

ISSN 2520-2227

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Таҳқиқотҳои муҳандисӣ

1 (69) 2025

---



**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
Серия: Инженерные исследования

**POLYTECHNIC BULLETIN**  
Series: Engineering studies

# ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ БАХШИ ТАҲҚИҚОТҲОИ МУҲАНДИСӢ

ISSN  
2520-2227

1(69)  
2025



МАЧАЛЛАИ ИЛМӢ – ТЕХНИКӢ

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

Published since January 2008

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

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

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

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

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

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

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

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК**  
СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ

**POLYTECHNIC BULLETEN**  
SERIES: ENGINEERING STUDIES

**ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ**  
**САРМУҲАРРИР**

**Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА**  
д.и.и, профессор

**Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА**  
н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир  
**Ш.А. БОЗОРОВ**  
н.и.т., дотсент, муовини сармуҳаррир

**АЪЗОЁН**

**А.И. СИДОРОВ**  
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

**А.Г. ФИШОВ**  
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

**З.Ш. ЮЛДАШЕВ**  
д.и.т., дотсент

**Л.С. ҚАСОБОВ**  
н.и.т., дотсент

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

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

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

**Т.Ҷ. ҶУРАЕВ**  
д.и.х., профессор

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

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

**А.С. САЙДАЛИЗОДА**  
д.и.т., дотсент

**В.В. СИЛЯНОВ**  
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

**Р.А. ДАВЛАТШОЕВ**  
н.и.т., дотсент

**М.Ю. ЮНУСОВ**  
н.и.т., и.в. дотсент

**Р.САЛОМЗОДА**  
н.и.т., дотсент

**Ҷ.Н. НИЗОМОВ**  
узви вобастаи АМИТ, д.и.т., профессор

**И. ҚАЛАНДАРБЕКОВ**  
д.и.т., профессор

**А. Г. ГИЯСОВ**  
д.и.т., профессор (Федератсияи Россия)

**Н.Н. ҲАСАНОВ**  
доктори меъморӣ, и.в. профессор

**Р.С. МУҚИМОВ**  
доктори меъморӣ, профессор

**Ҷ.Ҳ. САИДЗОДА**  
д.и.т., профессор

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

**Н.М. ҲАСАНОВ**  
д.и.т., дотсент

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**  
**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**К.К. ДАВЛАТЗОДА**  
д.э.н., профессор

**Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА**  
к.т.н., доцент, зам. главного редактора  
**Ш.А. БОЗОРОВ**  
к.т.н., доцент, зам. главного редактора

**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ**

**А.И. СИДОРОВ**  
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

**А.Г. ФИШОВ**  
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

**З.Ш. ЮЛДАШЕВ**  
д.т.н., доцент

**Л.С. КАСОБОВ**  
к.т.н., доцент

**А.К.КИРГИЗОВ**  
к.т.н., и.о. доцента

**И.Н. ГАНИЕВ**  
академик АН РТ, д.х.н. профессор

**Х.О. ОДИНАЗОДА**  
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**Т.Д. ДЖУРАЕВ**  
д.х.н., профессор

**М.М. ҲАҚДОД**  
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**А.Б. БАДАЛОВ**  
член-корр. АН РТ, д.х.н., профессор

**А.С.САЙДАЛИЗОДА**  
д.т.н., доцент

**В.В.СИЛЬЯНОВ**  
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

**Р.А. ДАВЛАТШОЕВ**  
к.т.н., доцент

**М.Ю. ЮНУСОВ**  
к.т.н., и.о. доцента

**Р.САЛОМЗОДА**  
к.т.н., доцент

**Д.Н. НИЗОМОВ**  
член-корр. АН РТ, д.т.н., профессор

**И.КАЛАНДАРБЕКОВ**  
д.т.н., профессор

**А. Г. ГИЯСОВ**  
д.т.н., профессор (Российская Федерация)

**Н.Н. ХАСАНОВ**  
доктор архитектуры, и.о. профессора

**Р.С. МУКИМОВ**  
доктор архитектуры, профессор

**Дж.Х. САИДЗОДА**  
д.т.н., профессор

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

**Н.М. ХАСАНОВ**  
д.т.н., доцент

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

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

## МУНДАРИҶА – ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ЭНЕРГЕТИКА - ENERGY .....</b>	<b>5</b>
<i><u>ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЮЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН .....</u></i>	<i><u>5</u></i>
Ш.Дж. Джуразода <sup>1</sup> , М.К. Джаборов <sup>2</sup> , З.Х. Хабибуллозода <sup>2</sup> , М.М. Вохидов <sup>2</sup> .....	5
<i><u>К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ .....</u></i>	<i><u>17</u></i>
Ф.М. Рахимов, О.С. Хабибов.....	17
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE.....</b>	<b>25</b>
<i><u>ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ИСТИКЛОЛ» (ТУТЛИ) . 25</u></i>	<i><u>25</u></i>
Х.И. Холов <sup>1,2</sup> , Н.Т. Шарифбоев <sup>3</sup> , Ш.Р. Джуракулов <sup>4</sup> , Ш.Р. Самихов <sup>1</sup> .....	25
<i><u>ПРИМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА КАТАЛИЗАТОРОВ.....</u></i>	<i><u>33</u></i>
Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев, Б.С. Сафаров .....	33
<i><u>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ БУМАГИ.....</u></i>	<i><u>39</u></i>
Д.Ч. Равшанзода (Д.Ч. Равшанов) <sup>1</sup> , Х.А. Бабаханова <sup>2</sup> , А.А.Саодатов <sup>3</sup> .....	39
<b>ТЕХНОЛОГИИ КИМИЁВӢ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY .....</b>	<b>48</b>
<i><u>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЗОТНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ФОСФОРИТНОГО КОНЦЕНТРАТА РИВАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НРК-УДОБРЕНИЙ .....</u></i>	<i><u>48</u></i>
Х.З. Карамбахшов <sup>1</sup> , Ш.А. Курбонов <sup>1</sup> , Х.И. Холов <sup>1,2</sup> , Ш.Р. Самихов <sup>1</sup> , С.Ш. Сафаров <sup>1</sup> .....	48
<b>НАҚЛИЁТ - ТРАНСПОРТ - TRANSPORT .....</b>	<b>55</b>
<i><u>ОИД БА БЕХАТАРИИ ЗИДДИСӢХТОРИ АВТОМОБИЛҲОИ БАРҚӢ .....</u></i>	<i><u>55</u></i>
<sup>1</sup> Мамадамон Абдулло, <sup>2</sup> А.А. Абдуллоев .....	55
<i><u>ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА .....</u></i>	<i><u>65</u></i>
И.А. Исмаатов .....	65
<i><u>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРУЖИН КРУЧЕНИЯ В ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....</u></i>	<i><u>68</u></i>
Б.Н. Акрамов.....	68
<i><u>РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА .....</u></i>	<i><u>72</u></i>
<sup>1</sup> А.А. Абызов, <sup>1</sup> К.Дж Мухиддинзода .....	72
<i><u>ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРСПЕКТИВНОГО ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ГОРНЫХ МАШИН С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ .....</u></i>	<i><u>79</u></i>
Ш.З. Нажмудинов, Б.Н. Одиназода .....	79
<i><u>ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....</u></i>	<i><u>83</u></i>
А.М. Умирзоков.....	83
<i><u>АСОСНОКГАРДОНИИ СИСТЕМАИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ҶУЗӢӢ (ҒАЙРИМАӢМУЛ)-И БАҲОДИҲИИ РУШДИ ИЛМИЮ ТЕХНИКӢ ДАР НАҚЛИЁТИ АВТОМОБИЛИИ МУСОФИРБАР .....</u></i>	<i><u>89</u></i>
Ф.М. Юнусов, А.А. Раҷабов.....	89
<i><u>УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ДОБАВКАХ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО .....</u></i>	<i><u>94</u></i>
Б.И.Махсуд, Шарофи З.Ш.....	94
<i><u>ВЛИЯНИЕ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ .....</u></i>	<i><u>99</u></i>

Р.А. Давлатшоев.....	99
<b><u>МУШКИЛИҶОИ ЭКОЛОҶИ ДАР МАРКАЗҶОИ ЛОГИСТИКИЮ НАҚЛИЁТӢ: ТАҲЛИЛ ВА РОҶҶОИ ҲАЛЛИ ОНҶО</u></b> .....	<b>106</b>
Ф.Н. Низомзода .....	106
<b><u>ДОРОГИ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ЗАЛОГ ИХ ДОЛГЛВЕЧНОСТИ</u></b> .....	<b>110</b>
Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов .....	110
<b><u>ОЦЕНКА СУРОВОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА УЧАСТКЕ ДУШАНБЕ – САНГВОР БОЛЬШОГО ПАМИРСКОГО ТРАКТА</u></b> .....	<b>114</b>
Умирзоков А.М. <sup>1</sup> , Назаров Т.Ш. <sup>2</sup> .....	114
<b><u>КАМЕННЫЕ ДОРОГИ. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВЫГОДЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</u></b> .....	<b>121</b>
Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов .....	121
<b>СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE</b> .....	<b>128</b>
<b><u>СУЛЬФАТИРОВАНИЕ ВЫСОКООСНОВНОГО ФЕРРИТНОГО КЛИНКЕРА</u></b> .....	<b>128</b>
<b><u>НА ОСНОВЕ ФЕРРИТНОГО ОТХОДА</u></b> .....	<b>128</b>
Дж.Х. Саидзода, А.А. Акрамов, М.Р. Джуракулов.....	128
<b><u>ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ</u></b> .....	<b>134</b>
Д.Н. Низомов, И.К. Каландарбеков *, Д.Дж. Исвалиев *, И.И. Каландарбеков * .....	134
<b><u>НАҚШИ ТАҲСИЛОТИ ФАРОГИР ДАР ҶОМЕЪАИ МУОСИР</u></b> .....	<b>138</b>
Д.Ф.Сафарзода, А.Р. Муминов, К.Р. Рабиев, М.У. Шерматов.....	138
<b><u>ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА КЛИНКЕРА ОТ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ</u></b> .....	<b>144</b>
А.А. Акрамов, Х.В. Юсупов .....	144
<b><u>ИНТИХОБИ ҲАЛҶОИ МЕЪМОРӢ, ТАРҶИВУ ҲАҶМӢ ВА КОНСТРУКТИВӢ, КИ ГАРМИМУҶОФИЗИИ МУСОИДИ БИНОҶОРО ТАЪМИН МЕНАМОЯНД</u></b> .....	<b>150</b>
Д.Ф.Сафарзода, Н.Н. Ҳасанов. К.Р. Рабиев .....	150
<b><u>МАФҶУМҶОИ АСОСИИ ДИЗАЙНИ АКУСТИКӢ</u></b> .....	<b>158</b>
Б.С. Ашурзода, Н.Н. Ҳасанов .....	158

УДК 621.311

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЮЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Ш.Дж. Джуразода<sup>1</sup>, М.К. Джаборов<sup>2</sup>, З.Х. Хабибуллозода<sup>2</sup>, М.М. Вохидов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал в г. Душанбе

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

В статье приведен краткий обзор состояния южных электрических сетей Республики Таджикистан. Для полноценной оценки качества электроэнергии в рассматриваемой электрической сети были проведены измерения показателей качества электрической энергии. По результатам произведенных измерений даны соответствующие рекомендации для нормализации показателей качества электроэнергии.

