтверждают их большую эффективность.

Максимальные тепловые нагрузки на ограждение с вентилируемой воздушной прослойкой, соединенной по всей высоте здания с выходом на крышу, приходились на 17 часов. При этом скорость движения воздуха в прослойке равнялась  $W=1,1$  м/сек, а среднесуточное значение  $W^{cp} = 0,79$  м/сек; максимальная температура воздуха в прослойке  $T_{вп} = 34,1^{\circ}\text{C}$ ., а наружного воздуха  $T_{вн} = 32,0^{\circ}\text{C}$ .

Конструктивно вентилируемую прослойку целесообразно принимать по всей высоте здания, объединяя с прослойкой покрытия, толщиной 100, 120, 130мм и прослойкой крыши толщиной более 200мм. При этом следует принимать в качестве массива наружных стен эффективные материалы. Для предотвращения застоя воздуха на экранах, выполняемых из лёгких сплавов или фибробетона, следует предусматривать отверстия с чередованием в два-три этажа.

Расчетная скорость движения воздуха в прослойке определялась следующим образом. Коэффициент сопротивления воздуховода будет равен 0,026 по числу Рейнольдса (Re).

Сопротивления на входе и выходе из прямоугольного канала прослойки (см. рис.) принимаются соответственно 0,5 и 1,0.

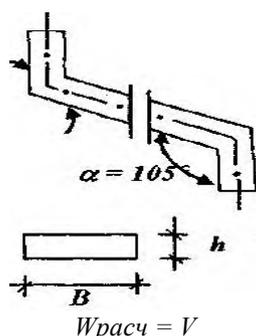


Рисунок 1 – Схема канала вертикальной прослойки, соединенной с горизонтальной на крыше

Местные сопротивления в «коленах» воздуховода вертикальной прослойки, соединённой с горизонтальной, при углах поворота  $\alpha = 105^{\circ}$  (при уклоне крыши  $15^{\circ}$ ) имеют значения  $\xi = 0,82 \cdot C$ , где  $C$  – коэффициент, зависящий от отношения сторон прослойки ( $B/h$ ); при  $B/h = 7,3$   $C = 0,33$ . Местное сопротивление  $\xi = 0,27$ . А сумма сопротивлений прослойки

$$\Sigma \xi = 0,5 + 1,0 + 0,27 + 0,27 + 0,026 = 2,07.$$

Скорость воздуха совмещенной прослойки составила

$$W_{расч} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 13,57 \cdot (34,1^{\circ} - 31,4^{\circ})}{2,07(34,1 + 273)}} = 1,06 \text{ м/сек};$$

Далее определялись расчетные амплитуды колебаний температур на поверхностях ограждений и сопоставлялись с фактическими значениями. Для этого необходимы исходные параметры.

По уравнениям теплового баланса среднесуточные температуры поверхностей ограждения составляли:

$$\begin{array}{ll} T_{1cp}^{факт} = 25,6^{\circ}\text{C}; & T_{1cp}^{расч} = 23,8^{\circ}\text{C}; \\ T_{2cp}^{факт} = 25,0^{\circ}\text{C}; & T_{2cp}^{расч} = 24,3^{\circ}\text{C}; \\ T_{3cp}^{факт} = 25,7^{\circ}\text{C}; & T_{3cp}^{расч} = 25,2^{\circ}\text{C}; \\ T_{4cp}^{факт} = 25,3^{\circ}\text{C}; & T_{4cp}^{расч} = 26,6^{\circ}\text{C}; \end{array}$$

Амплитуды колебаний температур на поверхностях экранированной стеновой панели следующие:

$$\begin{array}{ll} A_{t1}^{факт} = 11,6^{\circ}\text{C}; & A_{t1}^{расч} = 12,8^{\circ}\text{C}; \\ A_{t2}^{факт} = 11,6^{\circ}\text{C}; & A_{t2}^{расч} = 11,6^{\circ}\text{C}; \\ A_{t3}^{факт} = 7,3^{\circ}\text{C}; & A_{t3}^{расч} = 8,6^{\circ}\text{C}; \\ A_{t4}^{факт} = 2,7^{\circ}\text{C}; & A_{t4}^{расч} = 1,9^{\circ}\text{C}; \end{array}$$

Получается довольно близкая сходимость между расчетными и фактическими показателями.

Таким образом, температурный режим вентилируемых стеновых ограждений с повышением высоты прослойки улучшается.

Входные отверстия прослоек должны устраиваться с закрывающимися заслонками в целях исключения оттока тепла с ограждений. В зимних условиях, закрывая снизу заслонки, исключается конвекция воздуха в прослойке, тем самым повышается тепловая защита наружной стены. А в летних условиях открытые вертикальные и горизонтальные совмещенные прослойки обеспечивают отток тепла с поверхностей ограждающих конструкций посредством конвекции.

Закрывание внизу заслонок может осуществлять ответственный по дому работник.

Автоматизация работы заслонок может быть осуществлена в дальнейшем посредством использования материалов, реагирующих на температурные условия.

### Литература

1. Ильинский В.М. Строительная теплотехника. М. 1976г.
2. Нигматов И.И., Усмонов Ш.З. Архитектурно-конструктивное проектирование многоэтажных гражданских, высотных, уникальных зданий и организация внутренней среды. Душанбе. 2021г.

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

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Нигматов Икромчон Исмаҷонович	Нигматов Икромджон Исмаҷонович	Nigmatov Ikromdzhon Ismatdzhonovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title	Номзади илмҳои техникӣ, профессор	кандидат технических наук, профессор	candidate of technical sciences, professor
Ташкилот, Организаци, Organization	ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
e-mail	nigmatov40@bk.ru, usmonov.shuhrat@gmail.com		
ORCID Id	-		

УДК 625.77

## РАЗВИТИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ МАЛЫХ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Садиева Г.Ф., Мирзоева Ф.З.

Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

В данной статье рассматривается задача об особенностях формирования и решения зеленых насаждений на территории малых городов нашей страны.

В особенности, учитывая продуктивное понимание в усовершенствовании малых городов, относят зеленые насаждения. В условиях жаркого климата наша страна имеет свои природно-климатические особенности, социально-экономические уровни развития, также имеет свои специфические задачи организации ландшафта – озеленение территории жилого района населенных мест. Сегодня возникают проблемы комплексного переустройства городов и сел. В ряде этих проблем имеются и положительные примеры в активном озеленении территорий городов и сел для создания благоприятных условий для труда и отдыха горожан, и жителей сельских населенных пунктов и их окружающей среды в городах Душанбе, в Согдийской и Хатлонской областях, ГБАО и ряде других городов и сел Республики Таджикистан.

*Ключевые слова:* ландшафт, благоустройство, городской ландшафт, планирование малых городов, малые архитектурные формы, зеленые насаждения.

## РУШД ВА ТАШАККУЛИ ҶОЙҶОИ САБЗ ДАР ҚАЛАМРАВИ ШАҲРҶОИ ХУРДИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Садиева Г.Ф., Мирзоева Ф.З.

Дар мақолаи мазкур проблемаи хусусиятҳои ташаккул ва ҳалли кабудизоркунӣ дар ҳудуди шаҳрҳои хурди кишварамон баррасӣ карда мешавад.

Яке аз намудҳои муҳимтарин ва самараноки рушди шаҳрҳо ва шаҳракҳои хурд, ин ташкили кабудизоркунӣ ва ободони маҳали зист мебошад. Дар шароити иқлими гарм кишвари мо дорои хусусиятҳои табиӣи кӯҳӣ, сағхи тараккиёти иҷтимоӣ иқтисодӣ, инчунин оид ба ташкили маҷмӯи ҷойҳои сабз ва манзараҳои кабудизоркунӣ маҳалҳои аҳолинишин, ободони муҳити шаҳрҳо аҳамияти назаррас доранд. Имрӯзо проблемаҳои азнавсозии комплекси шаҳру деҳот пайдо мешаванд. Дар як қатор ин проблемаҳо мисолҳои мусбат дар бобати кабудизоркунӣ фаъолонаи шаҳру деҳот барои фароҳам овардани шароити мусоид барои меҳнату истироҳати шаҳрвандон ва сокинони деҳот ва муҳити зисти онҳо дар шаҳрҳои Душанбе, вилоятҳои Суғд ва Хатлон, ВМКБ ва як қатор дигар шаҳру деҳотҳои Республикаи Тоҷикистон ҷой доранд.

*Калимаҳои калидӣ:* ландшафт, кабудизоркунӣ, манзараи шаҳрӣ, шаҳрсозии хурд, шаҳҳои хурди меъморӣ, майдонҳои сабз.

## DEVELOPMENT AND FORMATION OF GREEN PLANTS ON THE TERRITORY OF SMALL TOWNS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Sadieva G.F., Mirzoeva F.Z.

This article deals with the problem of the features of the formation and solution of green spaces in the territory of small towns in our country.

In particular, given the productive awareness in the improvement of small towns refers to green spaces. In a hot climate, our country has its own natural and climatic features, socio-economic levels of development, and also has its own specific tasks for landscape organization - planting greenery in a residential area of populated areas. Today there are problems of complex reconstruction of cities and villages. In a number of these problems, there are also positive examples in the active landscaping of cities and villages to create favorable conditions for work and recreation for citizens and residents of rural settlements and their environment in the cities of Dushanbe, in Sughd and Khatlon regions, GBAO and a number of other cities and villages Republic of Tajikistan.

*Key words:* landscape, improvement, urban landscape, planning of small towns, small architectural forms, green spaces.

### Введение

Ландшафтная организация - зелёные насаждения (парки, скверы, сады, бульвары, аллеи), которые играют одну из важнейших ролей в планировке современной городской территории, существующих городов нашей страны, рассматриваемая как важный аспект в формировании озелененных зон малых городов, задаче организации пространств городской среды, создании гармоничного и нового решения исторических зон и территориальных объектов архитектурно-пространственной среды городов. За предыдущие десятилетия эта отрасль архитектуры достигла значительного преимущества в важной системе градостроительных задач.

Определив ландшафтную архитектуру как сферу организации озеленения, водного устройства и природного рельефа, композиционного построения архитектурно-ландшафтной среды, необходимо использовать современные методы в улучшении городского пространства, экологических закономерностей и в первую очередь воздушного бассейна городов Таджикистана, в том числе столицы города Душанбе. Итак, большая роль принадлежит крупным озелененным территориям в наиболее необходимых для этого частях городов. Эти территории в основном расположены в городской части и недалеко от пригородной зоны. Можно подчеркнуть, что для благоустройства города и ее ландшафтной организации необходимо более правильное и новое решение формирования

ландшафтно-озелененной системы, обводнения, внедрение возможностей использования традиционных и новых материалов. В городах необходимо рассматривать и вопросы сохранения исторической среды, сложившейся на протяжении веков, градостроительной планировки, архитектурного облика и особого национального колорита города, наилучших условий для организации культурного отдыха населения, гостей и туристов [1].

Один из основных приоритетов в разработке генеральных планов малых городов - необходимо предусмотреть полное удовлетворение требований, предъявляемых функциональным зонированием городского ландшафта и благоустройства, формирования озелененных территорий, включая комплекс ландшафтно-планировочных работ. Очень важно, чтобы благоустройство города обеспечивало комфортные и нормальные условия для человека и его окружающей среды обитания не только на перспективу, но и на каждом этапе развития города (рис.1).



Рисунок 1 – А-Б. Разработка фрагмента генпланов ландшафтным благоустройством.

### Объект исследования

Ландшафтная организация и благоустройство городов Республики Таджикистан – комплексное мероприятие по улучшению эстетической, санитарно-гигиенической, экологической городской среды в экстремальных условиях, связанных с высокой сейсмичностью территории, с климатическими особенностями региона, ограниченными зелеными насаждениями, водными поверхностями и др. Являются в первую очередь актуальной проблемой градостроительства, экологии и социально-экономического развития государства. Таким образом, так как наша страна солнечная и в летнее время бывает жарко необходимо организовать в городах и поселках больше озеленений и обводнений, посадку деревьев и кустарников, устройство газонов, цветников, водоемов и фонтанов, навесов и беседок. Благоустройство зоны парка, сада, бульвара, алей – зона тихого отдыха характеризуется естественным пейзажем, где зеленые насаждения должны занимать не менее 90% площади зоны. В дальнейшем необходимо изучить приемы и современные научные позиции в области ландшафтной архитектуры, в которой решением проблемы является учет факторов, комплексность, влияющие на формирование предметно-пространственной среды городских ландшафтов, историко-культурных традиций, методов научного и прогрессивного познания [2].

В малых и больших городах (Душанбе, города Согдийской, Хатлонской областей, ГБАО и ряде других городов) вырабатываются много факторов, неблагоприятных воздействий на требования жизни человека. Это такие факторы, к которым относятся: загрязнение атмосферы - воздушного бассейна промышленными и негативно влияющими на человека автотранспортными газами, а также высокий темп прироста населения. Все эти факторы вызывают неотложную потребность время от времени досуга жителей - людей в соответствующих или искусственно сформированных природных условиях. Совершенствование реалистичности в городе зависит от его планировочной организации, рационального и верного зонирования территорий для деятельности, уклада жизни и отдыха

населения. Для этого есть ряд зеленых насаждений, которые являются элементами зеленых участков города:

Общегородской парк культуры и отдыха (зеленые массивы по характеристике предназначены для наилучшего отдыха населения, обслуживания с организацией массовых мероприятий);

Районный парк (размещается в районном центре, имеет меньшую территорию, предназначен в целях лучшего использования природных условий для культурного и повседневного отдыха населения);

Сад микрорайона (размещается для обеспечения доступности проживающего населения для повседневного отдыха всех возрастных групп людей данного микрорайона, который состоит из двух зон – спортивно-игровой и зоны тихого отдыха);

Сад (представляющий собой массив зеленых насаждений, размещенный вокруг жилых домов, и является первичным элементом системы озеленения);

Бульвар (дорожно-тропиночная сеть с площадками обычно предусматривается как улучшенный маршрут пешеходного движения и кратковременного отдыха населения и служит связующим звеном между зелеными насаждениями различного назначения);

Сквер (обеспечение кратковременного отдыха посетителей спланированным удобным проходом, основных маршрутов движения на функциональные зоны участка небольшой зеленой территории) (табл. 1).

Таблица 1.

<b>Общегородской парк</b>	<b>Сад</b>
 <p data-bbox="215 1265 734 1332"><i>Рис. 2. Городской культурный парк Рудаки в г. Душанбе.</i></p>	 <p data-bbox="861 1265 1356 1299"><i>Рис. 3. Ботанический сад в городе Хороге.</i></p>
<b>Аллея/Бульвар</b>	<b>Сквер</b>
 <p data-bbox="199 1769 750 1836"><i>Рис.3. Ландшафтная организация территории ансамбля Сомони г. Душанбе.</i></p>	 <p data-bbox="893 1769 1324 1803"><i>Рис.4. Фрагмент городского сквера.</i></p>

Кроме перечисленных зеленых территорий, располагающихся в селитебной территории, вокруг каждого города создается пригородная зона, частью которой является лесопарковый защитный пояс, включающий лесолуговые и гидропарки, а также леса, отведенные для массового отдыха населения. В целом все эти элементы должны быть связаны между собой и создавать в совокупности единую

систему. При архитектурно-планировочном решении территории города необходимо стремиться к созданию таких условий, чтобы житель, выйдя из дома, мог пройти через сеть бульваров и скверов от микрорайонного сада до районного и городского парков и дальше попасть в лесопарковый защитный пояс [3].

В условиях современной урбанизации города следует сохранять естественность паркового искусства в среде обитания, разработать и формировать озелененные территории специального назначения, создать благоприятную жизненную среду для населения. В городах и малых городах нашей республики рациональное использование территории природно-ландшафтных ресурсов, создание мини-парков и садов рассматривается как выражение неразрывности человеческой культуры и природы. Таджикистан являющейся горной страной, где горные массивы высотой от 600 м до 7.495 м над уровнем моря занимают 93% общей территории республики, богата природными строительными материалами, как камень разных пород и расцветок, деревья, использование других традиционных материалов – бетона, металла, пластика, стекла, применяющиеся в интересном композиционном решении в оформлении городских парков и садов (рис.5,6). Создание парков и садов с использованием современных методов озеленения и ландшафтного дизайна выражает интенсивный поиск архитектурно-художественной выразительности, и этим заметно повышается роль оптимального использования территорий городов в горных условиях, характеризующихся малоземельностью и значительными уклонами рельефа [4]. Наша горная страна со своими природно-климатическими особенностями и социально-экономическим уровнем развития производства и расселения, формирования структуры перспективных населенных мест и задача архитектурно-планировочной организации сельских поселков городского типа имеет свою специфику [5], традиционные принципы композиции парков и садов.

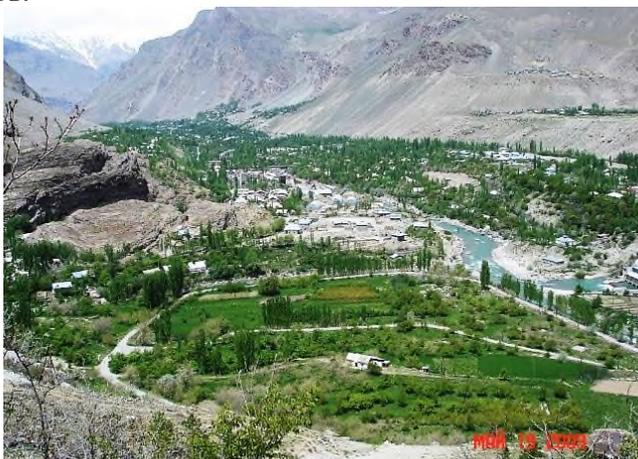


Рисунок 5 – Обзор города Хорог из Ботанического сада.

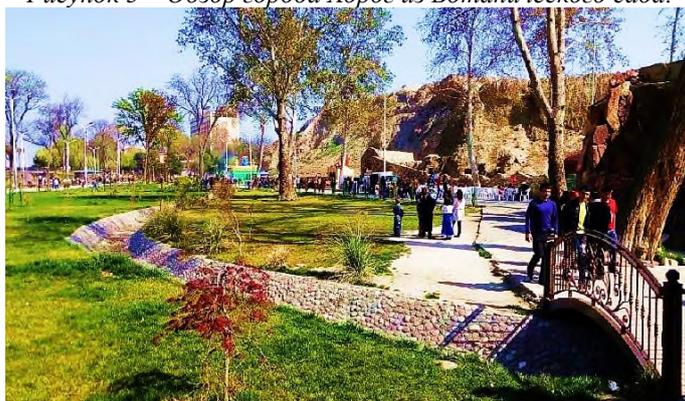


Рисунок 6 - Парк имени Камола Худжанди в городе Худжанде.