**Ключевые слова:** оценка, качество электроэнергии, южные электрические сети, Республика Таджикистан.

## БАҶОДИҲИИ АСБОБИИ СИФАТИ ЭНЕРГИЯИ ЭЛЕКТРИКӢ ДАР ШАБАКАҲОИ ЭЛЕКТРИКИИ ҶАНУБИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Ш.Ҷ. Чуразода, М.К. Ҷаборова, З.Х. Ҳабибуллозода, М.М. Воҳидов

Дар мақола маълумоти кӯтоҳ дар бораи ҳолати шабакаҳои электрикии Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст. Барои баҳодиҳии пурраи сифати энергияи электрикӣ дар шабакаи электрикии баррасишаванда ченкунии нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ гузаронида шудааст. Мувофиқи натиҷаҳои ченкуниҳо барои бамеъёрдарории нишондиҳандаҳои сифати энергияи электрикӣ тавсияҳои зарурӣ дода шудаанд.

**Калимаҳои калидӣ:** баҳодиҳӣ, сифати энергияи электрикӣ, шабакаҳои электрикии ҷанубӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

## INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF POWER QUALITY IN THE SOUTHERN ELECTRIC NETWORKS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Sh.J. Jurazoda, M.K. Jaborov, Z.Kh. Habibullozoda, M.M. Vohidov

The article provides a brief overview of the state of the southern electrical networks of the Republic of Tajikistan. For a full assessment of the power quality in the electrical network under consideration, the power quality indicators were measured. The measurement results were then processed and, based on them, appropriate recommendations were given.

**Keywords:** assessment, power quality, southern electric networks, Republic of Tajikistan.

### Введение

Вопросы обеспечения качества электрической энергии (ЭЭ) до сих пор являются одними из основных нерешенных задач не только в электрических сетях Республики Таджикистан, но и в большинстве стран мира. Основные причины данной проблемы связаны с увеличением количества и мощности электроприёмников (ЭП) с нелинейными вольтамперными характеристиками (далее «нелинейная нагрузка»), которые отрицательно влияют на электромагнитную обстановку и качество электроэнергии (КЭ) в электрических сетях. Вдобавок ряд электрооборудования электрических сетей (трансформаторы, линии электропередачи и другие) тоже являются источниками высших гармонических составляющих тока, что ухудшает КЭ [1]. Понятно, что высшие гармоники тока (ВГТ), протекая по элементам сети, во-первых, создают дополнительные потери активной мощности, а во-вторых, создают падение напряжения на высших гармониках ( $\sum_{n=1}^k \Delta u_{(n)}(t)$ ), что в результате приводит к искажению формы кривой напряжения сети ( $u_c(t)$ ) [2]:

$$\sum_{n=1}^k \Delta u_{(n)}(t) = \sum_{n=1}^k i_{(n)}(t) \cdot z_{(n)} \quad (1)$$

$$u_p(t) = u_c(t) - \sum_{n=1}^k \Delta u_{(n)}(t) \quad (2)$$

где,  $i_{(n)}(t)$  – мгновенное значение высших гармонических составляющих тока порядка  $n$ ;  $z_{(n)}$  – комплексное сопротивление элементов электрической сети на гармонике  $n$ ; ( $u_p(t)$ ) – результирующее или искажённое напряжение электрической сети.

Дополнительные потери активной мощности на элементах электрической сети из-за наличия ВГТ можно определить следующим образом [3]:

$$\Delta P_{\text{доп}}^{\text{ЛЭП}} = 3 \cdot \sum_{n=2}^k I_n^2 \cdot R_1 \cdot k_{In} \quad (3)$$

где,  $n$  – порядковый номер гармоники;  $k$  – число, учитывающее порядок гармоник;  $I(n)$  – действующее значение тока  $n$  – ой гармонической составляющей;  $R_1$  — активное сопротивление элемента сети на частоте 50 Гц;  $k_{I(n)}$  — коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта, обычно его принимают равным,  $k_{I(n)} = 0,47 \cdot \sqrt{n}$ .

Ущербы, возникающие в электрических сетях из-за ВГТ, оцениваются десятками миллионов сомони. Основные отрицательные факторы влияния ВГТ на элементах электрической сети показаны на рисунке 1.

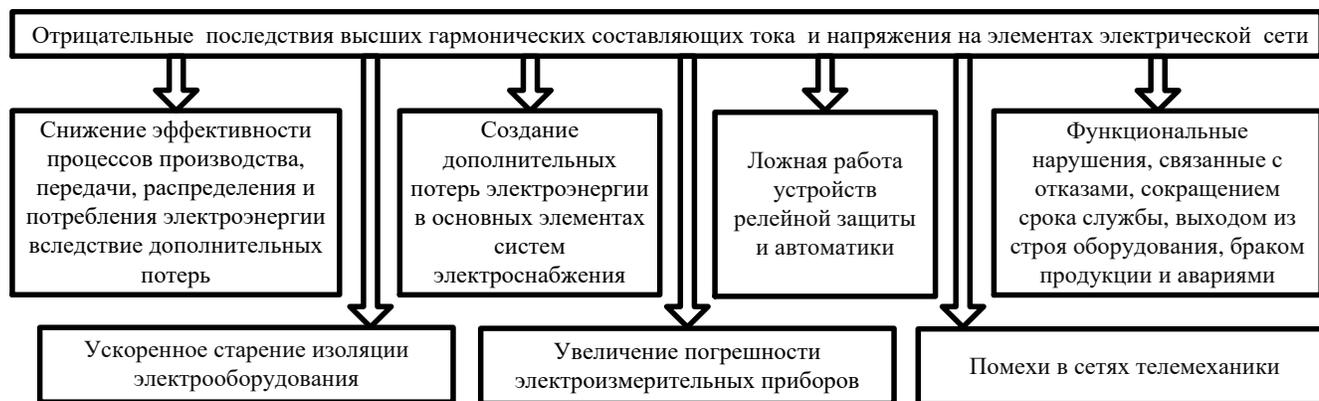


Рисунок 1 – Отрицательные факторы влияния высших гармонических составляющих тока и напряжения на элементы электрической сети

Для правильной оценки и анализа КЭ в электрических сетях необходимо провести инструментальную оценку КЭ с применением современных анализаторов и приборов, измеряющих показатели качества электроэнергии (ПКЭ). Инструментальная оценка КЭ – это процесс измерения и анализа параметров электрической энергии для выявления отклонений от нормативных значений [1], что позволяет определить соответствие качества поставляемой электроэнергии (ЭЭ) требованиям стандартов и норм [4].

Основные задачи контроля КЭ в электрических сетях представлены на рисунке 2.

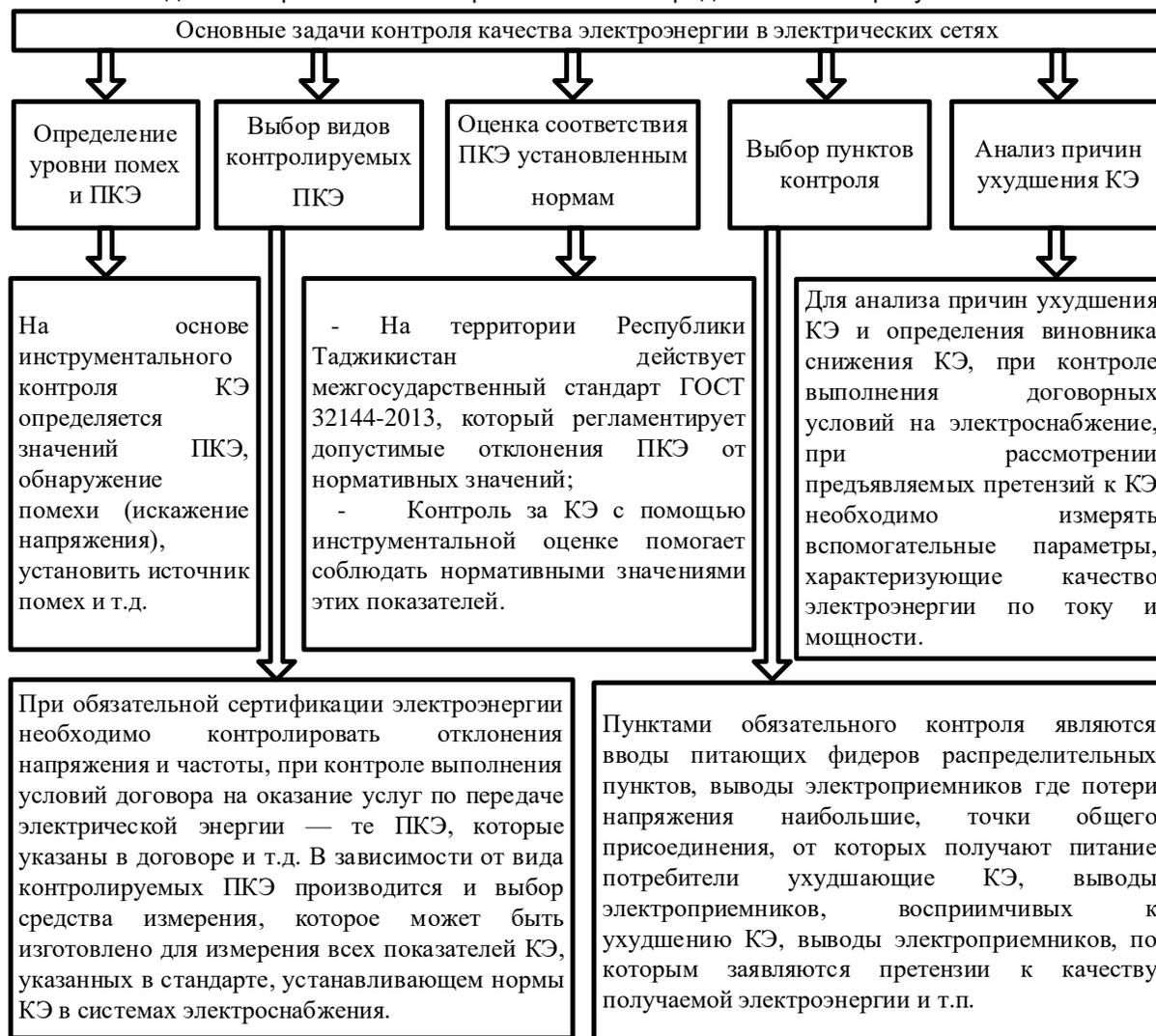


Рисунок 2 – Основные задачи контроля КЭ в электрических сетях

### Объект исследования

С каждым годом электроэнергетическая система (ЭЭС) Республики Таджикистан (РТ) развивается. Все электрические сети Таджикистана работают в общей энергосистеме, кроме энергосистемы горного Памира. ЭЭС РТ разделяется на три компании (ОАО «Барки Точик», ОАО «Передающие электрические сети» (ОАО «ПЭС») и ОАО «Распределительные электрические сети» (ОАО «РЭС»)), которые показаны на рисунке 3.

В основном, генерирующие источники ЭЭ находятся в южной части страны, а основные потребители электрической энергии находятся в центральной и северной частях страны. В связи с этим для соединения северной и южной частей энергосистемы была построена линия электропередачи 500 кВ (линия Север-Юг). По данным персоналов ОАО «ПЭС» автотрансформаторы ПС «Сугд» работают в перегруженном режиме во все времена года, коэффициент загрузки автотрансформаторов колеблется в пределах от 0,95 – 1,1.



Рисунок 3 – Структура ЭЭС РТ

По географическому месторасположению подстанций, источников ЭЭ и линий электропередачи вся энергосистема республики разделена на следующие подразделения:

1. Южные электрические сети (ЮЭС);
2. Северные электрические сети (СЭС);
3. Центральные электрические сети (ЦЭС).

Диаграммы количества и мощности подстанций, линий ЭЭС РТ приведены на рисунке 4.

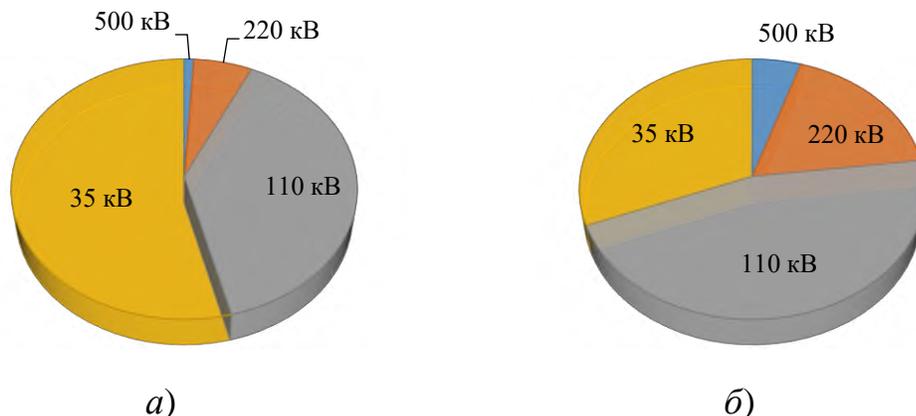


Рисунок 4 – Диаграмма подстанций (а) и ЛЭП (б) электрических сетей РТ

Значения фактических потерь ЭЭ по разными регионам РТ в соответствии с данными ОАО «РЭС» РТ в 2022 и 2023 годах в процентах от получаемой ЭЭ приведены на рисунке 5.

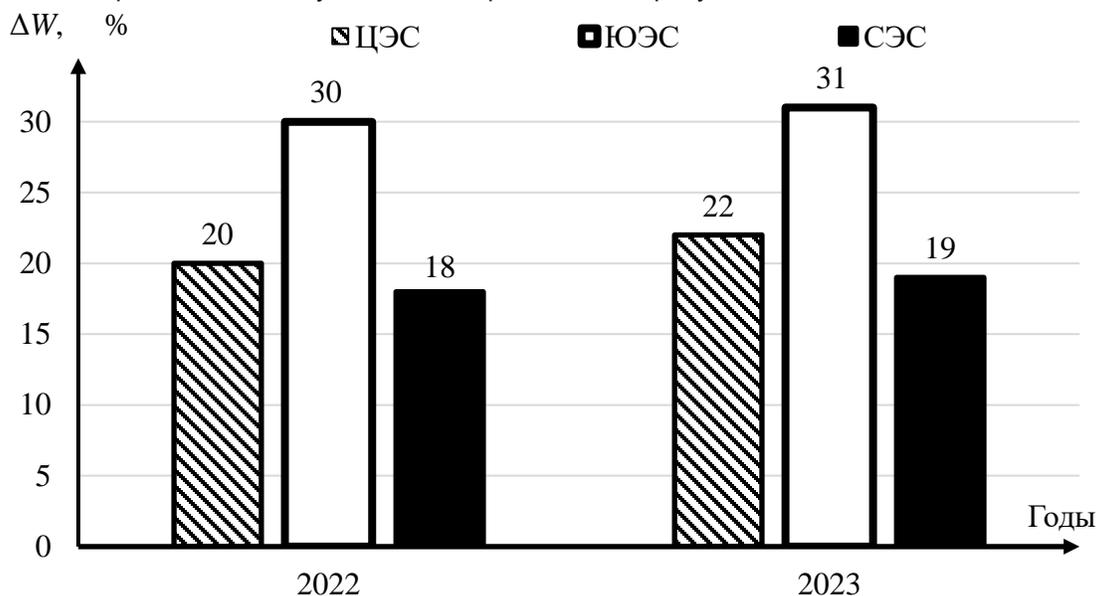


Рисунок 5 – Фактические потери ЭЭ при её транспортировке по электрическим сетям ОАО «РЭС» РТ за 2022 – 2023 годы

Как видно из рисунка 5, наибольшее значение потерь ЭЭ наблюдается в южной части республики. Например, относительные потери ЭЭ в южной части республики в 2022 году в 1,5 раза больше, чем центральной и 1,67 раза больше, чем северной части республики, а в 2023 году эти показатели соответственно равны 1,41 и 1,63. Исходя из этого решение о проведении исследований в южных электрических сетях РТ является актуальным и своевременным.

ЮЭС РТ (с 2018 года разделены на две части - филиал ОАО «ПЭС» и филиал ОАО «РЭС» в г. Бохтар) были основаны в 1960 г. Филиал ОАО «ПЭС» и филиал ОАО «РЭС» в г. Бохтар распределяют и реализуют ЭЭ в городах и районах Хатлонской области (Бохтарский регион), такие как Бохтар, Левакант, Кушониён, Вахш, Дж. Балхи, Джайхун, Пяндж, Хуросон, Н.Хосрав, Дусты, Кубодиён, Шаартуз, А. Джамии. Уровень потерь ЭЭ в Филиале ОАО «Передающие электрические сети» в г. Бохтар с 2021 г. по 2023 г. приведены на рисунке 6.

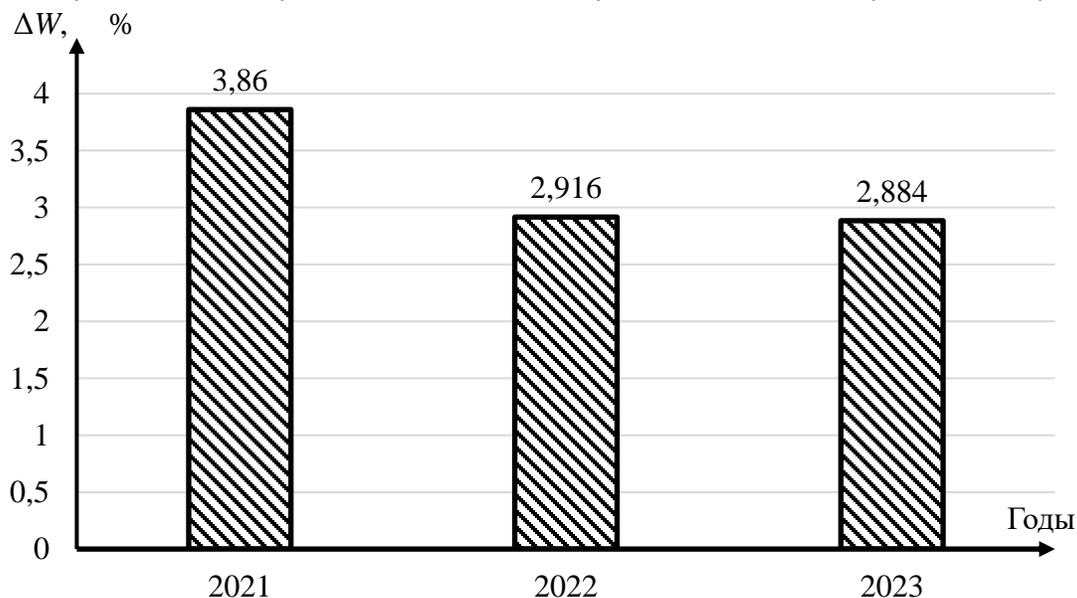
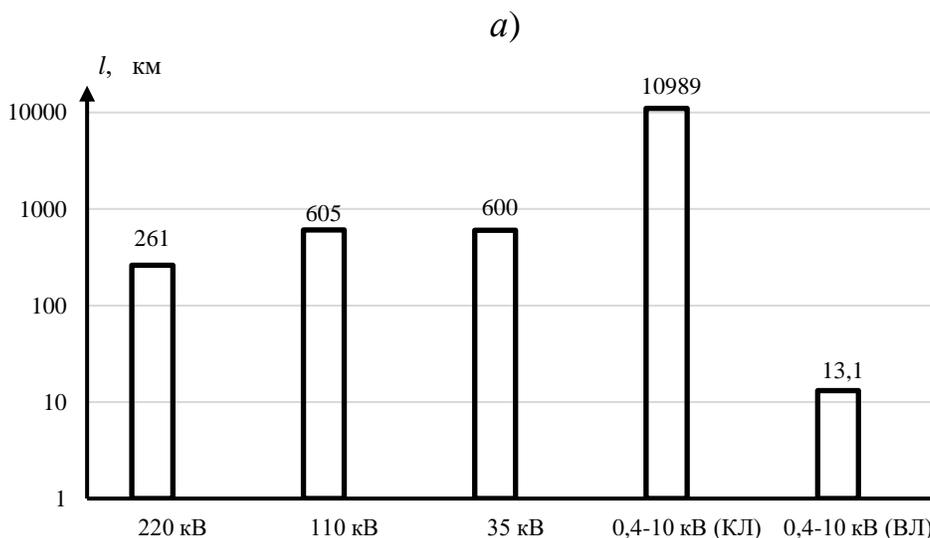
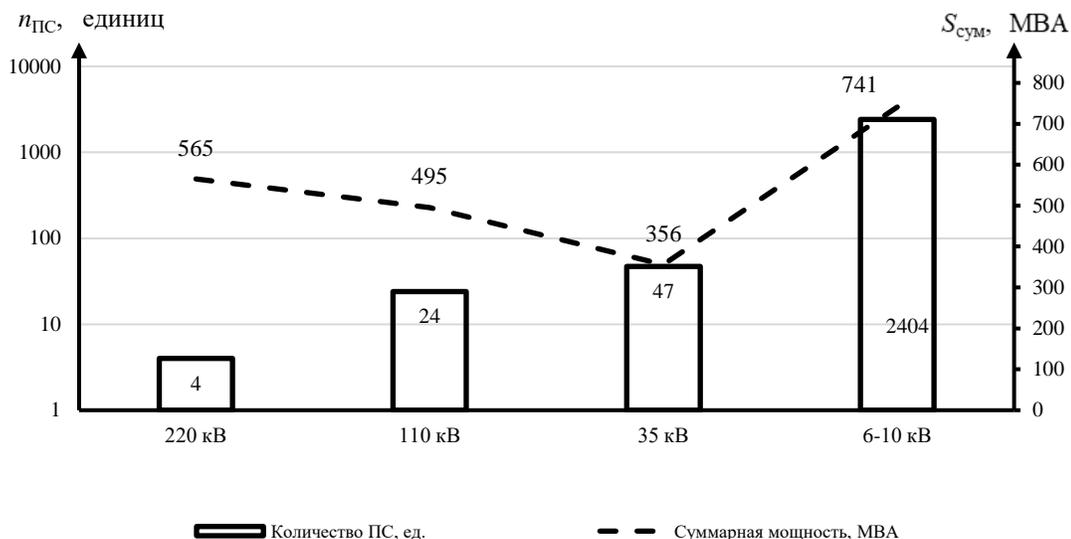


Рисунок 6 – Фактические потери ЭЭ при её транспортировке по электрическим сетям Филиала ОАО «ПЭС» в г. Бохтар за 2021 – 2023 годы

Мощности электрических подстанций и протяженность линий электропередачи в ЮЭС РТ приведены на рисунке 7.