Следует понять, что ландшафтная организация и благоустройство - это гармония между урбанизацией и природой в целом, также необходимо всесторонне учитывать местный ландшафт, природно-климатические условия Таджикистана и сохранение благоприятной экологической атмосферы в городских территориях для комфортного пространства обитания и жизнедеятельности человека в окружающей среде.

Поиск современной практики новых средств архитектурно-художественной выразительности проектирования озелененных территорий городов республики показывает, что в этом русле происходят проблемы сохранения естественного, природного характера среды, соответствующие экстремальным

природно-климатическим условиям региона, глубокое знание истории и традиций ландшафтной архитектуры местности [2].

Для того, чтобы создать практичную и эстетичную организацию городского ландшафта и благоустройства на территории города, необходимо ландшафтными дизайнерами при проектировании не забывать о том, что основной задачей является создание практичной, эстетичной гармонии отдельных элементов благоустройства зоны жизнедеятельности человека с природой - это малые архитектурные формы (МАФ), размещаемые на территории малых городов, озеленение и оформление парков, городских улиц, скверов, рекреационных зон и зон отдыха, а также жилых микрорайонов и др., которые являются обязательными элементами градостроительства (рис. 7-8).

Пространством для многогранной деятельности человека, естественной средой является городская территория, местность, используемая для различных досугов, игровых процессов, организации массового отдыха, туризма. Таким образом, городская территория служит богатейшей природной средой, способствующей оздоровлению воздушного и водного бассейна и почвы.



*Рисунок 7 – Украшение участка. Основным направлением преобразования ландшафта являются малые архитектурные формы;*



*Рисунок 8 – Пергола в ландшафтном дизайне.*

В осуществлении всех этих функций важную роль выполняют жилые микрорайоны, населённые пункты, которые вместе с городами и поселками городского типа включаются в единую систему расселения. Проектирование любого элемента городской системы озелененных территорий на участке живописного природного ландшафта должно быть основано на предвидении сроков сохранности этого ландшафта в изменившихся условиях и на предложениях по его восстановлению или замене по мере «амортизации», сроки сохранности определяются исходя из устойчивости данного типа ландшафта [6] (рис. 9-10).



Рисунок 9-10. Эскиз проекта благоустройства микрорайона

Зелёные насаждения и создание садово-парковых территорий, скверов, уличных зеленых участков, крупных открытых озелененных пространств, рекреационных зон оживляют и защищают среду города и отдельные участки ее территорий, создают благоприятный микроклимат вокруг зданий и сооружений, окружающей среде жилых районов от негативных воздействий (рис.11,12).



Рисунок 11-12. Ландшафт окружающей среды территорий города Душанбе.

Ландшафтная организация и благоустройство в малых городах в зависимости от характеристики их использования и применения в плане подразделяются на 3 группы:

**Озеленения общего пользования** – различные зеленые территории парков культуры и отдыха;

- благоустройства бульваров и скверов;
- зеленые посадки садов;
- зеленые массивы жилого района;
- зеленая растительность уличных дорог и тротуаров;
- озеленение и обводнение участков административных и общественных зданий;
- в жилых зонах с многоквартирной застройкой домов в два и более этажей, при которых усадебные участки не отводятся.

**Благоустройство и озеленение ограниченного пользования** – озеленённые территории посёлка, малых и больших городов, где скверы, зеленые зоны размещаются при зданиях различных учреждений, больниц, общеобразовательных учреждений, детских садов, культурно-бытовых и коммунально-складских зданий на приусадебных и приквартирных участках, а также на территориях производственных комплексов, насаждения на магистральных дорогах, тротуарах и жилых улицах района и микрорайонов (рис.13, таблица 2).



Рисунок 13. Благоустройство сада жилого района.  
Таблица 2 – Благоустройство и озеленение территории



Рисунок 14 - Благоустройство и возведение ограждений



Рисунок 15 - Благоустройство территории и примеры укладки тротуарной плиткой улиц и дорог

**Защитные зеленые насаждения** – экологическое направление ландшафтной архитектуры, изучающее возможности использования в санитарно-защитной зоне между жилыми и производственными территориями, ветра и снегозащитной, водоохранной, а также противопожарной и защитно - мелиоративной, дорожной площади и посадки на кладбищах и участках-питомниках [7].

### Результаты исследования

Цель исследования ландшафтной архитектуры для градостроительства - составление специальных карт распределения природно-территориальных комплексов различных рангов и величин, концепции «зеленого образа», а также выявление современных методик ландшафтного дизайна, экологичности, бережного отношения и защиты окружающей среды как важного компонента, воплощающего в жизнь,

так называемых «зеленых проектов», взаимовлияние природного комплекса и урбанизированного пространства [4].

Основная цель развития организации ландшафта и благоустройства территорий малых городов предназначена для повышения комфорта жизни человека в домах, жилых районах, офисах, зданиях и учреждениях. Создание благоприятных комфортных условий для нахождения и проживания в быту особенно актуально для жителей городов. Особо актуальным является разработка основ окружающей среды, природоохранных принципов и природно-климатических факторов,

В природоохранном плане в теории ландшафтной архитектуры особо актуальной является разработка основ управления преобразованием окружающей среды. При разработке ландшафтной архитектуры территории республики необходимо учитывать целый комплекс вопросов, связанных с социальными, экономическими, градостроительными, композиционными, природно-климатическими и многими другими факторами. Основную задачу в решении социально-экономического вопроса, входящую в состав комплексных градостроительных задач, можно сформулировать следующим образом: преобразить страну, облагородить ее природу по законам красоты, на научной основе, руководствуясь художественным вкусом и чувством меры, решить проблемы архитектурно-ландшафтной среды и организации пространства [12].

Следует отметить, что сегодня назрела необходимость приступить к осуществлению нового этапа развития малых городов с тем, чтобы на основе вновь разработанного генерального плана предусматривалось широкое использование в городском строительстве новейшей технологии (сад как часть климатических нейтральных зданий).

При минимальном количестве зеленых насаждений сады, скверы, площади нередко проектируются, как полифункциональные пространства для различных видов деятельности: наибольшее распространение получает система специализированных садов, парков, улиц, площадей, участков жилой застройки для определенной социально-демографической группы населения. Специализация пространств в городской среде в процессе реконструкции обуславливает применение специфических приемов озеленения и благоустройства, подчеркивающих функциональное назначение реконструируемых участков. В связи с активным использованием подземного пространства в городах возникла необходимость комплексного проектирования малых форм, элементов рекламы и информации, озеленения в открытых и закрытых пространствах [8].

Согласно принятым в законе «Градостроительный кодекс Республики Таджикистан» понятиям, создание комплексно озелененной и благоустроенной территории достигается «...путем проведения на ней одного или нескольких видов (комплекса) работ, предусматривающих ее ландшафтно-планировочную организацию, в том числе:

- пластическую организацию рельефа (при необходимости);
- озеленение;
- архитектурное освещение отдельных элементов и объектов благоустройства в целом;
- формирование колористического решения отдельных элементов и объектов благоустройства в целом;
- размещение (установка) малых архитектурных форм;
- размещение (установка) объектов городского дизайна, визуальной коммуникации и информации, произведений и монументального искусства и т.п.» [2].

При изучении и обследовании городской территории и составлении характеристики ее ландшафтных качеств первостепенная роль должна отводиться изысканию территорий, обладающих реальными качествами или потенциальными возможностями для создания на них крупных элементов городского ландшафта, а также резервированию указанных территорий в генеральном плане города. При этом ландшафт города следует рассматривать в качестве природно-антропогенной единицы, а не только природной, так как последняя претерпевает в условиях современной урбанизации значительные структурные изменения [4]. Важнейшей задачей проекта является создание полноценного архитектурного ансамбля, четко организованного - увязанного с характером прилегающих территорий в современном их состоянии по проектным наметкам.

Рациональное использование земель и зонирование территорий городов и поселений определяется микроклиматом, природным состоянием рельефа и почвы, зелёных насаждений.

С ростом городов и сел, а также промышленности ситуация охраны окружающей среды превращается все в более интересное создание благоприятных условий для функционирования деятельности человека. В предшествующие годы увеличилось неблагоприятное положение людей на окружающую среду, а также, в частности, на зелёные насаждения. Подобное направление - положение деградации зелёных массивов (городских парков, лесов, садов) - одна из важнейших экологических задач в городских агломерациях.

### Заключение

В настоящее время активно развивается организация создания природного и искусственного ландшафта, которая связана непосредственно с архитектурным пространством окружающей среды обитания человека и живой природы. Воссоздание и цель проектировщиков - это принятие гораздо активной деятельности в преобразовании пространств, в которых необходимо учитывать вышеизложенное в решении проектирования. Эти тенденции могут практически четко оказать влияние на особенности проектов планировки, на степень проектирования организации ландшафта и благоустройства, а для создания наиболее практичной ландшафтной среды нужны будут специалисты с обширной эрудицией.

### Литература

1. Мирзоева Ф.З. Формирование градостроительной среды города Душанбе: традиция и современность. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №4 (44) - 2018. -С 221.
2. Исмаилов М. М. Особенности ландшафтной организации и благоустройства территорий городов в особых условиях Республики Таджикистан, 2020. -С.138.
3. Рубцов Л. И. Проектирование парков и садов -М.: Стройиздат, 1973. -С. 146-147.
4. Григорян А. Г. Ландшафт современного города. -М.: Стройиздат, 1986. - С. 58.
5. Акбаров А.А. Особенности планировки и застройки сельского поселка в условиях Таджикистана: Учебное пособие. -Душанбе «Эр-граф», 2012.
6. Залеская П. С., Микулина, Е.М. Ландшафтная архитектура. -М. Стройиздат, 1979. -С.75.
7. Кончуков Н.П. Планировка сельских населенных мест. Издательство «Высшая школа»,1979. -С.189.
8. Машинский В.Л., Залогина Е. Г. Проектирование озеленения жилых районов. -С.22.
9. Исмаилов. М.М. Особенности ландшафтной организации и благоустройства территорий городов в особых условиях Республики Таджикистан. -С. 140.
10. Исмаилов М.М. Особенности ландшафтной организации и благоустройства территорий городов в особых условиях Республики Таджикистан. -С.11.
11. Григорян А. Г. Ландшафт современного города, -М.: Стройиздат 1986. -С.131.
12. Мирзоева Ф.З., Садиева Г.Ф., Принципы и методы ландшафтной организации и благоустройства в формировании территории городов. Политехнический Вестник №2(54), 2021. -С.167.

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

TJ	RU	EN
Мирзоева Фируза Зокировна	Мирзоева Фируза Зокировна	Mirzoeva Firuza Zokirovna
номзади меъморӣ, дотсенти кафедраи «Меъморӣ ва шаҳрсозӣ», профессори Академияи байналмиллалии меъморӣ дар Москва Евразия	кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство», профессор МААМ Евразия.	PhD in Architecture, Associate Professor of the Department of «Architecture and urban planning», IAAM Professor Eurasia.
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ.	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.C.Osimi
firuza.l@mail.ru		
TJ	RU	EN
Садиева Гулсара Фаттоевна	Садиева Гулсара Фаттоевна	Sadieva Gulsara Fattoevna
Ассистент ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	Ассистент ТТУ имени академика М.С. Осими	Assistant TTU named after Academician M.S. Osimi

УДК 53.05 + 626

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТА «БЕТОН - СКАЛА» В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА

Сафарова М.М.<sup>1</sup>, Хайруллозода Н.Дж.<sup>2</sup>, Давлатшоев С.К.<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Предупреждение риска чрезвычайных ситуаций в гидротехнических сооружениях и предотвращение техногенных катастроф всегда являлось актуальной задачей. Небольшие затраты на исследование состояния сооружения и проведения профилактических мероприятий позволяют на порядки уменьшить экономический ущерб и избежать человеческие жертвы. Наиболее актуальным и наименее затратным является обнаружение, исследование и определение границ начальной стадии разрушения различных конструкций. Одна из основных задач методов неразрушающего контроля в гидротехническом строительстве – оценка качества контакта «бетон-скала» подземных сооружений и локализация областей отсутствия контакта. Традиционные методы обследования (ультразвуковые или сейсмоакустические), использующие кинематические характеристики сигналов, оказываются совершенно неэффективными при решении такой задачи. В результате возникла необходимость разработки нового метода, использующего динамические характеристики сигналов, а в качестве модели среды – мембраны и пластины неправильной формы.

**Ключевые слова:** контроль, бетон, скала, отклик, неразрушающий контроль, обделка, контакт, сигнал, среда, мембрана, регистрация, колебания.

## RESEARCH OF THE "CONCRETE - ROCK" CONTACT IN UNDERGROUND STRUCTURES BY THE DYNAMIC RESPONSE METHOD

Safarova M.M.<sup>1</sup>, Khairullozoda N.J.<sup>2</sup>, Davlatshoev S.K.<sup>1</sup>

Prevention of the risk of emergency situations in hydraulic structures and prevention of man-made disasters has always been an urgent task. The low cost of researching the state of the structure and carrying out preventive measures can reduce economic damage by orders of magnitude and avoid human casualties. The most relevant and least costly is the detection, investigation and determination of the boundaries of the initial stage of destruction of various structures. One of the main tasks of non-destructive testing methods in hydraulic engineering is to assess the quality of the "concrete-rock" contact of underground structures and localize areas of no contact. Traditional survey methods (ultrasonic or seismoacoustic), using the kinematic characteristics of signals, turn out to be completely ineffective in solving such a problem. As a result, it became necessary to develop a new method using the dynamic characteristics of signals, and membranes and irregularly shaped plates as a model of the medium.

**Key words:** control, concrete, rock, response, non-destructive testing, lining, contact, signal, medium, membrane, registration, vibrations.

## ТАДҚИҚОТИ АЛОҚАИ АЛОҚАИ «БЕТОН – ЉИСМӢОИ КӢӢӢ» ДАР ИНШООТӢОИ ЗЕРИЗАМИНӢ БО УСУЛИ ҶАВОБИ ДИНАМИКӢ

Сафарова М.М.<sup>1</sup>, Хайруллозода Н.Дж.<sup>2</sup>, Давлатшоев С.К.<sup>1</sup>

Пешгирии хавфи ҳолатҳои фавқуллода дар иншооти гидротехники ва пешгирии офатҳои техногенӣ ҳамеша вазифаи таъхиринопазир буд. Арзиши ками таҳқиқи ҳолати иншоот ва гузаронидани чораҳои пешгирикунада метавонад зарари иқтисодиро миқёсан якчанд маротиба коҳиш диҳад ва аз талафоти одамон ҷилавгирӣ кунад. Аз ҳама мувофиқ ва арзонтарин ин ошкор кардан, тафтиш ва муайян кардани ҳудуди марҳилаи ибтидоии харобшавии конструксияҳои гуногун мебошад. Яке аз вазифаҳои асосии усулҳои озмоиши харобнашаванда дар сохтмонҳои гидротехники – баҳодиҳии сифати алоқаи "бетон-љисмҳои кӯӣ" дар паси конструксияи оғанубетонии иншооти зеризаминӣ ва маҳаллисозии минтақаҳои бе алоқа мебошад. Усулҳои анъанавии тадқиқот (ултрасадо ё сейсмоакустикӣ) бо истифода аз хусусиятҳои кинематикии сигналҳо дар ҳалли чунин мушкилот қомилан бесамаранд. Дар натиҷа, зарурати таҳияи усули нав бо истифода аз хусусиятҳои динамикии сигналҳо ва мембранаҳо ва зарринҳои номунтазами шакли модели миёнаравӣ пайдо шуд.

**Калидвожаҳо:** назорат, бетон, санг, воқуниш, озмоиши харобнашаванда, конструксияи оғанубетонӣ, алоқа, сигнал, муъит, мембрана, сабт, ларзиш.

### Введение

Машинный зал Рогунской ГЭС имеет пролет 21 м, высоту 70 м, длину 220 м. Параллельно ему на расстоянии 63 м в осях расположено помещение трансформаторов с пролетом 19 м, высотой 37 м и длиной 182 м [1, 2].

В подземных камерах большого размера на примере машинного зала Рогунской ГЭС стены подвергаются огромным гравитационным и тектоническим давлениям, которые приводят к конвергенции (сближению) стен. Необходимо отметить, что реакция массива на разработку машинного зала не ограничивается процессами разуплотнения и последующего уплотнения массива. Одновременно с этим происходит конвергенция стен выработки. Интенсивность и длительность конвергенции существенно различны в песчаниках и алевролитах [1, 2].

Основной проблемой строительства подземного сооружения является обеспечение устойчивости выработок, взаимодействующих с вмещающим массивом горных пород вокруг них.

Устойчивость железобетонной обделки и горные породы вокруг них зависит от их физико-механических свойств и контакта бетон-скала.

Устойчивость подземных выработок зависит от прочностных свойств железобетонной обделки и действующих на них соответствующих нагрузок горных пород. Устойчивость подземных сооружений контролируется путём визуальных наблюдений и инструментальных измерений деформаций и напряжений железобетонной обделки, а также с помощью методов акустической диагностики. Устойчивость также зависит от прочности железобетонной конструкции. Контроль величины прочности элементов подземного сооружения определяется путем разрушения образцов или участков железобетонной обделки, а это недопустимо в реальных действующих объектах.

### Постановка задачи

В самом начале строительства подземных выработок при проектировании подземных туннелей руководствовались эмпирическими правилами, а позднее начали изучать прочностные, упругие и пластические свойства скальных пород. Ещё позднее обращали внимание на напряженное состояние и деформацию массива вокруг подземных выработок и её взаимодействие с железобетонной обделкой, в том числе вокруг напорных и безнапорных туннелей. Дальнейшее освоение подземного пространства привело к разворачиванию строительства крупногабаритных подземных сооружений различного назначения. Это способствовало дальнейшему развитию аналитических способов расчета напряженно-деформированного состояния вмещающего массива и развития методов акустической диагностики.

В связи с тем, что происходит постепенное разрушение горных пород и потеря устойчивости железобетонной конструкции подземных выработок с течением времени для успешного обеспечения устойчивости необходим мониторинг прочности элементов подземного сооружения. В связи с этим разработка методов и аппаратуры контроля контакта бетон-скала является актуальной задачей.

Одна из основных задач методов неразрушающего контроля в гидротехническом строительстве – оценка качества контакта «бетон-скала» за обделкой подземных сооружений и локализация областей отсутствия контакта. Традиционные методы обследования (ультразвуковые или сейсмоакустические), использующие кинематические характеристики сигналов, оказываются совершенно неэффективными при решении такой задачи. В результате возникла необходимость разработки нового метода, использующего динамические характеристики сигналов, а в качестве модели среды - мембраны и пластины неправильной формы. Схемы обследования подземных сооружений Рогунской ГЭС представлены на рис.1 и 2.

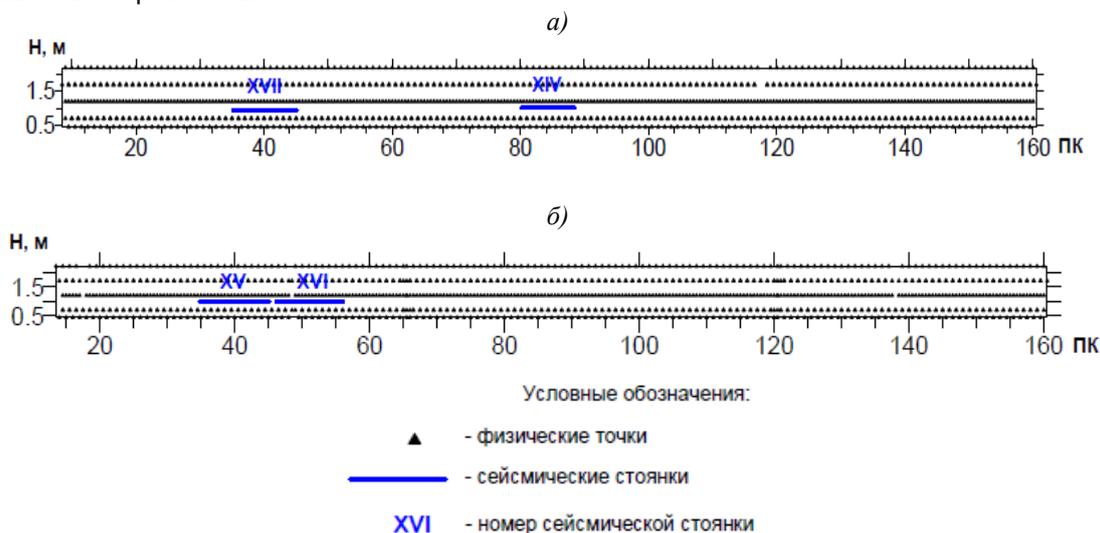
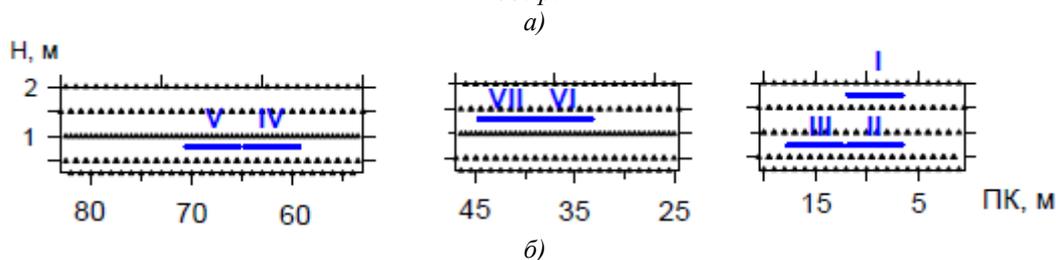


Рисунок 1 – Схема наблюдения: а) Машинный зал, стена нижнего бьефа; б) Машинный зал, стена верхнего бьефа.



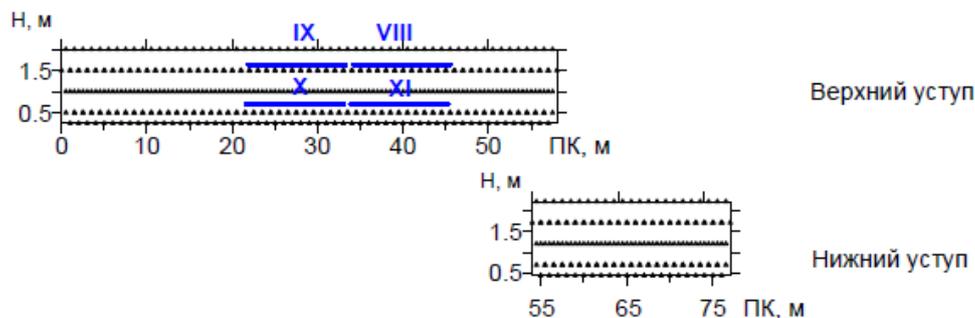


Рисунок 2 – Схема наблюдения: а) Трансформаторное помещение, верхний бьеф, нижний уступ; б) Трансформаторное помещение, нижний бьеф

**Метод динамического отклика (МДО) и обработка данных.** В основе метода динамического отклика (МДО) лежит различие в динамике реакции среды на импульсное воздействие при наличии или отсутствии контакта «бетон-скала» [3, 4]. Под динамикой реакции среды понимается частотный состав, длительность и другие характеристики изменения во времени смещения поверхности, вызванного импульсным, то есть кратковременным усилием (механическим ударом, взрывом, электромагнитным импульсом и т.п.). Кратковременным усилием является по сравнению с периодом собственных колебаний обследуемого участка конструкции. Колебания облицовки регистрируются с помощью размещенных на ее поверхности датчиков скорости смещения (сейсмоприемников).

Обследование методом динамического отклика разделяется на три этапа: измерения (подготовительные работы, возбуждение колебаний, регистрация сигнала), обработку результатов (преобразование зарегистрированного сигнала и соответствующей базы данных в удобную для интерпретации форму) и их интерпретацию (решение обратной задачи, истолкование результатов решения, оформление полученных результатов в виде карт областей отсутствия контакта «бетон-скала»). Примеры сейсмограмм, регистрируемых на участках качественного контакта и неудовлетворительного контакта бетона с вмещающим массивом, приведены на рис. 3.

Интерпретация данных метода динамического отклика основана на существенном различии механизмов колебаний дефектных и нормальных участков конструкции, что сказывается на форме и ряде параметров зарегистрированного сигнала. При отображении результатов измерений на n-мерное пространство параметров сигнала участки с различными механизмами колебаний образуют компактные, практически непересекающиеся области. Из-за сложности и разнообразия дефектов контакта «бетон-скала» на первый план в ходе интерпретации выходит задача идентификации, то есть выделение однотипных классов объектов, их пространственная локализация и определение характеристик полостей (геометрических параметров и физико-механических свойств заполнителя) для каждого из выделенных классов объектов в отдельности. В такой постановке наиболее эффективно интерпретация осуществляется не в рамках классических подходов, а с помощью методов "распознавания образов". Особенностью МДО является то, что для идентификации и оконтуривания неоднородностей заоблицовочного пространства используется не отдельно взятый параметр колебаний поверхности (скорость смещения, частота, длительность, время распространения или другой), а совокупность параметров.

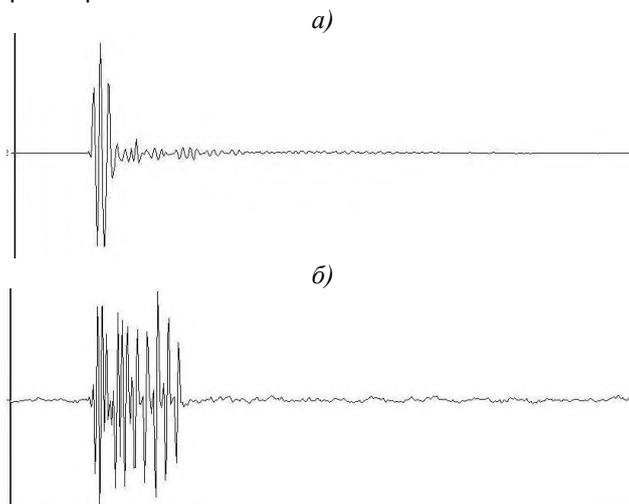


Рисунок 3 – Пример зарегистрированных сейсмограмм: а) на участке качественного бетона; б) в аномальной области.

Результаты экспериментов показали, что в пространстве параметров сигнала участки конструкции с различным механизмом колебаний образуют линейно разделяемые области – кластеры. Идентификация кластеров, то есть определение их принадлежности к ненарушенным участкам конструкции или к участкам проявления дефектов, может производиться как при наличии эталонов (например скважин) или их отсутствии. В последнем случае требуются дополнительные расчеты прямой задачи, например, оценка частотного состава колебаний.

**Методика измерений и аппаратура.** Возбуждение колебаний выполнялось ударом кувалды массой около 6 кг. Для регистрации колебаний использована цифровая сейсмостанция “Лакколит-24М” (фирма ЛОГИС) и геофон (велосиметр) электродинамического типа. Конструктивно эта сейсмостанция состоит из двух блоков: блока регистрации (собственно сейсмостанции) и блока управления (персонального компьютера – ноутбука).

Исследования выполнены по равномерной сетке с шагом 1 м между измерительными точками на профиле и с ударами на удалении 0,25/0,5м. На каждой из стен работы велись на двух параллельных профилях, расстояние между которыми составляло 1 м. В трансформаторном помещении выполнено 1207 физических точек, на стене машинного зала в сторону верхнего бьефа сделано 1167 физических точек, а на стене машинного зала в сторону нижнего бьефа – 1209. Всего по всем участкам сделано 3583 точек МДО.

### Результаты исследований МДО

Наибольшая плотность выделенных аномалий отмечается в интервале пикетов ПК42-ПК50 и ПК140-ПК152 по стене НБ машинного зала, ПК по стене ВБ машинного зала ПК38-ПК58 по стене НБ трансформаторного помещения, ПК19-ПК22 по стене ВБ трансформаторного помещения. Участки повышенной плотности аномалий показаны на рис.4 и 5.

Из построений видно, что выделенные области во многих случаях коррелируются с визуально наблюдаемыми участками водопроявлений (капезом, намоканием и признаками выщелачивания), а, иногда, и с крупными трещинами. В качестве примеров можно привести:

по верховой стене машинного зала ПК 0+30, ПК0+62, ПК1+30;

по низовой стене машзала ПК30, ПК 35, интервал ПК0+45 - 0+65, ПК 1+25;

по верховой стене трансформаторного помещения ПК0+80, интервал ПК 0+60 – ПК 0+70, интервал ПК 0+25 – ПК0+50.

По низовой стене трансформаторного помещения аномалии МДО не проявлены на поверхности бетона. Этот факт может объясняться сложившейся гидрогеологической ситуацией. Конфигурация выделенных аномалий разнообразна, что связано с их различным генезисом. Так в трансформаторном помещении преобладают узкие субвертикальные неоднородности – предположительно связанные со способом укладки бетона. Стены машинного зала характеризуются диагональными аномалиями изометрической формы, что, по-видимому, объясняется более интенсивными, чем в трансформаторном помещении деформационными процессами.

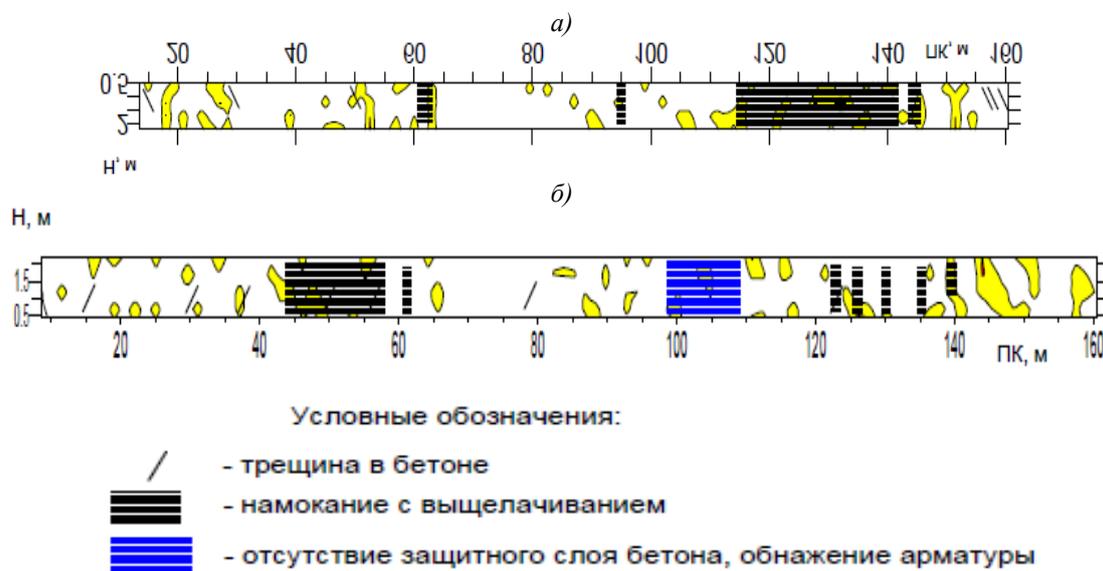


Рисунок 4 - Результаты МДО: а) Машинный зал, верховая стена; б) Машинный зал, низовая стена

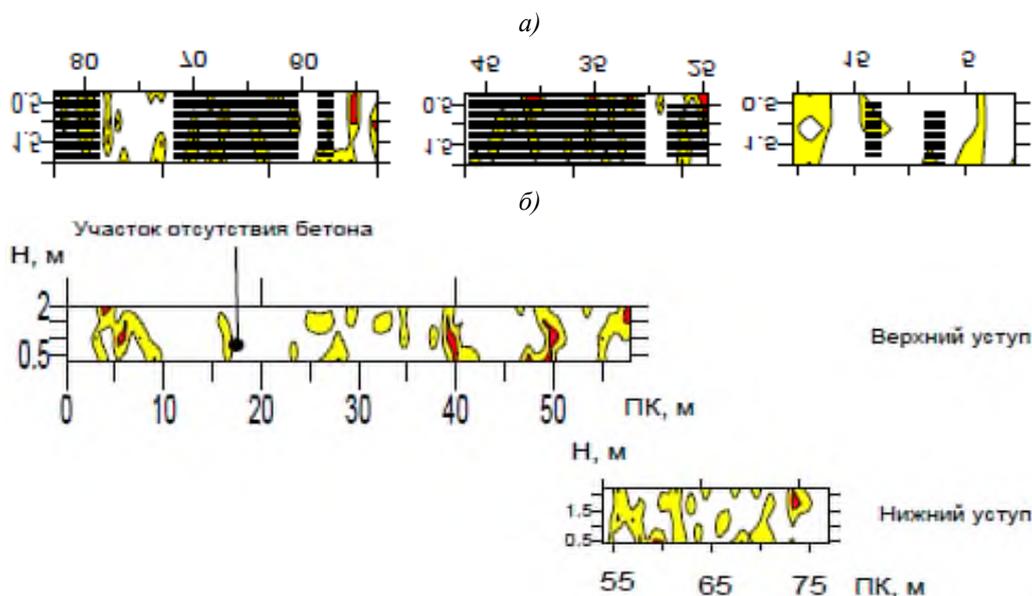


Рисунок 5 - Результаты МДО в Трансформаторное помещение: а) верховая стена; б) низовая стена

Интересно, что результаты ультразвукового профилирования по поверхности бетона часто указывают на высокие значения скоростей упругих волн даже для аномальных участков. В целом этот эффект объясняется тем, что результаты ультразвуковых исследований характеризуют качество бетона отделки, а данные МДО – качество контакта бетона с массивом. Возможны и эффекты, связанные с различными проявлениями напряжений. Например, на ПК 24-34 стены НБ выработки машинного зала, где визуально отмечаются проявления трещиноватости и регистрируются аномалии контакта-бетон скала по данным МДО, имеют место повышенные значения анизотропии скоростей упругих волн ультразвукового диапазона (при среднем  $V_p=4.2\text{ км/с}$ ). В комплексе рассмотренные признаки указывают на аномальные проявления напряженно-деформированного состояния бетонной конструкции.

Полученные данные позволяют выявить области полного или частичного отсутствия контакта бетон – скала. Схема этих областей может стать основой для разработки и проведения инженерных мероприятий по улучшению контакта конструкции крепи с массивом.

### Выводы

Полученные данные МДО позволяют выявить области полного или частичного отсутствия контакта бетон – скала. Схема этих областей может стать основой для разработки и проведения инженерных мероприятий в виде укрепительной цементации по улучшению контакта конструкции крепи с массивом.

Метод динамического отклика можно использовать как экспресс-метод для предупреждения появления риска чрезвычайных ситуаций в гидротехнических сооружениях и предотвращать техногенные катастрофы.

### Литература

1. Давлатшоев С.К. Исследование качества цементационных работ вмещающего массива подземных сооружений ультразвуковым методом. Гидротехническое строительство, №4, 2020. –С. 2-7.
2. S. K. Davlatshoev. Ultrasound study of the quality of consolidation grouting works retaining rocks in underground structures. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 3, September, 2020. Pp. 332-336. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01211-0>
3. Савич.А.И., Способ исследований строительных конструкций, авторское свидетельство №97104438 от 28.03.1997г.
4. Козлов О.В. Разработка метода динамического отклика для оценки контакта бетон-скала в гидротехнических тоннелях. Автореферат диссертации. Москва, 1997. -120 с.

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

TJ	RU	EN
<b>Сафарова М.М</b>	<b>Сафарова М.М</b>	<b>Safarova M.M.</b>
Унвонҷӯ	Соискатель	Applicant
Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology NAST	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST
<i>Mavjudam87@mail.ru</i>		
TJ	RU	EN
<b>Хайруллозода Н.Дж.</b>	<b>Хайруллозода Н.Дж.</b>	<b>Khairullozoda N.J.</b>
Докторант PgD	Докторант PgD	Doctoral student of PgD
Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology NAST	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST
<i>Nizomiddin_92@mail.ru</i>		
TJ	RU	EN
<b>Давлатшоев С.К.</b>	<b>Давлатшоев С.К.</b>	<b>Davlatshoev S.K. -</b>
н.и.т. мудири озмоишгоҳҳо	к.т.н. заведующий лабораторией	Ph.D
Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology NAST	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the NAST
<i>salomatda@list.ru</i>		

УДК 72.04 (575,3)

## ПРИМЕНЕНИЕ И РЕШЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ОРНАМЕНТА В АРХИТЕКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ТАДЖИКИСТАНА

Эмомова Ф.Ё.