б)

Рисунок 7 – Характеристики ОАО «ПЭС» и ОАО «РЭС» г. Бохтар (ЮЭС):  
а) количество и мощности подстанций; б) протяженность линий электропередачи

Потребителями ЮЭС РТ в основном являются население и насосные станции. При этом в разные времена года соотношение этих нагрузок существенно изменяется, так, например, в зимний период основным потребителем является население, а в летний период объём потребления ЭЭ в основном приходится на работу насосных станций орошения различных типов и мощностей, от 5 кВт до 1000 кВт, напряжением 0,4-10 кВ. Как известно, особенность насосных станций заключается в том, что они являются потребителями значительной части реактивной мощности, поэтому в таких сетях можно наблюдать высокий уровень коэффициента реактивной мощности (рисунок 8). В соответствии с графиком на рисунке 8 можно отметить, что коэффициенты реактивной мощности на всех подстанциях, практически, имеют значения существенно превышающие нормативное значение – 0,4. Значение коэффициента реактивной мощности колеблется в пределах 0,389 до

1,0. Следует отметить, что в последние годы состав ЭП коммунально-бытовой нагрузки (население) изменился и сейчас наблюдается существенный рост нелинейной нагрузки.

Одна из основных проблем электрических сетей Бохтарского региона заключается в том, что большинство силовых трансформаторов работает в режиме перегрузки, что приводит к ухудшению КЭ. График загрузки трансформаторов некоторых подстанций данного региона приведен на рисунке 9. Также уровень напряжения на зажимах ЭП не соответствует нормативным значениям [1]. Причина этого в том, что автоматизированная система регулирования напряжения трансформаторов функционирует не должным образом.

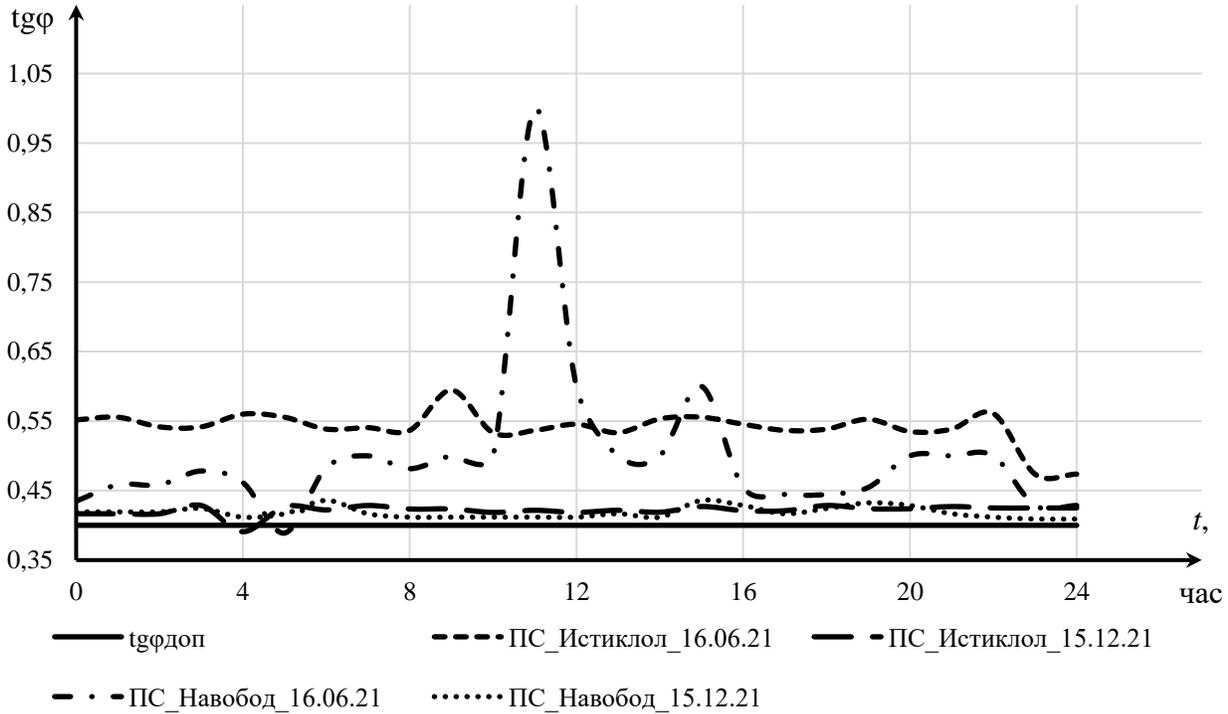


Рисунок 8 – График изменения коэффициента реактивной мощности в летний (16.06.2021) и зимний (15.12.2021) периоды на подстанциях Истиклол и Навобод

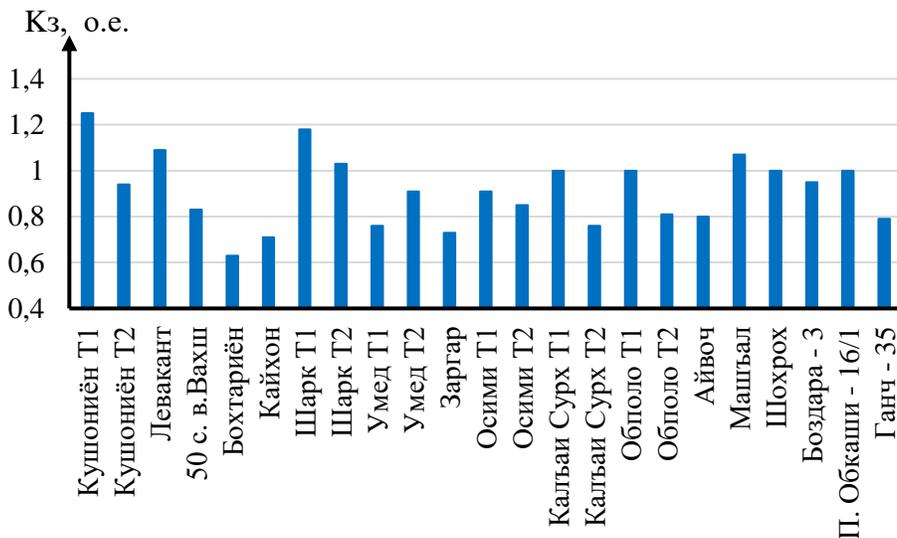


Рисунок 9 – График загрузки трансформаторов некоторых подстанций ЮЭС

В результате анализа данных диспетчерских пунктов (рисунки 5 и 6) определили, что в 2023 году суммарные относительные потери ЭЭ в ОАО «ПЭС» ЮЭС составляют: 2,884 %, а в ОАО «РЭС» ЮЭС – 30 %. Максимальное значение коэффициента реактивной мощности составляет около 1, что показывает высокой уровень потребления реактивной мощности (рисунок 8).

### Инструментальная оценка КЭ в ЮЭС РТ

Как было отмечено выше, на сегодняшний день проблемы обеспечения КЭ наблюдаются практически в электрических сетях всех стран. В основном это связано с тем, что в последние годы состав потребителей ЭЭ сильно изменился. Так, например, если раньше основные потребители были в основном ЭП с линейными ВАХ, то сейчас количество и мощности нелинейных нагрузок, также ЭП с несимметричной и резкопеременной нагрузкой стало больше [5 – 7].

Даже результаты измерений, проведенных в апреле 2011 г. [8, 9] и июне 2015 г. [10 – 13], в электрических сетях ЭЭС РТ показывают, что ряд ПКЭ не соответствует нормативным требованиям [1]. Сравнение результатов измерения ПКЭ в 2011 и 2015 гг. приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение результатов измерения ПКЭ

ПКЭ	$U_n$ , кВ	2011 год	2015 год
$\Delta f$ , Гц	-	-	-
$\delta U$ , %	500 кВ	-	+
	220 кВ	-	+
	10 кВ	-	-
$K_{2U}$ , %	500 кВ	+	+
	220 кВ	+	+
	10 кВ	+	+
$K_U$ , %	500 кВ	+	+
	220 кВ	+	+
	10 кВ	-	-
$K_{U(n)}$ , %	500 кВ	-	-
	220 кВ	-	-
	10 кВ	-	-
$\delta U_{пр}$ , %	500 кВ	-	+
	220 кВ	-	-
	10 кВ	-	-
$P_{st}$ и $P_{lt}$	500 кВ	+	+
	220 кВ	-	-
	10 кВ	-	-

+/- - соответствие/несоответствие ПКЭ нормативными значениями

Для полной оценки КЭ и определения фактического уровня помех в ЮЭС в период с 08 по 12 ноября 2021 года было произведено инструментальное измерение ПКЭ на соответствие требованиям ГОСТ 32144-2013 [1]. В качестве средств измерения использовались приборы типа FLUKE. Длительность наблюдения в каждой точке не менее суток. Электрическая схема исследуемой сети с указанием места установки измерительных средств приведена на рисунке 10.

Результаты проведенных измерений представлены на рисунке 11 в виде диаграммы. По горизонтальной оси отложены контролируемые ПКЭ, а по вертикальной – количество случаев превышения норм ГОСТ (в процентах от количества контролируемых точек).