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

В статье описываются применение национального орнамента в архитектуре современного Таджикистана, проблемы взаимосвязи архитектуры и искусства, которые сформировали определённые стили и влияние на окружающий мир. Важным аспектом является влияние архитектурной среды на человека, формирует его внутреннее мироощущение во взаимодействии орнаментов, декоративных элементов, стилей и цвета. Развивает духовность, этику, нравственность, единую культурную среду и формирует воспитательное воздействие на человека в целом.

Исследование и анализ исторических городов и районов Таджикистана, его кишлаков и сельских населённых мест позволит возродить и использовать мастерство ремесленников, художников с новым смыслом и пользой во всех видах искусства, где архитектура окажется интересной с точки зрения дизайнера, дополняя идею автора национальным колоритом.

**Ключевые слова:** архитектура, искусство, взаимосвязь, архитектурная среда, материал, возрождение, народные промыслы, районы, города.

## ТАТБИҚ ВА ҲАЛЛИ ОРОИШИ МИЛЛӢ ДАР МЕЪМОРИИ ТОҶИКИСТОНИ МУОСИР

Эмомова Ф.Ё.

Дар мақола истифодаи ороиши миллӣ дар меъморӣ Тоҷикистони муосир, мушкilotи робитаи меъморӣ ва санъат, ки услубҳои муайян ва таъсир ба муҳити атрофро ташкил додаанд, байён шудааст. Чанбаи муҳим ин таъсири муҳити меъморӣ ба инсон аст, ки ҷаҳонбинии ботинии ӯро дар таъсири мутақобилаи ороишҳо, унсурҳои ороишӣ, услуб ва рангҳо ташкил медиҳад. Маънавият, ахлоқ, муҳити ягонаи фарҳанги инкишоф дода, ба инсон таъсири тарбиявиро ташаккул медиҳад.

Омузиш ва таҳлили шаҳру навоҳии таърихӣ Тоҷикистон, деҳот ва шаҳракҳои деҳоти он имкон медиҳад, ки маҳорати ҳунармандон, рассомон бо мазмуну манфиатҳои нав дар тамоми намудҳои санъат эҳё ва ба истифода дода шавад, ки меъморӣ ва тарҳрезии он ҷолиб бошад. Инчунин истифодабарии рангҳои хоси миллӣ мукамал ба истифода дода шавад.

**Калимаҳои калидӣ:** меъморӣ, санъат, алоқаи байнихамдигарӣ, муҳити меъморӣ, моддӣ, эҳёи ҳунарҳои халқӣ, районҳо, шаҳрҳо.

## APPLICATION AND SOLUTION OF THE NATIONAL ORNAMENT IN THE ARCHITECTURE OF MODERN TAJIKISTAN

Emomova F.E.

The article describes the use of national ornament in the architecture of modern Tajikistan, the problems of the relationship between architecture and art, which formed certain styles and influence on the world around. An important aspect is the influence of the architectural environment on a person, which forms his inner worldview in the interaction of ornaments, decorative elements, styles and colors. It develops spirituality, ethics, morality, a single cultural environment and forms an educational impact on a person as a whole.

The study and analysis of historical cities and regions of Tajikistan, its villages and rural settlements will allow to revive and use the skills of artisans, artists with a new meaning and benefit in all types of art, where architecture will be interesting in terms of design, complementing the author's idea with national color.

**Key words:** architecture, art, interconnection, architectural environment, material, revival, folk crafts, districts, cities.

**Введение:** Любое архитектурно-художественное произведение, и даже то, которое создано мгновенно, представляет собой определённую структуру, где все элементы связаны между собой и определяются законами. Не всегда осознаваемые при непосредственном восприятии как внешнего, так и внутреннего пространства за счёт декоративных элементов с национальным направлением имеет законченную форму и суть. Поэтому необходимо выявить основные методы и приёмы восприятия архитектурно-художественного образа, которые позволили бы выявить и понять современные тенденции взаимосвязи архитектуры-искусства-традиции. Именно увязать с национальным колоритом, что будет подчёркивать индивидуальность города и страны за счёт художественного дизайна его национального орнамента, символа, подчёркивая яркость цвета и стиля.

**Материалы и методы:** Архитектура и искусство. Изобразительное искусство – живопись, скульптура, графика, фотография, монументальное искусство. Неизобразительное – архитектура, дизайн, декоративно - прикладное искусство. [3] Грань между этими искусствами не абсолютна, существуют смешения и взаимопроникновения в поиске произведения. Стремление к гармонизации общественного бытия закономерно повышает роль архитектуры как искусства. Анализируя колорит в общем, по цветам определяем те цвета и стили, которые преобладают в национальных традициях и орнаментах таджикской культуры. Это может быть взято из жизни народа, например: одежда, украшения, кухонные принадлежности. (Рисунок1). С дальнейшим применением в архитектурно – художественных объектах, на фасадах и интерьерах, также в деталях и элементах.



Рисунок 1 а) Фото ковра - вышивка чакан, г. Худжанд, Музей этнографии в г. Душанбе. б) Интерьер жилого помещения с использованием национальных элементов и вышивки, в) использование национального орнамента в архитектурных формах и элементах.

Главная задача взятого направления - разработать необходимые направления, способы, приёмы, которые будут способствовать выявлению и применению структуры. Исследуемая структура позволит обновить понятия фронтальной композиции как на фасаде здания, так и на развёртке нескольких фасадов и интерьера. Необходимо зафиксировать результаты на практике, применяя определённые методы смещения форм, орнамента, цвета и национального стиля, что позволит применять этот анализ для решения более сложных задач в плане архитектуры и объёмно-планировочных решений. Например, измеряя здания и получая в результате этих измерений определённые данные, получаем представление его пропорции и масштаб, тем самым определяем его художественную структуру и объём и назначение. Например, обмеры и исследования музея в г. Худжанде, где были изучены фрагменты орнаментации фасада мавзолея, в дальнейшем для применения входных дверей, обрамления оконных проёмов и для украшения фасада (рисунок 2).



Рисунок 2 – Фрагменты орнаментации фасада г. Худжанд, розетка из мрамора, применение на фасаде и в интерьере здания музей г. Худжанд.

Следующий пример и идея применения орнаментов использовались в конкурсном проекте скульптурно-архитектурного комплекса, посвященного любви матери: «Мехри Модар», в Ботаническом саду города Душанбе. В данном проекте применён вариант, где структурно сопровождается перечень сооружений, который должен присутствовать в эскиз-проекте:



Рисунок 3 – а) Знак периода правления Саманидов, б) Эскиз-проект ген. план с применением исторических элементов, в) Эскиз-проект архитектурного решения комплекса Мехри Модар.

Арка, Ротонда с символическими элементами

Подиум-постамент

Скульптура (по центру на подиуме)

Каменный ступенчатый настил

Озеленение с фонтанами (кругом, полукругом за скульптурой)

Описание проекта, обозначение, символ с использованием во внешнем оформлении арки, ротонды:

1. Арка: Символ неба, небес, космоса (мира, вселенной), «моста, соединяющего землю, мир, человека со вселенной», связи людей с миром.

2. Семиконечная звезда (один из наиболее ярких, многозначных знаков периода правления саманидов): Этот знак периода V-VI в.в. относится к числу наиболее редко использовавшихся. Представляя ценность не только с точки зрения изобразительного искусства, но и в семантическом отношении, в архитектуре Древнего Востока он считался одним из наиболее сложных геометрических фигур. В основном прослеживается в строениях исламских стран, входивших в саманидский султанат. Семь дней месяца лунного летоисчисления, семь светил вселенной и т.д., и вообще эта звезда считается таинственной и магической: это символ большой духовной силы, символ космоса и семи уровней небес. Исходя из этой идеи, в качестве символа огромной философской силы и мысли в верхней центральной фасадной части арки, соответственно, вертикальной оси скульптуры матери установлен указанный знак. 3. Солнце и Луна по бокам фасада арки. Солнце - символ небесного огня, космической энергии. Луна – выражает красоту и привлекательность внешнего облика и внутреннего мира, матери. (Особенно) на Востоке луна - самое красивое, романтическое «ночное» светило среди мириад звёзд. В настоящем проекте Солнце и Луна в совокупности символизируют вечность вселенной, бесконечность жизни, выраженных сменой дня и ночи, света и тьмы, непрестанной борьбой добра и зла.

4. Звёзды: В проекте символизируют бесконечный космос, вселенную, состоящую из миров и галактик, многообразие жизненной философии, величие и полёт мысли, а также земную славу.

5. Древо Жизни («Мировое Древо»). Это самый сложный для понимания символ. Сложный, поскольку в нём содержится колоссальная информация о том времени, когда люди воспринимали мир иначе, чем нынешние поколения. Сегодня разумные обитатели планеты Земля способны видеть мир трёхмерным – неполным, потому что существуют гипотезы о существовании четвёртого, пятого... седьмого измерений. В имеющихся в распоряжении человечества графических изображениях Мирового Древа восьми лучевой Коловрат символ Солнца, решетчатые ромбы знаки Земли, трилистник – символ мудрости. Мировое Древо прежде всего символ неиссякаемого источника жизни и согласно преданиям старины растёт оно корнями вверх. Древо Жизни олицетворяет Вселенную в постоянном её возрождении. Мировое Древо – это символ, условно объединяющий понятия о пространстве и времени; представляет собой абсолютную мудрость и бессмертие, следовательно, является Древом Жизни.

6. Четыре круга - символы жизненного пути человека, формирования и совершенствования. Ступеньки в данном случае выражают уровни становления и совершенствования: первый уровень (1) - освоение мирских знаний и наук того времени, вторая ступень или второй уровень (2) – формирование как поэта и начало плодотворного творчества, третий уровень - (3) творческий подъём и отточенность слога и пера, четвёртый уровень - достижение высшего поэтического мастерства, приобретение жизненного опыта, мудрости, поднятие на высший пьедестал в своем ремесле. Четыре узких (выделенных специальным) цветом ступенек, по четыре стороны скульптуры обозначают: а) четыре стороны света, в которых прославился поэт. б) согласно исламской философии того времени существовало представление, что мир состоит из **четырёх стихий** – воды, земли, огня и воздуха и подвластен воле Солнца, Луны и планет Сатурн, Юпитер, Марс, Венера, Меркурий. в) кроме того, упомянутые ступеньки являются символом четырёх качеств. Идею использования кругов и ступенек в качестве многозначных символов можно резюмировать следующим образом: все четыре составляющие стихии (разумеется символически) искра (**огонь**); (**земля**); (**вода**); (**воздух**);

7. Скульптура матери, установленная на постаменте в форме круга (круг, одновременно с другими обозначениями - символ земли, планеты Земля). Архитектурная идея - осуществить все философские мысли, связанные с матерью, страной и Родиной: «В памятнике отображается душа и любовь матери». Каменная отделка указывает гористую местность земли. «Водопады» и озеленение вокруг скульптуры – символы источников воды, берущих начало высоко в горах, олицетворяют процветание, благоденствие и расцвет родины.

Монуменальность с одной стороны связь с единой архитектурой и скульптурной композицией, а с другой отдельные постройки, объединяющие единый комплекс. Произведения монументального искусства, объединяясь с архитектурным пространством, становятся неотъемлемой частью искусства

и смысловой доминантой в комплексе на единой территории, связанной с архитектурой и его деталями. Характерные черты монументальности - это крупные масштабы, подразделяются на семейство живописи, графики, скульптуры, орнаменты. Учитывая воздействие климатического состояния и горного ландшафта местности, появляется необходимость использования натуральных строительных материалов. Синтез искусства и природы, где в городских парках и скверах всё больше применяются малые архитектурные формы в виде монументальных скульптур.

**Область применения:** В современной коллекции Национального музея Таджикистана собраны сотни экспонатов орнаментальной росписи и резьбе по дереву, ганчу, керамике, витражному делу. Таджикистан является кладезем древнейших памятников различных направлений искусств, происходит процесс орнаментализации, со временем развиваются местные традиции - резьба по дереву (колонны, подбалки, двери), орнаментальная роспись, живописно-пластическая роспись «Кундаль» широко применялась в архитектуре 17в. начала 20в.

**Результаты исследования:** Применение и решение национального орнамента в архитектуре зданий современного Таджикистана рассматриваются в вопросах различных направлений, видов, подвидов искусства, где необходимо решить и определить взаимосвязь. Смешение стилей и материалов, натуральных и искусственных, строительных и облицовочных поможет найти новые виды взаимосвязи архитектуры и национального орнамента в зданиях современного Таджикистана. Это возможно при внедрении и исследовании народных промыслов и исторических фактов, которые взаимодействовали с искусством, что позволит выявить новые идеи и направления в области формирования искусства на образ в архитектуре.

**Обсуждения результатов исследования:** Процесс формирования взаимосвязи архитектуры и пластических искусств необходимо сделать упрощённым и максимально простым. Чтобы эти способы взаимосвязи не мешали, а помогали в развитии инновационных идей архитектурной среды. Необходимо спланировать и решить, какой вид или направление возможно использовать и развивать в дальнейшем.

**Выводы:** Таким образом, примеры, приведенные в направлении национального орнамента и применяемые в архитектуре зданий современного Таджикистана, свидетельствуют, что архитектура и искусство настолько переплелись между собой, что в дальнейшем можно применять в проектных рекомендациях архитектурной среды, развивая тем самым формирование архитектурных образов столицы и всей страны в целом. Необходимо более подробно исследовать районы и исторические города республики, где берет свои истоки искусство во взаимосвязи с архитектурным решением. Возродить и развивать народные и национальные элементы и орнаменты различных направлений, которые передаются из поколения в поколения, создавая всё более новые идеи во взаимосвязи с современной архитектурой Таджикистана.

## Литература

1. Гафуров Б. Г. Таджики. Древнейшая, древняя и средневековая история. — Душанбе: Ирфон, 1989, 371+379 с.
2. The Sāmānids // The Cambridge History of Iran, Volume 4: From the Arab Invasion to the Saljuqs (англ.) / Frye, R. N.. — Cambridge: Cambridge University Press, 1975. — P. 136—161. — ISBN 978-0-521-20093-6.
3. Боймуродова З.К., Формирование и развитие коллекции изобразительного и традиционного искусства. Национального музея Таджикистана. Пластические искусства.Д.2022.
4. <https://jotto8.ru> > plasticheskie-iskusstva пластические искусства.25.01.23
5. Б. Р. Вишпер, Статьи об искусстве, М., 1970.
6. Г. Земпер, Практическая эстетика, (пер. с нем.), М., 1970.
7. Н. Дмитриева, Изображение и слово, М., 1962.
8. Л. И. Одинаева, М.Т. Ульджабаева, К 76- летию художника Валимада Одинаеа. 15.02.21.
9. Н.А. Яковлева, Е.Б. Мозговая, Т.П. Чаговец и др “Анализ и интерпретация произведения искусства”: Учеб.пособие;
10. Под ред. Н.А. Яковлевой.— М.: Высшая школа, 2005.
11. Кононенко Б. И. Большой толковый словарь по культурологии. 2003
12. Большой энциклопедический словарь. 2000.
13. Под редакцией Полевого В. М.; “Популярная художественная энциклопедия.” - Москва: “Советская энциклопедия”,1986.

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

Ф.И.О.	TJ	RU	EN
Эмомова Ф.Ё	Н.м., и.в. дотсент, мудири кафедраи “ДММваТ”. –и Донишгоҳи Техникии Тоҷикистон ба номи ак. М.С. Осимӣ	к. арх. , и.о. доцента, зав. каферой “ДАСи Р” Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими	Candidate of architecture, lector of the Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
e-mail:	<a href="mailto:miss.imomova@mail.ru">miss.imomova@mail.ru</a>	<a href="tel:989106309">989106309</a>	

УДК 624.042

**ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК****Низомов<sup>1</sup> Д.Н., Каландарбеков<sup>2</sup> И.К., Каландарбеков<sup>2</sup> И.И., Джонмамадова<sup>2</sup> М.Т.**<sup>1</sup>Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана,<sup>2</sup>Таджикский технический университет им. академика М.С.Осими

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам динамической теории пологих оболочек для решения задач на основе аналитических методов при действии динамической нагрузки. Рассмотрен метод анализа дифференциальных уравнений, полученных на основе принципа Даламбера, описывающих колебательные процессы в оболочках. Приведены разрешающие системы уравнений в смешанной форме и в перемещениях. Рассматриваются системы дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс, с начальными и граничными условиями.

**Ключевые слова:** оболочка, колебания, гипотеза, срединная поверхность, деформация, внутренние усилия, нормальная сила, касательная сила, цилиндрическая жёсткость.

**ТАҲҚИҚОТИ ДИНАМИКИИ ҚИШРИ КАМФАРОЗ****Ҷ.Н.Низомов, И.Қ.Қаландарбеков, И.И.Қаландарбеков, М.Т.Ҷонмамадова**

**Аннотатсия.** Мақола ба проблемаи назарияи динамикии қишри камфароз оид ба ҳалли масъалаҳо дар асоси методҳои аналитикӣ ҳангоми таъсири борҳои динамикии баҳшида шудааст. Методи таҳлили муодилаҳои дифференсиали, ки ҷараёни лаппишро дар қишр ифода мекунад, дар асоси принципи Даламбер бадаст оварда шудааст. Системаи муодилаҳои ниҳонӣ дар шакли омехта ва ҷойивазкуни оварда шудаанд. Системаи муодилаҳои дифференсиали, ки ҷараёни таҳқиқотро ифода мекунад бо шартҳои ибтидоӣ ва сарҳади дида баромада шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** қишр, лаппиш, фарзия, сатҳи миёнагӣ, деформатсия, қувваҳои дохилӣ, қувваи меҳварӣ, қувваи расанда, сахтии цилиндрий.

**SIMULATION OF SEISMIC ISOLATED BUILDINGS****Nizomov D.N., Kalandarbekov I.K., Kalandarbekov I.I., Jonmamadova M.T.**

**Annotation.** The article is devoted to the issues of the dynamic theory of shallow shells for solving problems based on analytical methods under the action of a dynamic load. The method of analysis of differential equations obtained on the basis of the d'Alembert principle, describing oscillatory processes in shells, is considered. Resolving systems of equations in mixed form and in displacements are given. Systems of differential equations are considered that describe the process under study, with initial and boundary conditions.

**Key words:** shell, vibrations, hypothesis, middle surface, deformation, internal forces, normal force, tangential force, cylindrical stiffness.

**Введение**

Пространственные конструкции в виде оболочки широко используются в конструкциях покрытий зданий и сооружений, а также в машиностроении, авиастроении и судостроении. Развитие общей теории оболочек связано с фундаментальными работами таких учёных, как В.З.Власов, А.С.Вольмир, А.Л.Гольденвейзер, А.И.Лурье, Х.М.Муштари, В.В.Новожилов, С.П.Тимошенко и др.