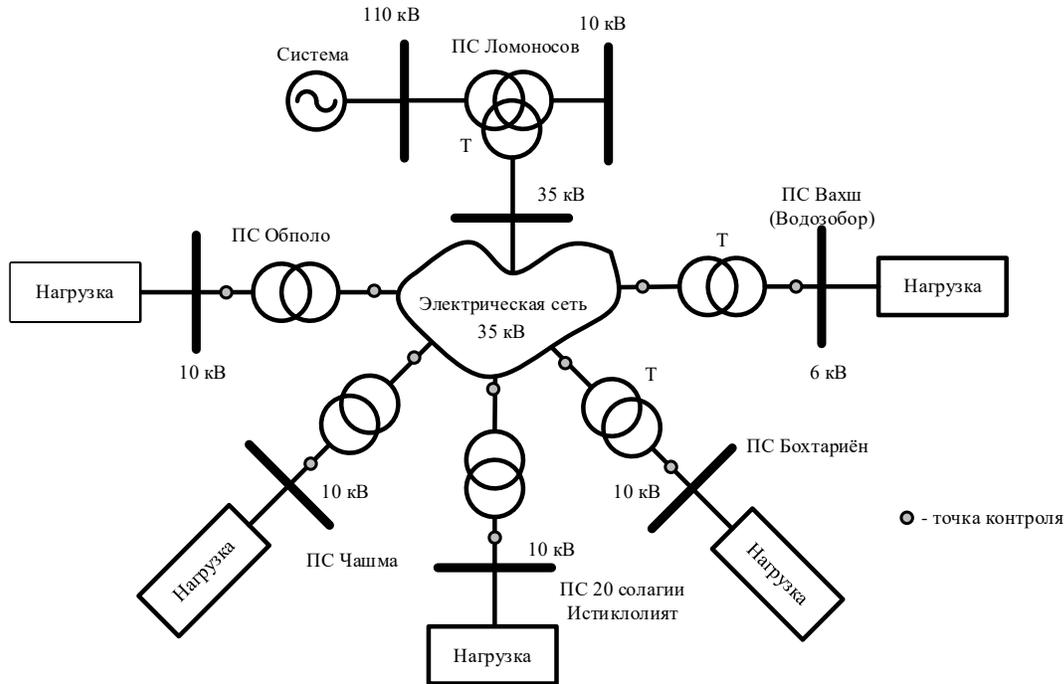
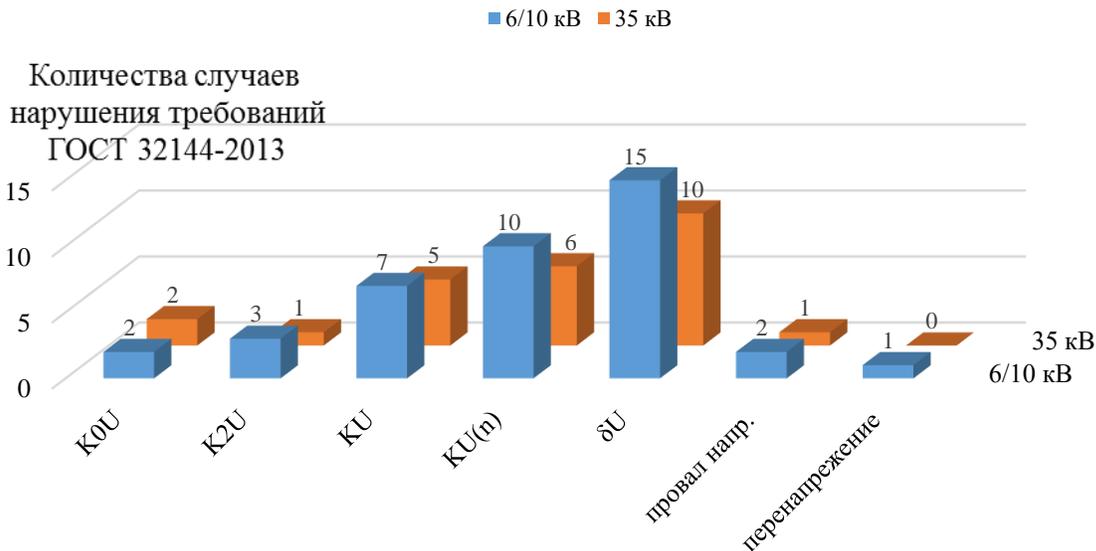


Рисунок 10 – Объект исследования (часть ЮЭС РТ) и места установки измерительных средств (точка контроля)



Отклонение частоты в рамках данного исследования не обнаружено

Рисунок 11 – Количество нарушений ПКЭ от нормативного значения

Из результатов измерения (рисунок 11) видно, что измеренные ПКЭ: медленное изменение напряжения ( $\delta U$ ); коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения ( $K_{U(n)}$ ); суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ ); коэффициенты несимметрии напряжения по обратной ( $K_{2U}$ ) и нулевой ( $K_{0U}$ ) последовательностям и длительность провала напряжения не соответствуют нормативным требованиям [1]. Для оценки установившихся режимов работы сети, кроме ПКЭ, также были измерены ряд параметров электрической сети, как ток, мощность и другие.

Установившееся отклонение напряжения  $\delta U$ , [%] или медленное изменение напряжения нормируется по [1]. Показателями КЭ в процентах, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются как отрицательное  $\delta U_{(-)}$ , так и положительное  $\delta U_{(+)}$  отклонения напряжения:

$$\left. \begin{aligned} \delta U_{(-)} &= \left[ \frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \right] \times 100 \\ \delta U_{(+)} &= \left[ \frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \right] \times 100 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $U_{m(-)}$ ,  $U_{m(+)}$  – значения напряжения электропитания, меньшие  $U_0$  и большие  $U_0$  соответственно;  $U_0$  – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению  $U_{ном}$  или согласованному напряжению  $U_c$ .

В качестве примера рассмотрим результаты измерений, проведенных на вводе напряжением 6 кВ подстанции «Водозабор» (рисунок 12).

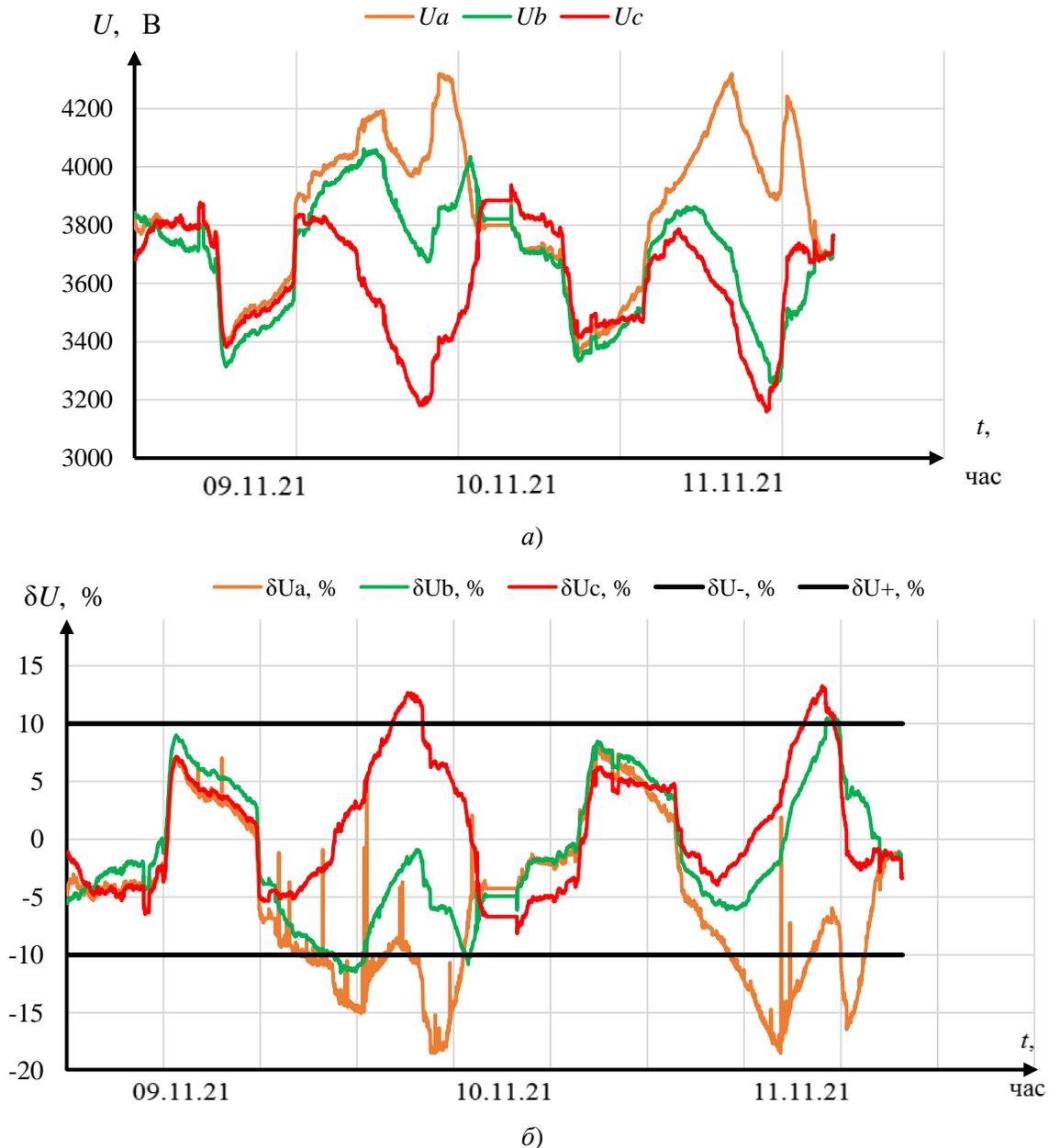


Рисунок 12 – Графики изменения фазных напряжений (а) и медленного изменения напряжения (б) на подстанции «Водозабор» (насосная станция), на вводе трансформатора на стороне 6 кВ за период с 09.11.2021 г. (11:37) по 11.11.2021 г. (11:35)

Как видно из рисунка 12б, значения медленного изменения напряжения выходят за пределы допустимого стандартного нормируемого значения, положительное отклонение напряжения равно  $\delta U(+) = 13,06\%$  и отрицательное отклонение напряжения равно  $\delta U(-) = -18,51\%$ .

Известно, что изменение напряжения в основном зависит от нарушения баланса реактивной мощности, поэтому используя вышесказанные причины, следует сказать, что обеспечение требуемого напряжения в узлах электрических сетей можно достигнуть, в том числе следующими способами [2, 3]:

- путём регулирования напряжения в центре питания;
- путём снижения потерь напряжения в элементах сети.

Первый способ можно реализовать с помощью изменения коэффициента трансформации трансформатора, другими словами, с помощью устройства РПН, которые в настоящее время в трансформаторах рассматриваемой сети функционируют не должным образом. А второй способ - снижение потерь напряжения в линиях можно реализовать путем снижения их сопротивления за счет увеличения сечения проводов или применением устройств продольной емкостной компенсации, которые при последовательном подключении уменьшают индуктивное сопротивление линии:

$$X'_l = X_L - X_C \leq X_l \quad (5)$$

Для оценки уровня реактивной мощности в качестве примера приведём результаты измерения потребления реактивной мощности на подстанции «Водозабор» (рисунок 13).

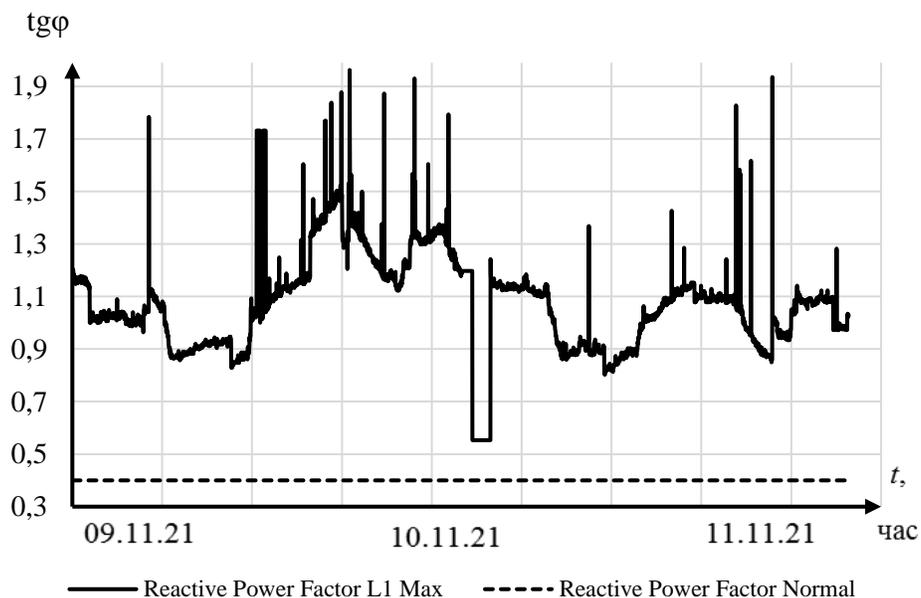


Рисунок 13 – Результаты измерений коэффициента реактивной мощности на подстанции «Водозабор» (насосная станция) на вводе трансформатора на стороне 6 кВ за период с 09.11.2021 г. (11:37) по 11.11.2021 г. (11:35)

Как видно из рисунка 13, значения коэффициента реактивной мощности за весь период измерений выходят за пределы нормативного значения. Максимальное значение данного коэффициента составляет 1,96, а минимальное составляет 0,53, что больше допустимого значения 0,4. В первом приближении можно сказать, что большой уровень реактивной мощности в данной сети связан с тем, что основная нагрузка - насосные станции.

Суммарный коэффициент гармонической составляющей ( $K_U$ ) и коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей ( $K_{U(n)}$ ) напряжения не соответствуют нормативным требованиям в рассматриваемой электрической сети. Значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжений нормируются по [1] в зависимости от класса напряжения электрической сети.

### Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения ( $K_U$ )

Значения коэффициента  $K_U$  в зависимости от класса напряжения электрической сети нормируются по [1]. Анализ результатов измерений коэффициентов  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения ( $K_{U(n)}$ ) показал, что гармоники 3, 5, 7, 9 и 11-го порядка превышают допустимые значения. В качестве примера на рисунке 14 представлены результаты проведенных измерений на подстанции «Чашма» на вводе трансформатора на стороне 10 кВ. Искажение формы кривой напряжения в электрических сетях ЮЭС в

основном зависит от работы современных ЭП с нелинейной нагрузкой, которые, потребляя ЭЭ основной частоты, генерируют высшие гармонические составляющие тока. Эти токи распространяются в сети и приводят к искажению формы кривой напряжения.

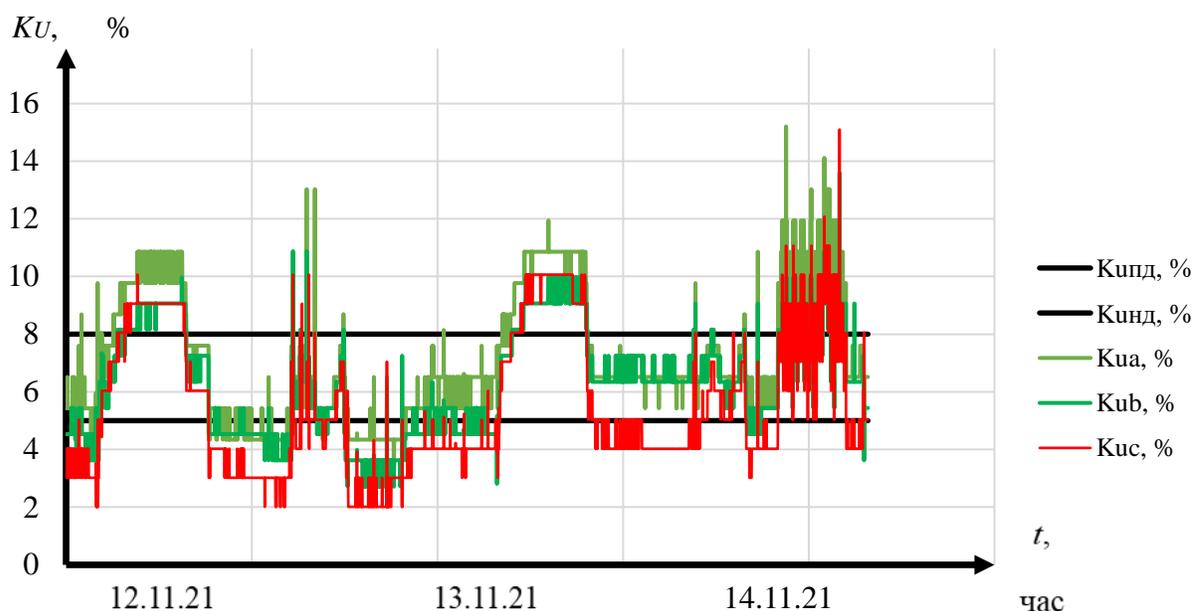


Рисунок 14 – Результаты измерений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на подстанции «Чаима» на вводе трансформатора на стороне 10 кВ за период с 12.11.2021 г. (15:26) по 14.11.2021 г. (15:24)

Следует отметить, что в настоящий момент для решения проблемы обеспечения КЭ и компенсации ВГТ согласно [3] можно использовать несколько групп схемных решений:

- выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин;
- подключение нагрузки к системе большей мощности короткого замыкания;
- применение фильтров для компенсации ВГТ;
- применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации ВГТ.

По результатам измерений также были зафиксированы провалы напряжения, первоначальной причиной которых являются короткие замыкания, ошибки персонала, ложные срабатывания релейной защиты и автоматики, частые коммутации в электрических сетях из-за ограничений потребления ЭЭ. Например, за время измерений на подстанции «Водозабор» (насосная станция) на вводе трансформатора на стороне 6 кВ (10.11.2021 г. (08:45:26); 11.11.2021 г. (04:45:46); 11.11.2021 г. (08:23:46)) было зафиксировано три провала напряжения, максимальная глубина и время провала которого составили  $\delta U_h = 27,7\%$  и  $\Delta t_h = 0,1$  с.

### Выводы

1. Сделан достаточно доскональный обзор состояния электрооборудования южной части электрической сети ЭЭС РТ;
2. Выполнен обзор отечественной и зарубежной литературы по обеспечению КЭ, а также приведены сравнительные результаты измерений ПКЭ в электрических сетях РТ в разные годы;
3. Проведено инструментальное измерение ПКЭ и параметров ЭЭ в исследуемой электрической сети и произведен анализ полученных результатов;
4. Показаны пути устранения выявленных нарушений соответствующими существующими методами;
5. Результаты инструментального контроля КЭ показывают, что целесообразна разработка ряда мероприятий для обеспечения КЭ по регулированию напряжения и компенсаций ВГТ.

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

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.
2. Управление качеством электроэнергии: Учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов [и др.]. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с. – ISBN 978-5-383-01074-7.
3. Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях. Братск: БрГТУ, 1999.

4. Влияние высших гармоник тока на режимы работы кабелей распределительной сети 380 В / В.Н. Тульский, И.И. Карташев, Р.Р. Насыров, М.Г. Симуткин // Промышленная энергетика. – 2013. – № 5. – С. 39-44.
5. Special Issue “Analysis for Power Quality Monitoring”/ Juan-José González de-la-Rosa and Manuel Pérez-Donsión // Energies 2020, 13, 514. DOI: 10.3390/en13030514.
6. Study and analysis of power quality for an electric power distribution system - Case study: Moscow region / V.N. Tulsy, A.S. Vanin, M.A. Tolba [et al.] // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016, Saint Petersburg, 02 – 03 February 2016 – Saint Petersburg, 2016. – P. 710-716. – DOI 10.1109/EIConRusNW.2016.7448281.
7. Джураев, Ш. Д. Обеспечение качества электрической энергии в энергосистемах, содержащих нелинейную нагрузку / Ш. Д. Джураев, Ш. М. Султонов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 1(41). – С. 20-34.
8. Назиров, Х.Б. Разработка системы управления качеством электрической энергии в электрических сетях: специальность 05.14.02 "Электрические станции и электроэнергетические системы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Назиров Хуршед Бобоходжаевич. – Москва, 2012. – 199 с.
9. Современное состояние электрических сетей Республики Таджикистан по качеству электрической энергии / Ю.В. Шаров, В.Н. Тульский, И.И. Карташев, Х.Б. Назиров, Д.Ш. Тошев // Вестник Таджикского технического университета. – 2012. – №4. – С. 39-50.
10. Джураев, Ш.Д. Разработка алгоритма снижения влияния токов высших гармоник на режим работы гидрогенераторов: специальность 05.14.02 "Электрические станции и электроэнергетические системы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Джураев Шохин Джураевич, 2018. – 180 с.
11. Современное состояние и перспективы обеспечения качества электроэнергии в электрических сетях открытой акционерной холдинговой компании "Барки Точик" / В.Н. Тульский, Х.Б. Назиров, Ш.Д. Джураев, Б.Д. Инояттов // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2018. – № 1. – С. 34-40. – DOI 10.24160/1993-6982-2018-1-34-40.
12. Инструментальная оценка качества электроэнергии в энергосистеме Республики Таджикистан / Ю.В. Шаров, В.Н. Тульский, Ш.Д. Джураев [и др.] // Управление качеством электрической энергии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 23–25 ноября 2016 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2017. – С. 219-226.
13. Study and analysis of power quality of electric power system. Case study: Republic of Tajikistan / V.N. Tulsy, B.J. Inoyatov, S.D. Dzhuraev, M.A. Tolba // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018, St. Petersburg and Moscow, 29 January – 01 February 2018 – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 827-833. – DOI 10.1109/EIConRus.2018.8317217.

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

TJ	RU	EN
Ќуразода Шохин Ќура	Джуразода Шохин Джура	Jurazoda Shohin Jura
н.и.т.	к.т.н.	PhD (Technical Sciences)
Донишгоҳи миллии тадқиқотии «ДЭМ», филиал дар ш. Душанбе (Ҷумҳурии Тоҷикистон)	Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал в г. Душанбе (Республика Таджикистан)	National Research University «MPEI», branch in Dushanbe (Republic of Tajikistan)
E-mail: <a href="mailto:dzhuraevsh@mpei.ru">dzhuraevsh@mpei.ru</a>		
TJ	RU	EN
Ќаборов Манучехр Камолович	Джаборов Манучехр Камолович	Jaborov Manuchehr Kamolovich
унвончӯ	соискатель	applicant
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:manuchehrjkm@mail.ru">manuchehrjkm@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Ҳабибуллозода Зикрулло Ҳабибулло	Хабибуллозода Зикрулло Хабибулло	Habibullozoda Zikrullo Habibullo
Доктор PhD	Доктор PhD	Doctor PhD
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S.Osimi
E-mail: <a href="mailto:szhpei@internet.ru">szhpei@internet.ru</a>		
TJ	RU	EN
Воҳидов Миробид Мирвоҳидович	Вохидов Миробид Мирвохидович	Vohidov Mirobid Mirvohidovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Can.tech.scien., Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:supergold84@mail.ru">supergold84@mail.ru</a>		

УДК 621.311, 620.92

## К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Ф.М. Рахимов, О.С. Хабибов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Современные этапы развития новых технологий энергетической отрасли и, в том числе в направлении системы накопителей электроэнергии порождают новые тренды в сфере проектирования, эксплуатации и развития электроэнергетических систем. Отмечена водородная энергетика как одна из перспективных направлений развития технологии системы НЭЭ. Проведен краткий обзор научных публикаций, где выделены основные известные типы накопителей электроэнергии. Приведены полученные основные эффекты от практического внедрения НЭЭ в электроэнергетику. Показано, что для энергетической системы Республики Таджикистан, где в зимний период наблюдается дефицит генерируемой мощности, применение системы НЭЭ может способствовать его снижению. Даны оценки функции и направления применения систем НЭЭ, а также связи с их применением решения задачи выбора мест установки накопительной системы в зависимости от их назначения. Указано, что после выбора функции и направления системы НЭЭ необходимо проведение технико-экономического обоснования и сравнения по эффективности с альтернативными вариантами.

**Ключевые слова:** система накопления электроэнергии, электроэнергетическая система, водород, водородная энергетика, функция и направления, возобновляемые источники энергии.