Оболочка называется полой, если её стрела подъёма меньше или равна одной пятой наименьшего линейного размера в плане. Теория пологих оболочек, связанная с именем выдающегося учёного в области строительной механики В.З.Власова [1], построена на основе следующих двух дополнительных гипотез: 1) геометрию поверхности оболочки можно приближённо считать совпадающей с геометрией плоскости её проекции; 2) пренебрегать моментными членами, содержащими в качестве коэффициентов выражения кривизны и их производные [2].

В теории пологих оболочек также, как и в общей теории пластин и оболочек, особое место занимает проблема, связанная с решением динамических задач. Теория колебания тонких пологих оболочек связана с именем другого выдающегося советского учёного в области строительной механики О.Д.Ониашвили [3].

**Уравнения равновесия теории пологих оболочек**

Рассмотрим пологую оболочку (рис.1а), где  $d/a \leq 1/5$ ,  $a \leq b$ . Геометрию срединной поверхности полой оболочки можно отождествить с геометрией плоскости, на которую она проецируется. В этом случае криволинейные координаты можно считать совпадающими с декартовыми координатами  $x$ ,  $y$  на плоскости [2, 4, 5]. На рис.1б показан элемент полой тонкой упругой оболочки с положительными направлениями усилий, где при переходе от сечения  $x = const$  к сечению  $x + dx = const$  интенсивность внутреннего усилия изменяется на величину частного дифференциала, например,  $\partial N_x = (\partial N_x / \partial x) dx$ . То же самое имеет место для сечения  $y = const$  и  $y + dy = const$ .

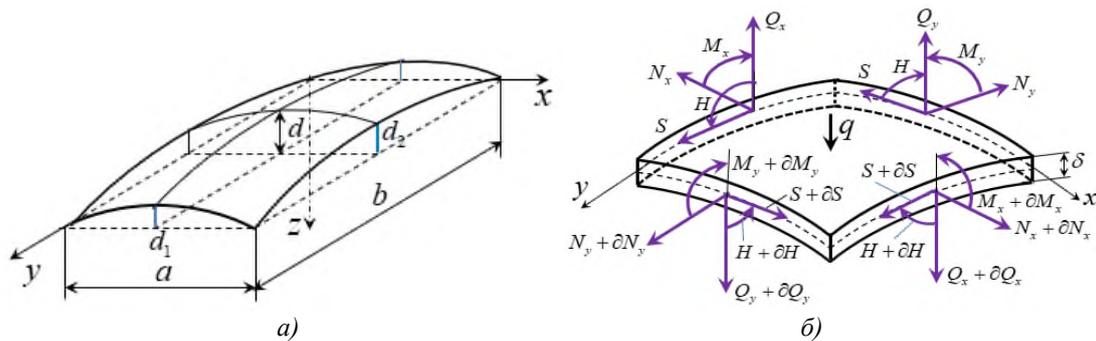


Рисунок 1 – Пологая оболочка: а - геометрия; б – усилия в срединной поверхности

Последовательно проектируя силы, действующие на элемент (рис.1б), на касательную к оси  $X$ , а затем на касательную к оси  $Y$ , в соответствии с принципом Даламбера, получим

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} + q_x - \mu \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} + q_y - \mu \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $N_x, N_y, S$  – нормальные и сдвигающие усилия;  $q_x, q_y$  – интенсивность заданных внешних нагрузок, приложенных к элементу по направлениям  $x, y$ ;  $\mu = \rho \delta$  – масса единицы площади оболочки  $\rho = \gamma / g$  – плотность материала оболочки.

Уравнение в проекциях всех сил на направлении нормали к срединной поверхности представляется в виде

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + k_x N_x + k_y N_y + q - \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (2)$$

где  $Q_x, Q_y$  – поперечные силы;  $k_x = 1/R_x, k_y = 1/R_y$  – кривизны срединной поверхности;  $W$  – прогиб;  $q$  – интенсивность заданной нагрузки в вертикальном направлении.

Следующие уравнения мы получим, составив сумму моментов сил относительно касательных к линиям  $y$  и  $X$ . Эти уравнения без учёта инерции вращения элемента  $\delta dx dy$  относительно направлений  $y$  и  $X$ , после упрощений представляются в виде

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} - Q_x = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - Q_y = 0, \quad (3)$$

где  $M_x, M_y$  – изгибающие моменты;  $H$  – крутящий момент. Таким образом, мы имеем пять уравнений с восемью неизвестными внутренними усилиями и тремя компонентами перемещений. Предварительно продифференцировав (3), вносим их в (2), в результате получим

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + k_x N_x + k_y N_y + q - \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \quad (2a)$$

Следовательно, взамен пяти мы получили систему из трёх уравнений (1) и (2a), которые описывают движение элемента полой оболочкой.

### Результаты исследования

Исходя из принятых гипотез определяются нормальные и касательные напряжения в слое оболочки, отстоящей на расстояние  $z$  от срединной поверхности, а затем внутренние усилия. Нормальные и касательные силы представляются в виде

$$N_x = \frac{E\delta}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y); \quad N_y = \frac{E\delta}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x); \quad S = \frac{E\delta}{2(1+\nu)}\gamma_{xy}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} + k_x w; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} + k_y w; \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}.$$

где

Выражения для изгибающих и крутящих моментов имеют вид

$$M_x = D(\mathcal{G}_x + \nu \mathcal{G}_y); \quad M_y = D(\mathcal{G}_y + \nu \mathcal{G}_x); \quad H = D(1 - \nu)\chi; \quad (5)$$

$$\mathcal{G}_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \mathcal{G}_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \chi = -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}; \quad D = \frac{E\delta^3}{12(1 - \nu^2)},$$

где  $D$  – цилиндрическая жесткость;  $\nu$  – коэффициент Пуассона. Можно заметить, что, суммируя изгибающие моменты, мы получим

$$M_x + M_y = D(1 + \nu)(\mathcal{G}_x + \mathcal{G}_y) = -D(1 + \nu) \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = -D(1 + \nu) \nabla^2 w,$$

$$M = \frac{M_x + M_y}{1 + \nu} = -D \nabla^2 w, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad (6)$$

где  $M$  – обобщенный изгибающий момент,  $\nabla^2$  – двумерный оператор Лапласа. С использованием (5) поперечные силы (3) можно также представить через функцию прогиба

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} = -D \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 w, \quad (7)$$

$$Q_y = \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} = -D \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 w, \quad (8)$$

Тогда сумму из производных от поперечных сил (7) и (8) по координатным осям, с учётом (6), можно записать в виде

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -D \frac{\partial^2}{\partial x^2} \nabla^2 w - D \frac{\partial^2}{\partial y^2} \nabla^2 w = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2}. \quad (9)$$

Внося (9) в (2), получим уравнение

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + k_x N_x + k_y N_y + q - \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (10)$$

которое рассматривается совместно с уравнениями (1). В этой системе из трёх дифференциальных уравнений (1) и (10) количество неизвестных усилий равняется шести.

Для сокращения числа неизвестных вводится функция напряжений

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}.$$

Если рассматривать динамический процесс в оболочке без учёта распространения упругих волн и пренебречь тангенциальными внешними силами, то уравнения (1) будут удовлетворяться, если ввести функцию напряжений  $\Phi = \delta \varphi$  в срединной поверхности, где нормальные и сдвигающие усилия равны:

$$N_x = \sigma_x \delta = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2}, \quad N_y = \sigma_y \delta = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad S = -\tau_{xy} \delta = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}. \quad (11)$$

Внося (11) в (1), получаем тождества

$$\frac{\partial^3 \Phi}{\partial x \partial y^2} - \frac{\partial^3 \Phi}{\partial x \partial y^2} = 0, \quad \rightarrow 0 = 0, \quad -\frac{\partial^3 \Phi}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \Phi}{\partial x^2 \partial y} = 0, \quad \rightarrow 0 = 0.$$

Следовательно, в силу принятого допущения о пренебрежении тангенциальных сил взамен трёх неизвестных  $N_x$ ,  $N_y$  и  $S$ , мы будем иметь только одну функцию  $\Phi$ .

Для получения следующего уравнения используется уравнение совместности деформаций Сен-Венана, которое в плоскости  $xу$  записывается в виде

$$\beta = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = 0, \quad (12)$$

где деформации срединной поверхности полой оболочки вычисляются по формулам

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} - k_x w, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} - k_y w, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}. \quad (13)$$

Если в (12) внести (13), то получим следующее выражение

$$\beta = -k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (14)$$

Далее используем закон Гука и деформации с учётом (11) представим в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y) = \frac{1}{E\delta} (N_x - \nu N_y) = \frac{1}{E\delta} \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right), \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x) = \frac{1}{E\delta} (N_y - \nu N_x) = \frac{1}{E\delta} \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right), \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy} = -\frac{2(1+\nu)}{E\delta} S = \frac{2(1+\nu)}{E\delta} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}. \end{aligned}$$

Если эти деформации внести в уравнение совместности (12), то мы получим следующее выражение

$$\beta = \frac{1}{E\delta} \left( \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} \right), \quad (15)$$

При введении обобщённой нормальной силы, равной

$$N = N_x + N_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad (16)$$

можно заметить, что

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} = \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4}. \quad (17)$$

Следовательно, равенство (15) с учётом (17) можно записать в виде

$$\beta = \frac{1}{E\delta} \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right). \quad (18)$$

Приравнявая (18) и (14), получим уравнение, которое связывает обобщённую нормальную силу  $N$  с функцией прогиба  $W$

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} = -E\delta \left( k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right). \quad (19)$$

В качестве следующего уравнения можно использовать выражение (6), которого можно представить в виде

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{M}{D}, \quad M = \frac{M_x + M_y}{(1+\nu)}. \quad (20)$$

### Обсуждения результатов исследования

Таким образом, в рамках известных допущений система дифференциальных уравнений теории пологих оболочек состоит из четырёх уравнений второго порядка (10), (19), (16) и (20)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} &= -E\delta \left( k_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \\ \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} &= -\left( k_x \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + k_y \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + q - \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right), \end{aligned} \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{M}{D}, \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = N,$$

с четырьмя неизвестными функциями  $M, \Phi, N, w$ . Здесь:  $M, N$  – обобщённые изгибающий момент и нормальная сила;  $\Phi$  – функция напряжений;  $W$  – прогиб;  $E, \delta$  – модуль упругости и толщина оболочки;  $k_x, k_y$  – кривизны срединной поверхности. Система из четырёх дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка (21) решается совместно с начальными и граничными условиями.

При исследовании сферической оболочки радиуса  $R$ , где  $k_x = k_y = k = 1/R$  система уравнений (21) может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} &= E\delta \frac{M}{D} k, \\ \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} &= -kN - q + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{M}{D}, \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = N.$$

Система уравнений (22) с использованием зависимостей

$$M = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \quad N = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2}, \quad (23)$$

может быть преобразована в систему из двух дифференциальных уравнений четвертого порядка с неизвестными функциями  $W$  и  $\Phi$ . Внося (23) соответственно в первое и второе уравнение системы (22), получим [2,6,7].

$$\left. \begin{aligned} D\nabla^4 w - \nabla_k^2 \Phi - q + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= 0, \\ \nabla^4 \Phi + E\delta \nabla_k^2 w &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}, \quad \nabla_k^2 = k_y \frac{\partial^2}{\partial x^2} + k_x \frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

Здесь

Отметим, что первое уравнение в (24) выражает условие равновесия в направлении нормали к поверхности, а второе – условие неразрывности (совместности) деформаций срединной поверхности. Следовательно, первое уравнение имеет статический смысл, а второе – геометрический. Из решения системы уравнений (24) определяются  $W$  и  $\Phi$ , а затем вычисляются внутренние усилия в сечениях пологой оболочки. Из (24) следует, что при  $k_x = k_y = 0$ , она распадается на два независимых уравнения

$$D\nabla^4 w - q + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad \nabla^4 \Phi = 0,$$

где первое уравнение описывает изгиб плиты, а второе – бигармоническое уравнение, которое описывает обобщённое плоское напряжённое состояние пластины. Выразив усилия, входящие в (1) и (2а) через перемещения  $u_x, u_y, W$  с помощью зависимостей (4) и (5), получим систему из трёх уравнений

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} - (k_x + \nu k_y) \frac{\partial w}{\partial x} + \\ & + \frac{1-\nu^2}{E\delta} q_x - \rho \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = 0, \\ & \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{(1-\nu)}{2} \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{(1+\nu)}{2} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} - (\nu k_x + k_y) \frac{\partial w}{\partial y} + \\ & + \frac{1-\nu^2}{E\delta} q_y - \rho \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} = 0, \\ & \frac{\delta^2}{12} \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) - (k_x + \nu k_y) \frac{\partial u_x}{\partial x} - (\nu k_x + k_y) \frac{\partial u_y}{\partial y} + \\ & + (k_x^2 + k_y^2 + 2\nu k_x k_y) w - \frac{1-\nu^2}{E\delta} q + \rho \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned} \right\} (25)$$

В уравнениях (25), в отличие от (21) и (24), учитываются тангенциальные силы инерции и тангенциальные внешние динамические нагрузки.

### Граничные условия

Рассмотрим некоторые виды граничных условий и выпишем их для края оболочки  $x = const$ .

Условия, относящиеся к краю  $y = const$ , получим взаимной заменой  $x$  на  $y$ ,  $u_x$  на  $u_y$ .

Жесткая заделка. В защемлении отсутствуют прогибы и поворот краевого сечения:

$$u_x = u_y = w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

Шарнирно неподвижное опирание:

$$u_x = u_y = w = 0, \quad M_x = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$$

Шарнирно подвижное опирание (идеальная диафрагма):

$$u_y = w = 0, \quad N_x = 0 \rightarrow \frac{\partial u_x}{\partial x} = 0, \quad M_x = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0,$$

Свободное опирание. Оболочка опирается по углам шарнирно неподвижными опорами, а края свободные:

$$N_x = 0, \rightarrow \frac{\partial u_x}{\partial x} + \nu \frac{\partial u_y}{\partial y} - (k_x + \nu k_y) w = 0,$$

$$M_x = 0, \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0,$$

$$S = 0, \rightarrow \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} - 2k_{xy} w = 0,$$

$$R_x = 0, \rightarrow \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = 0$$

Упругое защемление. Контур оболочки закреплен в упругое ребро, работающее на растяжение, изгиб в горизонтальной и вертикальной плоскостях, кручение, при опирании оболочки в угловых точках шарнирно-неподвижными опорами:

$$G_1 \frac{\partial^4 u_x}{\partial y^4} + N_x = 0, \quad EF \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} - S = 0,$$

$$G_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + R_x = 0, \quad G_3 \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} + M_x = 0$$

где  $G_1, G_2$  – жёсткости ребра при изгибе в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно ( $\text{тм}^2$ );  $G_3$  – жёсткость ребра при кручении ( $\text{тм}^2$ );  $EF$  – жёсткость ребра при растяжении-сжатии ( $\text{т}$ );  $\varepsilon_y$  – продольная деформация ребра.

**Вывод.** Исходя из постановки задачи и предлагаемого метода решения дифференциальных уравнений для динамических исследований пологих оболочек может быть выбран один из трёх вариантов систем уравнений: (21), (23) или (24). При решении систем дифференциальных уравнений динамической задачи должны быть также удовлетворены и начальные условия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов В.З. Общая теория оболочек и её приложения в технике. – М.: Гостехиздат, 1949, 784 с.
2. Колкунов Н.В. Основы расчёта упругих оболочек. – М.: «Высшая школа», 1972, 296 с.
3. Ониашвили О.Д. Некоторые динамические задачи теории оболочек. – М.: Наука, 1957.
4. Ониашвили О.Д. Избранные труды. – Тбилиси: «Мецниереба», 1978,
5. 297 с.
6. Александров А.А., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. – М.: «Высшая школа», 1990, 400 с.
7. Назаров А.А. Основы теории и методы расчета пологих оболочек. – М.-Л.: Стройиздат, 1966, 304 с.
8. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек. – М.: «Наука», 1972, 432 с.

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

TJ	RU	EN
Низомов Чаҳонгир Низомович	Низомов Джаҳонгир Низомович	Nizomov Jachongir Nizomovich
Доктори илмҳои техникӣ, профессор	Доктор технических наук, профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor

Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана	Institute of Geology, Seismic Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
ORCID - 0000-0002-6467-0789		E-mail: tiees@mail.ru
<b>TJ</b>	<b>RU</b>	<b>EN</b>
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Kalandarbekov Imomyorbek Kalandarbekovich
Доктори илмҳои техникӣ	Доктор технических наук	Doctor of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
ORCID - 0000-0002-4807-0169		E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru
<b>TJ</b>	<b>RU</b>	<b>EN</b>
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Kalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
ORCID - 0000-0003-4248-179X		E-mail: iftikhor791@mail.ru
Чонмамадова Мохру Тоировна	Джонмамадова Мохру Тоировна	Jonmamdova Mohru Toirovna
<b>Унвонҷуй</b>	<b>Соискатель</b>	<b>Applicant</b>
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: mokhru chonmamadova@mail.ru

УДК 699.841

## ПРОБЛЕМА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГЛИНОБИТНЫХ ДОМОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Каландарбеков И.К., Каландарбеков И.И., Шарифзода А.Ш.

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

В статье приводится обзор работ по оценке сейсмобезопасности одноэтажных зданий из местных строительных материалов. Анализ последствий землетрясений на территории Республики Таджикистан свидетельствует о массовых разрушениях и повреждениях малоэтажных зданий из местных строительных материалов. Показано, что проблема использования местных материалов при возведении зданий не отпадает, так как строительство таких домов в сельской местности продолжается.

**Ключевые слова:** землетрясения, сейсмобезопасность, малоэтажные здания, местные строительные материалы, сельская местность, кирпич, раствор, глиноматериал, прочность, деформативность.

## МУШКИЛОТИ БЕХАТАРИИ СЕЙСМИКИИ ХОНАҶОИ ХОКӢ ДАР МАНОТИҚИ ЧУМӢУРИИ ТОҶИКИСТОН

Қаландарбеков И.Қ., Қаландарбеков И.И., Шарифзода А.Ш.