## ОИД БА МАСЪАЛАИ ИНТЕГРАТСИЯИ ЗАХИРАКУНАҚҲОИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИИ ҲИДРОГЕНӢ БА СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКИ

Ф.М. Раҳимов, О. С. Ҳабибов

Марҳалаи ҳозираи инкишофи технологияҳои нав дар соноати энергетика, аз ҷумла дар самти системаҳои нигоҳдории энергияи электрикӣ (НЭЭ) тамоюлҳои нави лоихакашӣ, истифода ва инкишофи системаҳои энергетикаро ба миён меорад. Энергетикаи ҳидрогенӣ (водородӣ) ҳамчун яке аз самтҳои ояндадори инкишофи технологияи системаи энергетикаи сабз қайд карда мешавад. Баррасии мухтасари нашрияҳои илмӣ гузаронида шуд, ки дар он навъҳои асосии маълуми дастгоҳҳои нигоҳдории нерӯи барқ нишон дода шудаанд. Таъсири асосие, ки аз татбиқи амалии самаранокии системаҳои нигоҳдории энергия дар соҳаи энергетика ба даст омада оварда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки барои системаи энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дар фасли зимистон норасоии нерӯи тавлидшуда вучуд дорад, истифодаи системаҳои нигоҳдории энергия метавонад ба коҳиши он мусоидат кунад. Баҳодихӣ ба вазифа ва самти татбиқи системаҳои НЭЭ, инчунин робита бо истифодаи онҳо дар ҳалли масъалаи интиҳоби макон барои насби системаҳои нигоҳдорӣ вобаста ба таъиноти онҳо дода мешавад. Гуфта мешавад, ки пас аз интиҳоби вазифа ва самти системаи НЭЭ асосноккунии техникӣ-иқтисодӣ ва муқоисаи самаранокии он бо вариантҳои алтернативӣ зарур аст.

**Калимаҳои калидӣ:** системаи нигоҳдории нерӯи барқ, системаҳои энергетикӣ, гидроген, энергияи гидроген, вазифа ва самтҳо, манбаъҳои барқароршавандаи энергия.

## TO THE QUESTION OF INTEGRATION OF HYDROGEN ELECTRICITY STORAGE SYSTEMS INTO THE ENERGY SYSTEM

F.M. Rahimov, O.S. Habibov

The current stage of development of new technologies in the energy industry, including in the direction of the electric power storage system, generate new trends in the design, operation and development of electric power systems. Hydrogen energy is noted as one of the promising areas of development of the HES technology. A brief review of scientific publications is provided, where the main known types of electric power storage are highlighted. The main effects of the practical implementation of HES in the electric power industry are presented. It is shown that for the energy system of the Republic of Tajikistan, where there is a deficit of generated power in winter, the use of the HES system can help reduce it. Assessments are given of the function and direction of application of HES systems, as well as the connection with their application of the solution to the problem of choosing the installation sites of the storage system depending on their purpose. It is indicated that after choosing the function and direction of the HES system, it is necessary to conduct a feasibility study and compare the efficiency with alternative options.

**Keywords:** electric power storage system, electric power systems, hydrogen, hydrogen energy, function and directions, renewable energy sources.

### Введение

В последнее время активно ведутся исследования в области развития накопительной системы хранения энергии, и в том числе водородной энергетике. В своем послании Президент Республики Таджикистан от 23 декабря 2022 года дал поручение соответствующим министерствам и ведомствам о всестороннем изучении вопроса возможностей и перспективы развития водородной энергии с представлением Правительству страны конкретных предложений [1]. Далее приведем краткий обзор некоторых научных работ, посвященных исследованиям в данной области.

Путилов В. Я., Шульга Р. Н. в [2] выполнили обзор эко-технологий, связанных с применением различных видов накопителей энергии. Показано преимущество водородных и кинетических накопителей по большинству рассматриваемых показателей применения, а также по экологическим требованиям загрязнения, утилизации и эксплуатации.

Холкин Д. В. и др. в [3] сформировал перечень вопросов по подготовке концепции совершенствования законодательства и устранения административных барьеров для применения систем накопления электроэнергии в РФ. Намечены перспективные области применения систем накопления энергии, а также возможности совмещения работы на различных рынках.

Кулуев Ж. О. в [4] произвел анализ достоинств и недостатков ёмкостных накопителей энергии, а также приводится классификация накопителей энергии по основным показателям: напряжение, запасаемая энергия, длительность импульсов тока, тип конструкции и схема соединений элементов.

Россихин Д. А., Менделеев Д. И., Галимзянов Л. А. в [5] исследовали существующие технологии систем накопления энергий, отмечены тренды развития совместного развития технологии накопления энергии совместно с возобновляемыми источниками энергии.

Менделеев Д. И. и др. в [6] исследовали вопросы использования технологии накопления электрической энергии на тепловых электрических станциях с целью повышения энергоэффективности производства, и рассмотрена задача компенсации затрат на собственные нужды за счет применения данной технологии.

Степаненко В. П. в [7] исследовал пути снижения расхода топлива на дизель – электрических станциях за счет внедрения возобновляемых источников энергии и применения гибридных накопителей энергии. Показано, что внедрение гибридных накопителей энергии в автономных энергосистемах позволяет снизить эксплуатационные расходы на 30-60%, капитальные затраты до 40%, а стоимость 1 кВтч электроэнергии – на 60-80%.

Гусев Ю. П., Субботин П. В. в [8] исследовали эффективность применения накопителей электрической энергии, а также их влияние на пропускную способность распределительных сетей напряжением 6-10кВ, приведены результаты расчета по определению условий по технической и экономической точки зрения применения систем накопления энергий.

Шлейников В. Б. в [9] рассмотрел эффективность применения накопителя электроэнергии в качестве резервного источника, показано сравнение стоимости резервирования энергии по критерию расположения от резервного источника и от накопителя электроэнергии.

Штанг А. А. в [10] исследовал различные варианты схемной реализации накопителя энергии, применяемые в транспорте, предложена математическая модель расчета по основным параметрам накопителя энергии, применяемым в электротранспорте, получены экспериментальным путем подтверждения экономической эффективности предлагаемых схемных решений.

Авторы Байрамов А. Н. и Егоров А. Н. в [11, 12] показали результаты исследования внедрения водородного топлива во влажно – паровых циклах атомных электростанций (АЭС), даны оценки эффективности использования водородного топлива в цикле АЭС по выработке пиковой электроэнергии, также приведены стоимостные показатели внедрения водородного энергетического комплекса.

Хомкин К. А. в [13] провел исследования по совместной термической переработке органических отходов и природного газа с целью получения углеродных материалов и водорода, показана техническая осуществимость предлагаемой технологии, проведена оценка экономической эффективности.

Чаусов И. и др. в [14] анализируют возможность развития рынка системы накопления энергии в России, дана оценка экономического эффекта данного сегмента, намечены перспективные направления, где водородной энергетике уделяется особое значение для аккумулирования электроэнергии.

Автор Пермякова Д. К. в работе [15] предлагает разделение накопительной системы по виду энергии, с помощью которого происходит хранение энергии, отмечает ряд значимых функций, выполняемых системами хранения электрической энергии, оценивает роль систем накопления энергии в повышении эффективности использования возобновляемых источников энергии.

Дзюба А. П. в [16] анализирует возможности применения промышленных систем накопления электроэнергии в качестве инструмента управления спросом на промышленных предприятиях, автором разработаны формулы оценки экономического эффекта от применения промышленного накопителя электроэнергии в качестве инструмента управления спросом.

Авторы Добрынин Е. В., Крылов А. Н., Батищев А. М. в работе [17] привели результаты исследования применения накопителей электроэнергии и факторы, сдерживающие развитие накопительной технологии, отмечается, что сдерживающей причиной является сложность устройств накопления энергии, которые должны работать вместе с системой с учетом динамики изменения нагрузки, а также высокой стоимости оборудования.

Чернецкий А. М. в работе [18] представил результаты исследования экономической эффективности капиталовложения в техническую систему накопления энергии, сопоставлены полученные значения с учетом удельной стоимости изготовления накопителей на основе известных технологий, которые подтверждают перспективность рассматриваемого направления.

Коровкин Н. В., Силин Н. В., Рахимов Ф. М. в работе [19] предложили применение накопителей энергии за счет комплексного применения ВИЭ в локальных электроэнергетических системах для повышения

надежности электроснабжения с целью оптимизации режима работы МГЭС в условиях жесткого дефицита воды. Допускается, что нагрузка небольших потребителей можно разделить на две составляющие: строго заданную и вариативную, с возможностью оптимизации вариативной части нагрузки.

Мака А. О. М., Mehmood M. в работе [20] дали общие оценки эффективности производства водорода за счет применения ВИЭ с указанием преимущества, заключающейся в снижении вредных выбросов в атмосферу. Приводятся методики получения зеленого водорода, перспективность данного направления которого дает новые понимание зеленой энергетики и открывает новые направления развития исследования, разработки технологии.

Rosen M. A., Koohi-Fayegh S. в работе [21] анализируют роль водородной энергетики как перспективного направления в мировой экономике, вводится понятие «водородная экономика», также оцениваются социальные, политические последствия водородной технологии в мировом масштабе. Приводятся примеры, где и когда водородная экономика может стать ключевым энергоносителем.

Dawood F., Anda M., Shafiullah G. M. в работе [22] исследовали параметры, определяющие чистоту технологии производства водородной энергии, приводится взаимосвязь и взаимозависимость всего технологического процесса производства, транспортировки, хранения и использования водородной энергии. Представлена инновационная модель кодирования чистоты водородной энергии, которая может послужить оценочным индексом для дальнейшего исследования и разработок.

Younas M. et al. в работе [23] привел результаты исследования разработки децентрализованного системы производства водорода за счет избытка энергии от ВИЭ (преимущественно солнечной энергии), которая дает возможность снижения вредных выбросов в атмосферу, выровнять использование ВИЭ во времени.

Le T. T. et al. в работе [24] приводит результаты исследования перспективного развития водородной энергетики, возможные проблемы, сдерживающие расширенное его применение. Авторы предлагают решение вопросов, связанных с внедрением и развитием, технологии водородной энергетики не могут быть рассмотрены в одиночку, предлагается повысить уровень осведомленности населения, коммерческо-производственного общества и законодательных органов относительно возможностей и развития потенциала водородной энергии как экологически чистой, безопасной, эффективной, устойчивой и экономически целесообразной.

Ge L. et al. в работе [25] привел результаты исследования по оценке преимуществ и недостатков водородной энергетики. Предложенные результаты обобщаются техническими проблемами производства, транспортировки, хранения и использования водорода, а также представляется перспектива развития водородной энергии в энергетических системах со значительной долей возобновляемой энергии.

Hwang J., Maharjan K., Cho H. J. в работе [26] провели обзор ситуации проблемы декарбонизации секторов производства за счет внедрения возобновляемых, экологически чистых производств энергии. Рассматривается производство чистого водорода за счет применения биомассы и воды в секторах энергетики и транспорта.

Abe J. O. et al. в работе [27] анализируют различные технологии хранения водорода как энергоносителя, оценивается практичность и экономическая эффективность различных типов накопителей водорода с указанием их преимуществ и недостатков. Даются рекомендации в области хранения твердотельного водорода в металлгидридах.

Тагоев С. А. в работе [28] исследовал общие проблемы в области применения водорода как энергоносителя в Республике Таджикистан, возможные пути решения и дает оценку перспективности данного направления.