Дар мақола шарҳи корҳо онди баҳодихӣ ба бехатарии сейсмикии хонаҳои яқошона аз маводҳои сохтмони маҳаллӣ оварда шудааст. Таҳлили оқибатҳои заминчунбӣ дар манотиқи Чумҳурии Тоҷикистон, аз харобшавии оммавии хонаҳои яқошона аз маводҳои сохтмонӣ сохташуда шаҳодат медиҳад. Нишон дода шудааст, ки проблемаи истифодабарии маводҳои маҳаллӣ, хангоми сохтмон кам намешавад, балки сохтмони онҳо дар оянда низ дар деҳот идома меёбад.

**Калимаҳои калидӣ:** заминчунбӣ, бехатарии сейсмикӣ, хонаҳои камошона, маводҳои маҳаллии сохтмонӣ, маҳалли деҳот, хишт, раствор, маводи хокӣ, мустаҳкамӣ, тағйирёбандагӣ.

## THE PROBLEM OF SEISMIC SAFETY OF CLAY HOUSES IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Kalandarbekov I.K., Kalandarbekov I.I., Sharifzoda A.Sh.

The article provides an overview of the work on assessing the seismic safety of one-story buildings from local building materials. An analysis of the consequences of earthquakes on the territory of the Republic of Tajikistan indicates massive destruction and damage to low-rise buildings made from local building materials. It is shown that the problem of using local materials in the construction of buildings does not disappear, since the construction of such houses in rural areas continues.

**Key words:** earthquakes, seismic safety, low-rise buildings, local building materials, countryside, brick, mortar, clay material, strength, deformability.

### Введение

Необходимо отметить, что человечество не в силах предотвратить землетрясения. Это не означает, что нельзя устранить их катастрофические последствия. Как известно, около 70% населения Республики Таджикистан проживают в сельской местности. Большая часть этой территории подвержена 8-9 балльному землетрясению. На этих территориях происходили сильные разрушительные землетрясения. Следовательно, проблема сейсмобезопасности малоэтажных зданий из местных строительных материалов на сегодняшний день остаётся актуальной. Данная проблема для сельской местности остаётся актуальной и в XXI веке.

### Проблема сейсмобезопасности

Безопасность людей в сельской местности, прежде всего, зависит от качества используемых местных строительных материалов, т.е. их дома не разрушатся ли после первого землетрясения небольшой интенсивности. Следует отметить, что в древности в различных регионах Таджикистана применялась каркасная система при строительстве малоэтажных зданий. Наши предки интуитивно правильно учитывали кинематическое возмущение на строящихся домах. Исходя из конфигурации здания использовали различные виды конструкции каркаса. Внутри каркаса в качестве заполнителя в основном использовали глину. Необходимо отметить, что каркасы в основном изготавливали из арchedого дерева или добротных лесоматериалов. К сожалению, этот исторический опыт в настоящее время почти не применяется.

Как известно из опытных данных, при длительном действии и высоких напряжениях под влиянием развивающихся неупругих деформаций и структурных изменений материал разрушается при напряжениях, меньших временному сопротивлению осевому сжатию. При эксплуатации конструкции в неблагоприятных условиях отрицательное влияние фактора длительного нагружения может проявляться.

В соответствии с проведёнными исследованиями [1,7-9,10,15,20,25] работа кирпичных кладок в несущих элементах зданий и сооружений представляет собой сложный и неоднозначный процесс взаимодействия её компонентов (кирпич и раствора), последствия которого существенно зависят от реальных свойств применяемых материалов, однородности их структуры, систем перевязки, условий

и длительности эксплуатации и других причин. В связи с недостаточной материальной обеспеченностью большей части сельского населения Республики Таджикистан в совокупности со значительным повышением цен на основные строительные материалы (цемент, металл) приводит к применению местных грунтоматериалов для строительства жилых домов. Следовательно, это приводит к резкому повышению сейсмического риска для сельских населённых пунктов нашей республики, подтверждению того последствия сильных землетрясений, произошедших на ее территории. Поэтому проблема восстановления и усиления повреждённых элементов из глиноматериалов в результате землетрясения является важной научно-технической задачей.

Исследование по разработке методов усиления различных типов зданий, поврежденных в результате землетрясений, изложено в работах [4, 5, 10-14, 18, 19, 21].

Республика Таджикистан среди Центрально-Азиатских стран является наиболее сейсмоактивным районом, где возможно 9-балльное землетрясение по шкале MSK-64. Согласно карте общего сейсмического районирования Таджикистана 9-балльная зона составляет 56,5%, 8-балльная зона 27,3% и 7-балльная зона 16,2% от всей площади территории Республики Таджикистан [2, 23].

Как правило, уменьшение ущерба от последствия землетрясения напрямую связано с точностью оценки сейсмостойкости зданий. Поэтому совершенствование методов обеспечения сейсмической безопасности зданий в сейсмоактивных районах является весьма важной задачей, решение которой имеет научно-практическое значение.

### **Анализ последствия землетрясений**

Проведённый анализ последствий землетрясений на территории Республики Таджикистан свидетельствует о массовых разрушениях и повреждениях малоэтажных зданий из местных строительных материалов. Следовательно, оценка сейсмической безопасности малоэтажных зданий из глиноматериалов и разработка методов повышения их надёжности в таких регионах является актуальной проблемой.

Как известно, на территории Республики Таджикистан за последние 115 лет произошло много сильных землетрясений [4, 6, 16, 24]. Последствия последних землетрясений, таких как Кайракумское (1985), Гиссарское (1989), Сарихосорское (2005), Кумсангирское (2006), Раштское (2007), Тавилдаринское (2012), Вахдатское (2013), Сарезкое (2015), показали, что строительству зданий из местных строительных материалов в сельских и горных районах нашей республики уделялось недостаточно внимания [3].

Во второй половине XX в. в республике были проведены исследования по определению достоверных характеристик испытываемых элементов и зданий в целом, и на их основе дана оценка эффективности усиления конструкций армированными штукатурными слоями и даны рекомендации по определению ряда параметров для расчёта усиленных зданий [5].

Основными свойствами, обеспечивающими сейсмостойкость конструкций зданий, является прочность материала.

Не анализируя реальный характер разрушения, не имея сведений о свойствах материалов, заложенных в конструкции, сведений о расчётных схемах, оценить в целом поведение зданий при сейсмических воздействиях невозможно. Поэтому исследования по дальнейшему развитию теории расчёта зданий на сейсмические воздействия с учётом антисейсмических свойств материалов, закладываемых в характеристики несущих конструкций, являются весьма актуальной задачей как для науки, так и для практики. В настоящее время несколько повысились требования к расчёту каменных и глинобитных зданий на сейсмические нагрузки.

Прочностные и деформативные свойства кладки комплексной конструкции при совместном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок зависят от большого числа факторов: прочности кирпича и раствора и прочности их сцепления между собой, конструкции усиления кладки в вертикальном и горизонтальном направлениях и количества арматуры, уровня обжата кладки вертикальной нагрузкой и другие.

Проведённые исследования показывают, что возведенные здания из глиноматериалов и природного камня в Республике Таджикистан имеют ряд серьёзных недостатков. Большая часть этих зданий построена индивидуальными застройщиками без проекта и соответственно без расчёта на сейсмическое воздействие.

В связи с массовым применением местных строительных материалов, таких как природный камень и глина, в горных и сельских районах Республики Таджикистан исследования прочностных свойств и сейсмостойкости зданий, возведённых из местных строительных материалов, являются в настоящее время актуальными.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что строительство из природного каменного материала с растворами глиноматериалов требует от застройщиков особого внимания при

строительстве и производстве работ, прежде всего защиты конструкции от проникновения влаги. Проблема использования местных материалов при возведении зданий не отойдёт на задний план, так как строительство таких домов продолжается, и они являются преобладающими в сельской и горной местности нашей республики. Согласно [17] в горной местности допускается строительство малоэтажных зданий из местных материалов со следующими конструктивными решениями стен:

- из бутовой, рваных камней на основе глины и саман с деревянным армированием;
- деревянный каркас с заполнением бутовой, рваных камней на основе глины и саман;
- железобетонный каркас с заполнением бутовой, рваных камней на основе цементного раствора.

### **Результаты обследования с применением глиноматериалов**

Результаты обследования пострадавших при прошедших сильных землетрясениях районов показали, что в подавляющем большинстве значительные повреждения и разрушения получили жилые дома, возведённые с применением глиноматериалов [22]. При этом в большей степени были повреждены дома, стены которых возведены из битой глины (пахса). Анализ причин, приводящих к повреждениям домов со стенами из битой глины показал, что одной из основных причин является наличие в теле стен значительных усадочных трещин, образующихся вследствие применения для возведения стен малопрочных материалов и несоблюдения традиционной технологии приготовления глины.

Анализ состояния домов, возведённых с применением сырцового кирпича несколько лучше, хотя отдельные из них получают значительные повреждения вплоть до обрушения стен. При этом значительная часть применённого для кладки стен сырцового кирпича остаётся целой. Характер повреждений домов со стенами из сырцового кирпича показал, что одним из факторов является применение для изготовления сырцового кирпича малопрочных материалов и отсутствие антисейсмических мероприятий.

Широкое распространение строительства различного типа домов с применением местных строительных материалов на территории Республики Таджикистан требует более подробного исследования.

Дома с глинобитными стенами обычно состоят из каменного фундамента на глиняном растворе, глинобитных стен и перекрытия по деревянным балкам с заполнением межбалочного пространства деревянными брусками и теплоизоляционного слоя на глиняном растворе.

Глиняная масса в определённом влажном состоянии возводится ярусами высотой около 50-60см на фундамент таким образом, чтобы получить монолитные стены, а затем уплотняются вручную. Глиняная масса должна иметь оптимальную влажность, текучесть и пластичность. Между возведением ярусов устраивается технологический перерыв, необходимый для высушивания возведённого слоя. Существенный недостаток таких стен заключается в том, что после высыхания глиняной массы стены дают большую усадку, в результате чего здание деформируется, в паховых стенах образуются многочисленные сквозные усадочные трещины шириной раскрытия до 2 см. Образование и раскрытие трещин существенно снижают прочностные характеристики стен, способствуя значительным повреждениям и разрушениям во время землетрясений. Здесь говорить о цельности и монолитности стены в таких случаях не приходится. Исследования показали, что более 90% жилых застроек кишлаков Вахшской долины Хатлонской области, Раштской группы районов, района Рудаки, Вахдат и Гиссарской долины состоят из «пахсы», большинство из которых двухэтажные без всяких антисейсмических мероприятий [5].

В целом, выявлено, что на территории Республики Таджикистан застройке каждого административного района характерны свои особенности, которые отражают уклад жизни населения, его традиции, финансовые возможности, а также наличие местных строительных материалов.

Кладка стен из сырцового кирпича ведётся на слабом растворе на основе той же глиняной массы, из которой формуют кирпичи. Кладка стен из сырцового кирпича ничем не отличается от кладки стен из жжённого кирпича. В зависимости от проектной толщины стены выкладывают в 1 или 1,5 кирпича, редко в 2 кирпича. Следует отметить, что часто дома строятся непрофессиональными строителями и с низким качеством строительных работ и оказываются весьма не сейсмобезопасными.

Республика Таджикистан - это горная страна, и вполне понятно стремление населения горных районов использовать дешёвый природный строительный материал для постройки своих домов. В некоторых районах в последние годы из рваного камня строят в основном одноэтажные жилые дома, местами рваный камень используется для постройки 2-х этажного дома, первый этаж которого состоит из рваного камня, а второй этаж достраивают из сырцового кирпича.

Как известно, в последние годы в некоторых регионах Республики Таджикистан преимущественно преобладает строительство домов с железобетонным каркасом. Безусловно, применение железобетонного каркаса для возведения дома со стенами из глиноматериалов более эффективно с

целью обеспечения сейсмобезопасности здания при сильных кинематических возмущениях. Но, к большому сожалению, не все жители сельских районов имеют финансовые возможности для строительства домов с железобетонным каркасом.

**Вывод.** Проведён обзор работ по оценке сейсмобезопасности малоэтажных зданий из местных материалов. Анализ последствий последних сильных землетрясений показал, что строительству домов из местных строительных материалов в сельской местности не уделяется должное внимание. Отсутствие мероприятия по усилению глинобитных домов и низкие прочностные характеристики материала стен приводят к снижению их сейсмической безопасности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзенберг Я.М. Развитие концепций и норм антисейсмического проектирования. М.: Минстрой России, ВНИИТПИ, 1997, 70с.
2. Бабаев А.М., Кошлаков Г.В., Мирзоев К.М. Сейсмическое районирование Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1978, 68 с.
3. Джабаров М., Кожаринов С.В., Аверьянова Е.А., Лунев А.А. Восстановление несущей способности и поврежденной кирпичной кладки. В сб.: Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Душанбе: Дониш, 1976, с. 103-114.
4. Джабаров М., Ясунов П.А., Джалолов Ш.А. Снижение сейсмической уязвимости зданий, возведенных из местных строительных материалов. Труды научно-практической конференции агентства «ТОЧИККОИНОТ» «Уменьшение рисков стихийных бедствий и управление этими рисками» Таджикистана», Душанбе, 2006, с. 150 –158.
5. Джабаров М. и др. Разработка методов усиления кирпичных, глинобитных и каменных зданий, поврежденных в результате землетрясений и просадки оснований. Научно-технический отчет, № 0106ТД401, Душанбе, 2010, 233 с.
6. Джабаров М., Хакимов Ф.Х., Вахидов Д.С., Джалолов Ш.А. Последствия Раштского и Кумсангирского землетрясения и повышение сейсмостойкости зданий, возводимых из местных строительных материалов. Труды Республиканской научной конференции «100 лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». Душанбе: Азия-Принт, 2007, с.123 – 129.
7. Каландарбеков И.К., Сангинов А.М. Исследование конструктивных свойств кладок зданий из грунтоматериалов. Научный журнал. Душанбе «Политехнический вестник» Серия: Инженерные исследования, №1(45), 2019, с. 271–274.
8. Каландарбеков И.К., Сангинов А.М., Музофиров Ч.Ё. Оценка уязвимости зданий на основе метода спектральных смещений. Научный журнал. Душанбе «Политехнический вестник» Серия: Инженерные исследования. №2 (46), 2019, с. 143 – 149.
9. Каландарбеков И.К., Сангинов А.М., Рафиев А.К. Исследование физико-механических свойств материалов старинных кирпичных кладок на территории республики Таджикистан. Научный журнал. Душанбе. «Политехнический вестник» Серия: Инженерные исследования. №4(44), 2018, с.180-182.
10. Камейко В.А., Семенцов С.А. Состояние и основные направления исследования прочности каменных конструкций. М.: ЦНИИСК, 1978, 134 с.
11. Камейко В.А. Прочность при сжатии кирпичной кладки с косвенным сетчатым армированием Сб. Экспериментальные исследования каменных конструкций. Стройиздат, 1939, с.65-89 с.
12. Камейко, В.А. Исследования прочности и деформации армокаменных конструкций. Исследования каменных конструкций. М.: Госстройиздат, 1952, с. 68-72.
13. Кожаринов С.В. Исследование деформации кирпичной кладки при действии горизонтальных нагрузок. В сб.: Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Душанбе: Дониш, 1980, с. 189 – 200.
14. Корчинский И.Л., Беченева Г.В. Прочность строительных материалов при динамических нагрузках. М.: Стройиздат, 1966, 212 с.
15. Котов И.Т. Исследование прочности кирпичной кладки с незаполненными вертикальными швами. Сб.: Исследования по каменным конструкциям; под ред. проф. Л.И. Онищика. М.: Госстройиздат, 1950, с. 152-163.
16. Кухтикова Т.И. Землетрясения Таджикистана. АН Тадж. ССР, Душанбе, 1966, 46 с.
17. МҚС ҚТ 22-07-2007. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Душанбе, 2008, 85с.
18. Негматуллаев С.Х., Сирма О.В. Джабаров М. Натурные динамические испытания глинобитных домов методом сейсмозрывного воздействия. Труды международной научной конференции, «Современные аспекты развития сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – 27-29 апреля 2005. Душанбе, Таджикистан, с. 172 – 178.

19. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.К., Сангинов А.М. Численное моделирование несущей стены одноэтажного глинобитного здания методом сосредоточенных деформаций. Политехнический вестник Серия: Инженерные исследования, 2019, №2 (46), с. 138 – 143.
20. Пангаев В.В. Разрушение сжатой каменной кладки. Известия вузов.Строительство, №12, 2000, с. 7-12.
21. Рузиев Д.Р. Глина как строительный материал. Душанбе, 2007, 54 с.
22. Сангинов А.М. Исследование сейсмической уязвимости малоэтажных зданий из глиноматериалов и методы повышения их сейсмобезопасности. Дисс. на соискан. учен. степ. канд. тех. наук. Д., 2019, 138с.
23. Сейсмический районирование СССР, под ред. Медведева. М.: Наука, 1968, 471с.
24. Семенов П.Г., Семенова В.А. Каталог землетрясений, ощущавшихся на территории Таджикистана за период 1865-1940 и 1941 - 1952 гг. Тр. ин-та сейсмол. АН Тадж ССР 1958. - т. 86, вып. 3, 146 с.
25. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии. Известия вузов. Строительство, №9, 2002, с. 4-9.

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

TJ	RU	EN
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Kalandarbekov Imomyorbek Kalandarbekovich
Доктори илмҳои техникӣ	Доктор технических наук	Doctor of Technical Sciences
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
ORCID - 0000-0002-4807-0169		E-mail: kalandarbekov-55@mail.ru
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович	Kalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich
Номзади илмҳои техникӣ	Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
ORCID - 0000-0003-4248-179X		E-mail: iftikhor791@mail.ru
TJ	RU	EN
Шарифзода Аъзам Шариф Унвончу	Шарифзода Азам Шариф Соискатель	Sharifzoda Azam Sharif Applicant
Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi

УДК 624.04

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Д. Н. Низомов<sup>1</sup>, И. К. Каландарбеков<sup>2</sup>, Д. Дж. Исвалиев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии, сейсмостойких строительства и сейсмологии НАНТ.

<sup>2</sup>Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими.

В статье рассматривается двухэлементная модель пластины. Приводится методика формирования матрицы жесткости изгибаемых пластин с учетом граничных условий на основе метода сосредоточенных деформаций. Изложено решение статической задачи изгиба пластины, защемленная по четырем сторонам. Полученный алгоритм реализован на конкретном примере и определены внутренние усилия в конечных элементах.

**Ключевые слова:** изгиб пластин, граничные условия, изгибная жёсткость, сдвиговая жёсткость, крутильная жёсткость, матрица внешней жёсткости.

### ҲАЛЛИ АДАДИИ МАСЪАЛАҶОИ СТАТИКӢ ОИД БА ҲИСОБИ ТАХТАСАНҶОИ ХАМШАВАНДА БО МЕТОДИ МУТАМАРКАЗКУНОНИИ ДЕФОРМАТСИЯҶО

Ҷ. Н. Низомов, И. Қ. Қаландарбеков, Д. Ҷ. Исвалиев

Дар мақола ду модели унсӯри тахтасанҷо дида баромада шудааст. Методикаи тартиб додани матрисаҳои сахтии плаитаҳои ҳамшаванда бо назардошти шартҳои сарҳадӣ, дар асоси методи мутамарказкунонии деформатсияҳо. Ҳалли масъалаҳои статикӣ ҳамшавии тахтасанҷо аз ҳамаи тарафҳои сахт маҳкам кардашуда дида баромада шудааст. Алгоритми бадастовардашуда дар мисоли мушаххас амалӣ карда шуда ва қувваҳои дохилии дар унсӯрҳои ниҳой муайян карда шудаанд.

**Калимаҳои калидӣ:** ҳамшавии тахтасанҷ, шартҳои канорӣ, сахти ба ҳамшавӣ, сахти ба гечиш, сахти ба тобхӯрӣ, матрисаи сахтии беруна.

### NUMERICAL SOLUTION OF STATIC PROBLEMS ON THE CALCULATION OF BENDING PLATES BY THE LOCATED DEFORMATION METHOD.

D. N. Nizomov, I. Q. Qalandarbekov, D. Dj. Isvaliev

The article considers a two-element plate model. A technique for forming the stiffness matrix of bending plates is given, taking into account the boundary conditions based on the method of concentrated deformations. The solution of the static problem of bending a plate clamped on four sides is presented. The resulting algorithm is implemented on a specific example and internal forces in finite elements are determined.

**Key words:** plate bending, boundary conditions, bending stiffness, shear stiffness, torsional stiffness, external stiffness matrix.

#### Введение

Точность численных методов расчета, в частности, метода сосредоточенных деформаций, определяется гипотезами и допущениями, заложенными в основу метода, степенью дискретизации, особенностями задач.

Известные методы расчета строительных конструкций специально не ориентированы на соединения элементов, которые обладают значительной податливостью. Следовательно, актуальным является вопрос совершенствование методов расчета, которые учитывают конструктивные особенности исследуемого объекта.

Обеспечение необходимой надёжности строительных конструкций и снижения их сметной стоимости остаётся одним из важнейших направлений в области строительной механики. Множество конструкций, зданий и сооружений, в частности, плиты перекрытия, оболочки и др. испытывают деформацию изгиба.

В данной статье рассматривается решения статической задачи изгиба пластины защемленная по четырем сторонам на основе метода сосредоточенных деформаций (рис. 1).

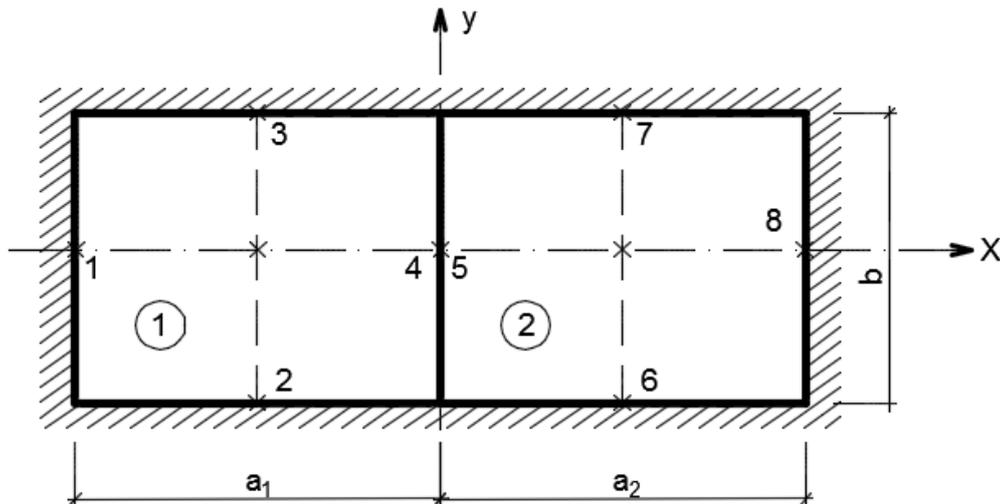


Рисунок 1 – Двухэлементная модель по МСД.

### Реализация алгоритм

Рассмотрим пример расчета пластины методом сосредоточенных деформаций при её разбивке на два конечных элемента. В результате решения системы уравнений определены перемещения в узлах приложения фиктивных связей.

Расчетная схема пластины и действующие усилия представлены на рис.2. В центре элементов пластины действуют заданные изгибающие моменты  $M^*_x$ ,  $M^*_y$  и сосредоточенные силы  $F^*$ . По граням элементов в сечениях 1 - 8 показаны внутренние усилия  $M_i$ ,  $Q_i$  и  $H_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ),

где  $M_i$  - изгибающие моменты,  $Q_i$  - поперечные силы,  $H_i$  - крутящие моменты.

Рассматривая конечный первый элемент МСД (рис. 2), получим следующую систему уравнений равновесия:

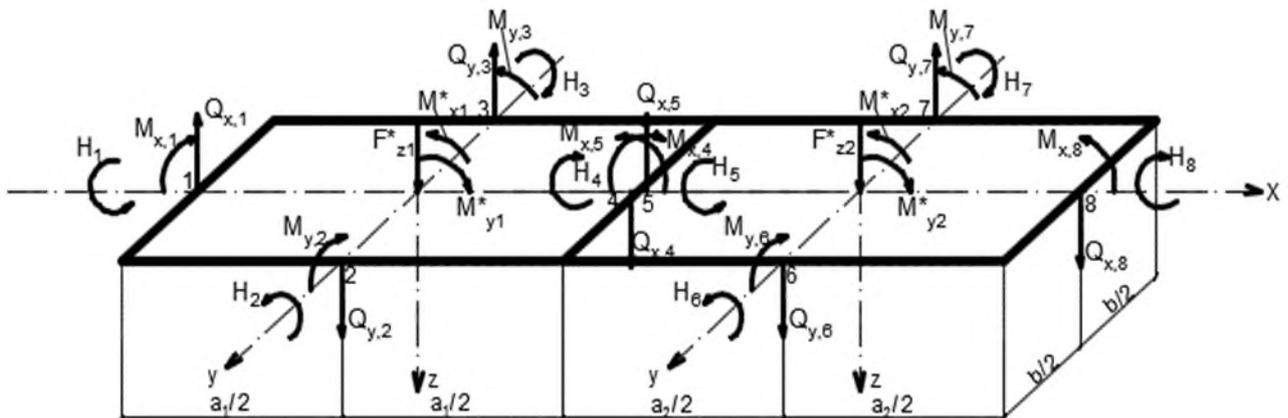


Рисунок 2 – Расчетная схема пластины и действующие усилия.

$$\left. \begin{aligned}
 1) \sum M_x = 0, & -M_{y,3} + M_{y,2} - H_1 + H_4 - Q_{y,3} \cdot \frac{b}{2} - Q_{y,2} \cdot \frac{b}{2} - M^*_{x1} = 0, \\
 2) \sum M_y = 0, & M_{x,1} - M_{x,4} - H_2 + H_3 + Q_{x,1} \cdot \frac{a_1}{2} + Q_{x,4} \cdot \frac{a_1}{2} + M^*_{y1} = 0, \\
 3) \sum F_z = 0, & -Q_{x,1} + Q_{x,4} + Q_{y,2} - Q_{y,3} + F^*_{z1} = 0.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Из (1) формируем матрицу коэффициентов  $A$  для первого элемента (рис. 2), которая состоит из блоков  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Элементы блоков соответствуют сечениям 1,2,3 и 4:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & \frac{a_1}{2} \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{b}{2} \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -\frac{b}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & \frac{a_1}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Теперь составляем уравнение равновесия для второго элемента (рис. 2)

$$\left. \begin{aligned} 1) \sum M_x = 0, & \quad -M_{y,7} + M_{y,6} - H_5 + H_8 - Q_{y,7} \cdot \frac{b}{2} - Q_{y,6} \cdot \frac{b}{2} - M_{x2}^* = 0, \\ 2) \sum M_y = 0, & \quad M_{x,5} - M_{x,8} - H_6 + H_7 + Q_{x,5} \cdot \frac{a_2}{2} + Q_{x,8} \cdot \frac{a_2}{2} + M_{y2}^* = 0, \\ 3) \sum F_z = 0, & \quad -Q_{x,5} + Q_{x,8} + Q_{y,6} - Q_{y,7} + F_{z2}^* = 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

На основе уравнений (3) составим матрицу  $A$  которая состоит из блоков  $A_5, A_6, A_7$  и  $A_8$ .

$$\mathbf{A}_5 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & \frac{a_2}{2} \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{b}{2} \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{A}_7 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -\frac{b}{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_8 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & \frac{a_2}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Матрица коэффициентов  $A$  представляется в виде.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3, \mathbf{A}_4, \mathbf{A}_5, \mathbf{A}_6, \mathbf{A}_7, \mathbf{A}_8) =$$

$$= \begin{bmatrix}
 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -\frac{b}{2} & -1 & 0 & -\frac{b}{2} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & \frac{a_1}{2} & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & \frac{a_1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -\frac{b}{2} & -1 & 0 & -\frac{b}{2} & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{a_2}{2} & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & \frac{a_2}{2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}.$$

Для пластины защемленной по контуру коэффициенты жёсткости определяются по формулам [3]:

$$\text{при изгибе } \omega_{x,0} = \frac{2EI_x}{a}, \quad \omega_{y,0} = \frac{2EI_y}{b};$$

$$\text{при кручении } \psi_{x,0} = \frac{GJ_x}{a}, \quad \psi_{y,0} = \frac{GJ_y}{b};$$

$$\text{при сдвиге } \xi_{x,0} = \frac{5Gbh}{3a}, \quad \xi_{y,0} = \frac{5Gah}{3b},$$

где,  $E, G$  – модули упругости и сдвига,  $I_x, I_y$  – осевые моменты инерции,

$h$  – толщина пластины,  $a, b$  – размеры конечного элемента.

Матрица внутренней жёсткости для рассматриваемых элементов имеет диагональную структуру

$$C = \text{diag} \left( \frac{2EI_x}{a_1}, \frac{GJ_x}{a_1}, \frac{5Gb h}{3a_1}, \frac{2EI_y}{b}, \frac{GJ_y}{b}, \frac{5Gah}{3b}, \frac{2EI_y}{b}, \frac{GJ_y}{b}, \frac{5Gah}{3b}, \frac{EI_x}{a}, \frac{GJ_x}{2a}, \frac{5Gb h}{6a}, \frac{2EI_y}{b}, \frac{GJ_y}{b}, \frac{5Gah}{3b}, \frac{2EI_y}{b}, \frac{GJ_y}{b}, \frac{5Gah}{3b}, \frac{2EI_x}{a_2}, \frac{GJ_x}{a_2}, \frac{5Gb h}{3a_2} \right). \quad (5)$$

Матрица внешней жёсткости  $K$  определяется по формуле [3]:

$$K = A \cdot C \cdot A^T = B \cdot A^T, \quad B = A \cdot C, \quad (6)$$

где,

$$B = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{GJ_x}{a_1} & 0 & \frac{2EI_y}{b} & 0 & -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1 h}{3b} & -\frac{2EI_y}{b} & 0 & -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1 h}{3b} & 0 & \frac{GJ_x}{2a_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2EI_x}{b} & 0 & \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb h}{3a_1} & 0 & -\frac{GJ_y}{b} & 0 & 0 & \frac{GJ_y}{b} & 0 & -\frac{EI_x}{a_1} & 0 & \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb h}{6a_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{5Gb h}{3a_1} & 0 & 0 & \frac{5Ga_1 h}{3b} & 0 & 0 & -\frac{5Ga_1 h}{3b} & 0 & 0 & \frac{5Gb h}{6a_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ_x}{2a_2} & 0 & \frac{2EI_y}{b} & 0 & -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2 h}{3b} & -\frac{2EI_y}{b} & 0 & -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2 h}{3b} & 0 & \frac{GJ_x}{a_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EI_x}{a_2} & 0 & \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb h}{6a_2} & 0 & -\frac{GJ_y}{b} & 0 & 0 & \frac{GJ_y}{b} & 0 & -\frac{2EI_x}{a_2} & 0 & \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb h}{3a_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{5Gb h}{6a_2} & 0 & 0 & \frac{5Ga_2 h}{3b} & 0 & 0 & -\frac{5Ga_2 h}{3b} & 0 & 0 & \frac{5Gb h}{3a_2} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Матрицы внешней жесткости имеет диагональную структуру.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & 0 & k_{14} & 0 & 0 \\ 0 & k_{22} & k_{23} & 0 & k_{25} & k_{26} \\ 0 & k_{32} & k_{33} & 0 & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & 0 & 0 & k_{44} & 0 & 0 \\ 0 & k_{52} & k_{53} & 0 & k_{55} & k_{56} \\ 0 & k_{62} & k_{63} & 0 & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \quad (8)$$

В результате перемножения двух матриц получим матрицу внешней жесткости, коэффициенты которой будут равны:

$$\begin{aligned} k_{11} &= \frac{GJ_x}{a_1} + \frac{2EI_y}{b} + \left(-\frac{b}{2}\right) \cdot \left(-\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b}\right) + \frac{2EI_y}{b} + \left(-\frac{b}{2}\right) \cdot \left(-\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b}\right) + \frac{GJ_x}{2a_1} = \\ &= \frac{GJ_x}{a_1} + \frac{GJ_x}{2a_1} + \frac{4EI_y}{b} + \frac{5a_1bGh}{6}; k_{12} = 0, k_{13} = -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b} + \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b} = 0; \\ k_{14} &= -\frac{GJ_x}{2a_1}; k_{15} = 0; k_{16} = 0; k_{21} = 0; k_{22} = \frac{2EI_x}{a_1} + \frac{a_1}{2} \cdot \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_1} + \frac{GJ_y}{b} + \frac{GJ_y}{b} + \frac{EI_x}{a_1} + \\ &+ \frac{a_1}{2} \cdot \frac{a_1}{2} \cdot \frac{10Gb}{3a_1} = \frac{3EI_x}{a_1} + \frac{2GJ_y}{b} + \frac{5a_1bGh}{8}; k_{23} = -\frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_1} + \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_1} = -\frac{5Gb}{12}; \\ k_{24} &= 0; k_{25} = -\frac{EI_x}{a_1} + \frac{a_1}{2} \cdot \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_1} = -\frac{EI_x}{a_1} + \frac{5a_1bGh}{24}; k_{26} = -\frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_1} = -\frac{5Gb}{12}; \\ k_{31} &= -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b} + \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_1h}{3b} = 0; k_{32} = -\frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_1} + \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_1} = -\frac{5Gb}{12}; k_{33} = \frac{5Gb}{3a_1} + \\ &+ \frac{5Ga_1h}{3b} + \frac{5Ga_1h}{3b} + \frac{5Gb}{6a_1} = \frac{10Ga_1h}{3b} + \frac{15Gb}{6a_1}; k_{34} = 0; k_{35} = \frac{a_1}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_1} = \frac{5Gb}{12}; \\ k_{36} &= -\frac{5Gb}{6a_1}; k_{41} = -\frac{GJ_y}{2a_2}; k_{42} = 0; k_{43} = 0; k_{44} = \frac{GJ_x}{2a_2} + \frac{2EI_y}{b} + \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} + \frac{2EI_y}{b} + \\ &+ \frac{b}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} + \frac{GJ_x}{a_2} = \frac{GJ_x}{2a_2} + \frac{GJ_x}{a_2} + \frac{4EI_y}{b} + \frac{5Ga_2bh}{6}; k_{45} = 0; k_{46} = -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} + \\ &+ \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} = 0; k_{51} = 0; k_{52} = -\frac{EI_x}{a_2} + \frac{a_2}{2} \cdot \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} = -\frac{EI_x}{a_2} + \frac{5Ga_2bh}{24}; k_{53} = \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} = \frac{5Gb}{12}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_{54} = 0; k_{55} &= \frac{EI_x}{a_2} + \frac{a_2}{2} \cdot \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} + \frac{GJ_y}{b} + \frac{GJ_y}{b} + \frac{2EI_x}{a_2} + \frac{a_2}{2} \cdot \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_2} = \frac{3EI_x}{a_2} + \frac{2GJ_y}{b} + \\
 &+ \frac{5Ga_2bh}{8}; k_{56} = -\frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} + \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_2} = \frac{5Gb}{12}; k_{61} = 0; k_{62} = -\frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} = -\frac{5Gb}{12}; \\
 k_{63} &= -\frac{5Gb}{6a_2}; k_{64} = -\frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} + \frac{b}{2} \cdot \frac{5Ga_2h}{3b} = 0; k_{65} = -\frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{6a_2} + \frac{a_2}{2} \cdot \frac{5Gb}{3a_2} = \frac{5Gb}{12}; \\
 k_{66} &= \frac{5Gb}{6a_2} + \frac{5Ga_2h}{3b} + \frac{5Ga_2h}{3b} + \frac{5Gb}{3a_2} = \frac{5Gb}{6a_2} + \frac{5Gb}{3a_2} + \frac{10Ga_2h}{3b}.
 \end{aligned}$$

Система разрешающих уравнений в матричное форме имеет вид

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{W} = \mathbf{P}, \quad (9)$$

$$\mathbf{W} = \mathbf{K}^{-1} \cdot \mathbf{P} \quad (10)$$

Где векторы неизвестных перемещений и внешних сил представляются в виде.

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \varphi_{x1} \\ \varphi_{y1} \\ w_1 \\ \varphi_{x2} \\ \varphi_{y2} \\ w_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} M^*_{x1} \\ M^*_{y1} \\ F^*_{z1} \\ M^*_{x2} \\ M^*_{y2} \\ F^*_{z2} \end{bmatrix}$$

Матричное уравнение можно представить в следующем виде

$$\begin{bmatrix} \varphi_{x1} \\ \varphi_{y1} \\ w_1 \\ \varphi_{x2} \\ \varphi_{y2} \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11}^{-1} & 0 & 0 & k_{14}^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & k_{22}^{-1} & k_{23}^{-1} & 0 & k_{25}^{-1} & k_{26}^{-1} \\ 0 & k_{32}^{-1} & k_{33}^{-1} & 0 & k_{35}^{-1} & k_{36}^{-1} \\ k_{41}^{-1} & 0 & 0 & k_{44}^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & k_{52}^{-1} & k_{53}^{-1} & 0 & k_{55}^{-1} & k_{56}^{-1} \\ 0 & k_{62}^{-1} & k_{63}^{-1} & 0 & k_{65}^{-1} & k_{66}^{-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M^*_{x1} \\ M^*_{y1} \\ F^*_{z1} \\ M^*_{x2} \\ M^*_{y2} \\ F^*_{z2} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

Решая систему уравнений (11) получим

$$\varphi_{x1} = \frac{M^*_{x1}}{k^{-1}_{11}} + \frac{M^*_{x2}}{k^{-1}_{14}}, \varphi_{y1} = \frac{M^*_{y1}}{k^{-1}_{22}} + \frac{M^*_{y2}}{k^{-1}_{25}} + \frac{F^*_{z1}}{k^{-1}_{23}} + \frac{F^*_{z2}}{k^{-1}_{26}}, W_1 = \frac{M^*_{y1}}{k^{-1}_{32}} + \frac{F^*_{z1}}{k^{-1}_{33}} + \frac{M^*_{y2}}{k^{-1}_{35}} + \frac{F^*_{z2}}{k^{-1}_{36}}$$

$$\varphi_{x2} = \frac{M^*_{x1}}{k^{-1}_{41}} + \frac{M^*_{x2}}{k^{-1}_{44}}, \varphi_{y2} = \frac{M^*_{y1}}{k^{-1}_{52}} + \frac{F^*_{z1}}{k^{-1}_{53}} + \frac{M^*_{y2}}{k^{-1}_{55}} + \frac{F^*_{z2}}{k^{-1}_{56}}, W_2 = \frac{M^*_{y1}}{k^{-1}_{62}} + \frac{F^*_{z1}}{k^{-1}_{63}} + \frac{M^*_{y2}}{k^{-1}_{65}} + \frac{F^*_{z2}}{k^{-1}_{66}}$$

Далее реализуем разработанный алгоритм на примере при следующих данных:  
 $h = 0,05$  м - толщина плиты;  $E = 2 \cdot 10^6$  т/м<sup>2</sup> - модуль упругости;

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{2 \cdot 10^6}{2(1+0.3)} = 0,769 \cdot 10^6 \text{ т/м}^2; G = 0,769 \cdot 10^6 \text{ т/м}^2 - \text{модуль сдвига};$$

$$\mu = 0,3 - \text{коэффициент Пуассона}; I_x = I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \cdot 0,05^3}{12} = \frac{1 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^3}{12} = 10,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$I_x = I_y = 10,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 - \text{момент инерции}; J_x = J_y = \lambda a(b)h \text{ здесь } \lambda = \frac{1}{3} \text{ при}$$

$$\text{отношении сторон } \frac{b}{h} > 10; J_x = J_y = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 0,05^3 = 4,1666 \cdot 10^{-5} = 41,666 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$J_x = J_y = 41,666 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 - \text{крутильной жёсткости}; M^*_x = M^*_y = 10 \text{ т} \cdot \text{м},$$

$$F^*_z = 10 \text{ т} - \text{внутренних усилий}; a_1 = a_2 = b = 1,0 \text{ м} - \text{длина и ширина плиты}.$$

Вычисляем коэффициенты жесткости:

$$k_{11} = \frac{GJ_x}{a_1} + \frac{GJ_x}{2a_1} + \frac{4EI_y}{b} + \frac{5a_1bGh}{6} = \frac{0,769 \cdot 10^6 \cdot 41,666 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{0,769 \cdot 10^6 \cdot 41,666 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1} +$$

$$+ \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 10,41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,769 \cdot 10^6 \cdot 0,05}{6} = 32173 \text{ т} \cdot \text{м}$$

$$k_{14} = -\frac{GJ}{2a_1} = -\frac{0,769 \cdot 10^6 \cdot 41,666 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1} = -16,02 \text{ т} \cdot \text{м}$$

$$k_{22} = \frac{3EI_x}{a_1} + \frac{2GJ_y}{b} + \frac{5a_1bGh}{8} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 10,41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{2 \cdot 0,769 \cdot 10^6 \cdot 41,666 \cdot 10^{-6}}{1} +$$

$$+ \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,769 \cdot 10^6 \cdot 0,05}{8} = 62,46 + 64,08 + 24031,25 = 24157,79 \text{ т} \cdot \text{м}$$

$$\begin{aligned}
 k_{23} &= -\frac{5bGh}{12} = -\frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = -16020.83 \text{ Т} \\
 k_{25} &= -\frac{EI_x}{a_1} + \frac{5a_1bGh}{24} = -\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 10.41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{24} = \\
 &= -20.82 + 8010.42 = 7989.59 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{26} &= -\frac{5Gb^2h}{12} = -\frac{5 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0.05}{12} = -16020.83 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{32} &= -\frac{5bGh}{12} = -\frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = 16020.83 \text{ Т} \\
 k_{33} &= \frac{10a_1Gh}{3b} + \frac{15bGh}{6a_1} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{3 \cdot 1} + \frac{15 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{6 \cdot 1} = \\
 &= 128166.66 + 96125 = 224291.66 \text{ Т/М} \\
 k_{35} &= \frac{5Gb^2h}{12} = 16020.83 \text{ Т} \\
 k_{36} &= -\frac{5bGh}{6a_1} = -\frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{6 \cdot 1} = -32041.66 \text{ Т/М} \\
 k_{41} &= -\frac{GJ_x}{2a_2} = -\frac{0.769 \cdot 10^6 \cdot 41.666 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1} = -16.02 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{44} &= \frac{GJ_x}{2a_2} + \frac{GJ_x}{a_2} + \frac{4EI_y}{b} + \frac{5a_2bGh}{6} = \frac{0.769 \cdot 10^6 \cdot 41.666 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1} + \frac{0.769 \cdot 10^6 \cdot 41.666 \cdot 10^{-6}}{1} + \\
 &+ \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 10.41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{6} = 16.02 + 32.041 + 83.28 + 32041.66 = \\
 &= 32173 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{52} &= -\frac{EI_x}{a_2} + \frac{5a_2bGh}{24} = -\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 10.41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{24} = 7989.59 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{53} &= \frac{5bGh}{12} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = 16020.83 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{55} &= \frac{3EI_x}{a_2} + \frac{2GJ_y}{b} + \frac{5a_2bGh}{8} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 10.41 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{2 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 41.666 \cdot 10^{-6}}{1} + \\
 &+ \frac{5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{8} = 62.46 + 64.08 + 24031.25 = 24157.79 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{56} &= \frac{5bGh}{12} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = 16020.83 \text{ Т} \cdot \text{М} \\
 k_{62} &= -\frac{5bGh}{12} = -\frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = -16020.83 \text{ Т} \cdot \text{М}
 \end{aligned}$$

$$k_{63} = -\frac{5bGh}{6a_2} = -\frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{6 \cdot 1} = -32041.66 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$k_{65} = \frac{5bGh}{12} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{12} = 16020.83 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

$$k_{66} = \frac{5bGh}{3a_2} + \frac{5bGh}{6a_2} + \frac{10a_2Gh}{3b} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{3 \cdot 1} + \frac{5 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{6 \cdot 1} + \frac{10 \cdot 1 \cdot 0.769 \cdot 10^6 \cdot 0.05}{3 \cdot 1} = 64083.33 + 32041.66 + 128166.66 = 224291.66 \text{ Т} \cdot \text{м}$$

Вычисляем неизвестных перемещений

$$\begin{bmatrix} \varphi_{x1} \\ \varphi_{y1} \\ w_1 \\ \varphi_{x2} \\ \varphi_{y2} \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.1082 \cdot 10^{-5} & 0 & 0 & 1.5 \cdot 10^{-10} & 0 \\ 0 & 6.173 \cdot 10^{-5} & 7.696 \cdot 10^{-6} & 0 & -3.0624 \cdot 10^{-5} \\ 0 & 7.696 \cdot 10^{-6} & 5.834 \cdot 10^{-6} & 0 & -7.696 \cdot 10^{-6} \\ 1.5 \cdot 10^{-10} & 0 & 0 & 3.1082 \cdot 10^{-5} & 0 \\ 0 & -3.0624 \cdot 10^{-5} & -7.696 \cdot 10^{-6} & 0 & 6.173 \cdot 10^{-5} \\ 0 & 7.696 \cdot 10^{-6} & 1.933 \cdot 10^{-6} & 0 & -7.696 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 7.696 \cdot 10^{-6} \\ 1.933 \cdot 10^{-6} \\ 0 \\ -7.696 \cdot 10^{-6} \\ 5.834 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 4.6499 \cdot 10^{-4} \\ 7.7669 \cdot 10^{-5} \\ 3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 1.5714 \cdot 10^{-4} \\ 7.7669 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix}$$

Вектора деформаций в матричной форме имеет вид

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W} + \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{0} \tag{12}$$

$$\boldsymbol{\lambda} = -\mathbf{A}^T \mathbf{W} \tag{13}$$

$$\begin{bmatrix} 4.6499 \cdot 10^{-4} \\ -3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 1.5482 \cdot 10^{-4} \\ 3.1097 \cdot 10^{-4} \\ -4.6499 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\lambda = - \begin{bmatrix} -7.78176 \cdot 10^{-5} \\ -3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 4.6499 \cdot 10^{-4} \\ -2.3315 \cdot 10^{-4} \\ -3.0784 \cdot 10^{-4} \\ 0 \\ 1.5392 \cdot 10^{-4} \\ 3.1097 \cdot 10^{-4} \\ -1.5714 \cdot 10^{-4} \\ -7.78176 \cdot 10^{-5} \\ -3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 1.5714 \cdot 10^{-4} \\ -2.3315 \cdot 10^{-4} \\ -1.5714 \cdot 10^{-4} \\ 3.1097 \cdot 10^{-4} \\ 1.5624 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Вектора внутренних сил в матричной форме имеет вид

$$\mathbf{S} = \mathbf{C} \times \lambda \quad (14)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} -1.9362 \cdot 10^{-2} \\ 9.9639 \cdot 10^{-3} \\ -9.9217 \\ -1.2948 \cdot 10^{-2} \\ 1.4898 \cdot 10^{-2} \\ 4.9868 \\ 1.2948 \cdot 10^{-2} \\ -1.4898 \cdot 10^{-2} \\ 14.9414 \\ 6.4093 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ -4.9319 \\ -1.2948 \cdot 10^{-2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 5.035 \cdot 10^{-3} \\ 4.9868 \\ 1.2948 \cdot 10^{-2} \\ -5.035 \cdot 10^{-3} \\ 14.9414 \\ 6.5434 \cdot 10^{-3} \\ -9.9639 \cdot 10^{-3} \\ -10.0124 \end{bmatrix}$$

Результаты численного решения были сопоставлены с результатами аналитического решения [4], где прогиб в центре и изгибающие моменты по контуру прямоугольной плиты

$$W = 0.00254 \frac{qa^4}{D} = 8.53 \cdot 10^{-4} \text{ м}, M_x = -0.01936 \text{ Т} \cdot \text{м}, M_y = -0.01294 \text{ Т} \cdot \text{м}.$$

При разбивке прямоугольной пластины на два элемента МСД (рис. 1) прогиб и изгибающие моменты равны:

$$W = 7.76694 \cdot 10^{-5} \text{ м}, M_x = -0.829 \text{ Т} \cdot \text{м}, M_y = -0.571 \text{ Т} \cdot \text{м}.$$

Расчет выполнен для двух элементов вручную без использования программных комплексов. Следовательно, погрешность получается, больше, чем допустимого. Однако при увеличении число разбивки элементов, точность расчета повышается.

**Вывод.** Реализация алгоритм на простых примерах, сравнения результатов с известными решениями, анализ точности и сходимости показывают, что метод сосредоточенных деформаций, суть которого состоит в преобразовании дифференциального уравнения, описывающего поведение неизвестной функции внутри и на границе области, к системе алгебраических уравнений, можно использовать для решения сложных задач. При увеличении число разбивки элементов результат приближается к точному решению.

### Список литературы

1. Ржаницын А.Р. Расчет сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций. Стр. мех. и расчет соор., 1980, №5, с. 15-20.
2. Додонов М.И. Расчет изгибаемы х пластин методом сосредоточенных деформаций. Строительная механика и расчёт сооружений, 1986, №2, с. 22-25.
3. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. Душанбе: изд-во «Дониш», 2015. – 436 с.
4. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М., 1966 г., 636 с.
5. Вайнгбер Д. В. «Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин», Киев, «Будівельник», 1973, 488 с.

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

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name	Низомов Чаҳонгир Низомович	Низомов Джахонгир Низомович	Nizomov Djahongir Nizomovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и ученое звание, Title	Д.и.т., профессор	Д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Ташкилот, Организация, Organization	Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмология	Институт геология, сейсмостойкого	Institute of Geology,

		строительства и сейсмологии	Earthquake Engineering and Seismology NAST
e-mail	tees@mail.ru		
ORCID Id	0000-0002-6467-0789		
Ному насаб, ФИО, Name	Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович	Qalandarbekov Imomyorbek Qalandarbekovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и ученое звание, Title	Д.и.т., профессор	Д.т.н., профессор	D.t.s., Professor
Ташкилот, Организация, Organization	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
e-mail	kalandarbekov-55@mail.ru		
ORCID Id	0000-0002-4807-0169		
Ному насаб, ФИО, Name	Исвалиев Далерҷон Чурахонович	Исвалиев Далерджон Джурахонович	Isvaliev Dalerjon Djurakhonovich
Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и ученое звание, Title	-	-	-
Ташкилот, Организация, Organization	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi
e-mail	disvaliev@mail.ru		
ORCID Id	0000-0003-3138-9779		

**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</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.

## (AUTHORS' BACKGROUND)

	TJ	RU	EN
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			

<b>КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ</b> (CONFLICT OF INTEREST)	<p>Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой.</p> <p>Пример:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конфликт интересов: Автор Х.Х.Х. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX.</li> <li>2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.</li> </ol> <p>Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи</p>
<b>ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ</b> (AUTHOR CONTRIBUTIONS).	<p>Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно).</p> <p>Пример данного раздела:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации</li> </ol>
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНО</b> (по желанию автора)	
<b>БЛАГОДАРНОСТИ</b> (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)	<p>Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.</p>
<b>ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ</b> (FUNDING)	<p>Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.</p>
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b> (ADDITIONAL INFORMATION)	<p>В этом разделе могут быть помещены:</p> <p>Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них.</p> <p>Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе).</p> <p>Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладах на конференциях и семинарах.</p>

<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.

5. Требования к оформлению статей

Рекомендуемый объем оригинальной статьи – до 10 страниц, обзора – до 15 страниц, включая рисунки, таблицы, библиографический список. В рубрику «Краткие сообщения» принимаются статьи объемом не более 3 страниц, включая 1 таблицу и 2 рисунка.

Рекомендации по набору и оформлению текста

Наименование	Требования	Примечания
Формат страницы	A4	
Параметры страницы и абзаца	отступы сверху и снизу - 2.5 см; слева и справа - 2 см; табуляция - 2 см;	ориентация - книжная
Редактор текста	Microsoft Office Word	
Шрифт	Times New Roman, 12 пунктов	
межстрочный интервал	Одинарный, выравнивание по ширине	Не использовать более одного пробела между словами, пробелы для выравнивания, автоматический запрет переносов, подчеркивания.
Единица измерения	Международная система единиц СИ	
Сокращения терминов и названий	В соответствии с ГОСТ 7.12-93.	должны быть сведены к минимуму
Формулы	Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские курсивом. Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются.	Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо
Таблицы	При создании таблиц рекомендуется использовать возможности MS Word (Таблица – Добавить таблицу) или MS Excel. Таблицы должны иметь порядковые номера, название и ссылку в тексте. Таблицу следует располагать в тексте после первого упоминания о ней. Интервал между строчками в таблице можно уменьшать до одинарного, размер шрифта – до 9 пунктов.	Внутри таблицы заголовки пишутся с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Заголовки центрируются. Боковые – по центру или слева. Диагональное деление ячеек не рекомендуется. В пустой ячейке обязателен прочерк (тире –). Количество знаков после запятой (точность измерения) должно быть одинаковым.
Рисунки (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы)	Должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте, которую следует располагать в тексте после первого упоминания о рисунке. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с MS Word (*JPEG, *BIF, *TIFF (толщина линий не менее 3 пкс) Фотографии должны быть предельно четкими, с разрешением 300 dpi. Максимальный размер рисунка: ширина 150 мм, высота 245 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись, в которой дается объяснение всех его элементов. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами и комментируются в подписях к рисункам.	Заголовки таблиц и подрисуночные подписи должны быть по возможности лаконичными, а также точно отражающими смысл содержания таблиц и рисунков. Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Все надписи на рисунках (наименования осей, цифры на осях, значки точек и комментарии к ним и проч.) должны быть выполнены достаточно крупно, одинаковым шрифтом, чтобы они легко читались при воспроизведении на печати. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском языке. Не допускается наличие рамок вокруг и внутри графиков и диаграмм. Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel.

Рукопись должна быть построена следующим образом:

Раздел	Содержание (пример)	Расположение
Индекс УДК <sup>4</sup>	<b>УДК 62.214.4; 621.791.05</b>	в верхнем левом углу полужирными буквами
Заголовок	<b>НАЗВАНИЕ СТАТЬИ</b> (должен быть информативным и, по возможности, кратким) (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Авторы	<b>Инициалы и фамилии авторов</b> (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) Пример: энергосбережение, производство корунда, глинозем, энергопотребление, оптимизация	Выровнять по ширине
На двух других языках приводится: Заголовок Авторы Организация 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.

Мухаррири матни русӣ: М.М. Якубова  
Мухаррири матни тоҷикӣ: Муаллифон  
Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ: Ф.М. Раҳимов

Редактор русского текста: М.М. Якубова  
Редактор таджикского текста: Авторская редакция  
Компьютерный дизайн и верстка: Ф.М. Рахимов

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Раҷабовҳо, 10<sup>А</sup>  
Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раҷабовых, 10<sup>А</sup>

Ба чоп 26.06.2023 имзо шуд. Ба матбаа 03.07.2023 супорида шуд.  
Чопи офсетӣ. Қоғози офсет. Андозаи 60x84 1/8  
Адади нашр 50 нусха.

Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ  
ш. Душанбе, кӯчаи акад. Раҷабовҳо, 10<sup>А</sup>