Mirsaidov U. M., Shodmonova M. A., Sharifov A. в работе [29] провели исследования перспективного развития применения водородной энергетики с определением места водорода в структуре энергетики Республики Таджикистан. Разработаны предложения по совершенствованию управления водородной энергии и стимулирующих инструментов использования топливных элементов в различных отраслях народнохозяйственной экономики страны.

Как показывает анализ публикации зарубежных ученых и исследовательских коллективов, в настоящее время требуются усовершенствованные методы и подходы оценки системы накопления энергии, роль различных накопителей в энергообеспечении потребителей (в том числе на основе водорода).

Исходя из обзора научных публикаций, приведем известные типы накопителей электроэнергии (см. рис. 1).



Рисунок 1 – Существующие виды накопителей электроэнергии: ГАЭС – гидроаккумулирующие электростанции; ВАЭС – воздухоаккумулирующие электростанции; С – электрические конденсаторы; СК – супер конденсаторы; АБ – электрохимические накопители в виде аккумуляторных батарей; СПИНЭ – сверхпроводящие индуктивные накопители энергии; ТЭ – топливные элементы; ВНЭ – водородные накопители электроэнергии; КНЭ – кинетические накопители энергии.

## Материалы и методы

За последние годы наблюдаются активные работы по разработке и внедрению технологии ВНЭ и КНЭ, а также ГАЭС. Однако при внедрении этих технологий могут возникнуть проблемы управления и технического осуществления системы накопления.

Практика внедрения НЭЭ в электроэнергетике дает следующие эффекты:

1. регулирование режима нагрузки (выравнивание дневного и ночного графиков нагрузки);
2. регулирование потока мощности у потребителя (внешняя сеть не справляется);
3. снижение вращающего резерва;
4. обеспечение более стабильных графиков выдачи мощности ВИЭ и графика нагрузки;
5. повышение устойчивости энергосистемы регулированием напряжения, частоты и реактивной мощности;
6. повышение качества электроэнергии особенно при резко переменном характере нагрузки;
7. применение в качестве источника гарантированного электроснабжения ответственных потребителей, а также цепей оперативного тока и собственных нужд на подстанциях.

Стоит также отметить, что для энергосистемы Республики Таджикистан (РТ) в период дефицита генерируемой мощности применение системы НЭЭ может способствовать снижению нехватки электроэнергии.

Для реализации системы НЭЭ в энергосистеме РТ с помощью ВНЭ необходимо разрабатывать методы и модели, которые по заданным критериям в режиме реального времени будут участвовать в регулировании режима нагрузки и потока мощности, обеспечении качества электроэнергии и надежности, а также повышении эффективности эксплуатации самих систем накопления энергии. В [2] приведены характеристики водородных накопителей электроэнергии в основе квалификации, которым положен тип электролита (жидкий, газообразный, твердый), ниже приведем эти характеристики (см. табл. 1).

Тип химической реакции, рабочая температура, мощность и КПД ТЭ зависят от вида электролита. В зависимости от особенностей ТЭ выбор системы НЭЭ производится с учетом их основных функций, набор которых ограничен.

Основные функции систем НЭЭ следующие:

- Выдача или потребление активной мощности.
- Выдача или потребление реактивной мощности.
- Компенсация несимметрии.
- Компенсация несинусоидальности.

Стоит также отметить, что количество возможных направлений применений систем НЭЭ практически неограниченно.

Таблица 1 - Характеристики ТЭ

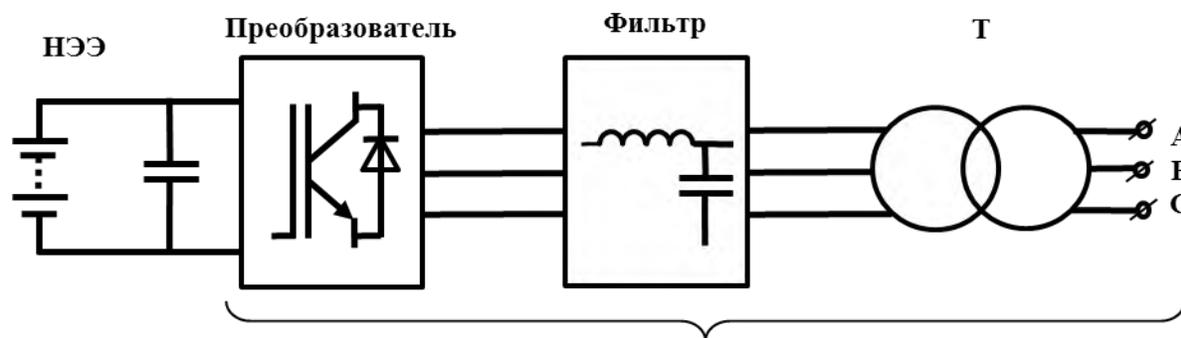
Тип ТЭ (электролит)	Рабочая температур а °С	Мощность на выходе, кВт	КПД, %	Особенности	Область применения
Алкалин (AFC)	90 – 100	10 – 100	60–70 электр.	--	военная техника, космос
Полимерная или протообменная мембрана (PEM) ТПТЭ	50 – 100	≤250	50–60 электр.	Быстрый старт	Портативные устройства, транспорт, распределенная генерация
Фосфорная кислота (PAFC) ФКТЭ	150 – 200	50 – 100 (250 - модуль)	80–85 комбин. 36–42 электр.	Пластины большого размера, чистый водород	Распределенная генерация
Литой углерод (MCFC) КРТЭ	600 – 700	<1000 (250 - модуль)	85 комбин. 60 – электр.	Гибкость, разные катализаторы	Электроэнергетика, большая распределенная генерация
Твердые окислы (SOFC) ТОТЭ	650 – 1000	5 – 3000	85 комбин. 60 – электр.	Гибкость, разные катализаторы, низкая коррозия	Вспомогательное питание, электроэнергетика, большая распределенная генерация

### Обсуждение результатов

Рассмотрим основные функции системы НЭЭ.

Функция выдача и потребления активной мощности. Используя данную функцию, можно выбрать множество направлений применения системы НЭЭ: выравнивание графика нагрузки, регулирование частоты, интеграция ВИЭ за счет возможности регулирования режима, бесперебойное питание и многое другое.

Используя функцию «Выдача или потребление реактивной мощности», при управлении реактивной мощности энергия накопителей не используется, т.к. задействуется преобразователь и конденсатор в его составе.



Управление реактивной мощности

Рисунок 2 – Схема управления реактивной мощности при использовании функций «Выдача или потребление реактивной мощности» системы НЭЭ

Функция «компенсация несимметрии» применяется при несимметричной системе токов в распределительных сетях, которые определяются потерями обусловленных токами прямой  $I_1$ , обратной  $I_2$  и нулевой последовательностей  $I_0$ . Разложение фазных токов на симметричные составляющие токов выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} I_1 = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \\ I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c), \\ I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \end{cases}$$

где  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$  – фазный множитель (поворотный оператор);  $I_a, I_b, I_c$  – фазные токи.

При использовании системы НЭЭ в отдельных случаях предусмотрено независимое управление по фазам с целью компенсации несимметрии токов или напряжений.

Функция «компенсация несинусоидальности» применяется при значительной доле потребителей с вентильными преобразовательными установками и с нелинейной вольтамперной характеристикой в сети электроснабжения, которые становятся причинами появления несинусоидальности. В последнее время все чаще проектируются установки с нелинейной вольтамперной характеристикой, которые неблагоприятно воздействуют на электрические сети и электрооборудования, и их влияние проявляется в следующем:

- появление дополнительных потерь в электрических машинах, трансформаторах и сетях, а также дополнительные отклонения напряжения;
- ухудшение компенсации реактивной мощности с помощью батареи конденсаторов (БК);
- сокращение срока службы изоляции аппаратов и электрических машин;
- ухудшение работы устройств автоматики и связи.

В основном сокращение срока службы изоляции возникает за счет дополнительных нагревов в электроустановках и аппаратах.

Для компенсации несинусоидальности можно применить системы НЭЭ, которые в своей преобразовательной части имеют все необходимые устройства. При правильном выборе места и мощности системы НЭЭ можно расширить ее функциональную возможность.

Приведенные функции системы НЭЭ позволяют рассмотрение предполагаемых мест установки в энергосистеме:

- подключение системы НЭЭ непосредственно вблизи электростанции с целью оптимизации загрузки станции;
- применение НЭЭ с целью обеспечения резервной мощности для бытовых нагрузок;
- система НЭЭ способствует эффективной интеграции ВИЭ в энергосистему;
- в распределительных сетях система НЭЭ может применяться для регулирования частоты и сглаживания графика нагрузки;
- применение в крупных предприятиях с целью снижения пиковой мощности;
- при наличии собственной генерации частных домов подключение НЭЭ способствует повышению его эффективности;
- в локальных сетях питающих от маломощного источника НЭЭ обеспечивает стабильную работу сети и качество электроэнергии.

Применение системы накопления электрической энергии в зависимости от мест их установки требует технико – экономического обоснования по критерию эффективности проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{НЭЭ}} > \mathcal{Z}_{\text{НЭЭ}},$$

где  $\mathcal{E}_{\text{НЭЭ}}$  – экономический эффект от применения системы НЭЭ;  $\mathcal{Z}_{\text{НЭЭ}}$  – сумма затрат.

Экономическая эффективность от применения системы НЭЭ определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{НЭЭ}} = \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} \mathcal{E}_t \cdot (1 + E)^{t_0-t} = \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} (\mathcal{E}_{1t} + \mathcal{E}_{2t} + \dots + \mathcal{E}_{nt}) \cdot (1 + E)^{t_0-t}$$

Определение суммарных затрат:

$$\mathcal{Z}_{\text{НЭЭ}} = \sum_{t=1}^{T_{\text{расч}}} K_t \cdot (1 + E)^{t_0-t} - I_t,$$

где  $\mathcal{Z}_{\text{НЭЭ}}$  – сумма дисконтированных затрат по варианту применения системы НЭЭ;

$\mathcal{Z}_t$  – затраты на систему НЭЭ в год  $t$ ;

$K_t$  – капитальные затраты на систему НЭЭ в год  $t$ ;  
 $I_t$  – эксплуатационные издержки на систему НЭЭ в год  $t$ ;  
 $t_0$  – год приведения затрат;  
 $T_{расч}$  – длительность расчетного периода.

Далее определяются основные показатели экономической эффективности проекта:

- Чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- Индекс доходности (ИД);
- Внутренняя норма доходности (ВНД);
- Дисконтированный срок окупаемости капиталовложений ( $T_{окуп.}$ ).

## Заклучение

Обзор научных публикаций показывает перспективность направления системы НЭЭ, а также последние научные достижения в данной области. Приведены известные типы накопителей энергии, среди которых наблюдаются активные работы по разработке и внедрению технологии ВНЭ и КНЭ, а также ГАЭС. Отмечены основные возможные эффекты от практического внедрения НЭЭ в электроэнергетике.

Следует отметить, что для технико-экономического обоснования системы НЭЭ необходимо определение структуры целевого использования накопителей исходя из мирового опыта.

Для практического применения системы накопителей электроэнергии на основе водорода требуется проведение дополнительного исследования по удельным показателям: удельной мощности (Вт/кг), удельной энергии (Вт·ч/кг) и удельной стоимости (долл./кВт).

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

## Литература

1. Послание Президента Республики Таджикистан уважаемого Эмомали Рахмона от 23.12.2022 года «Об основных направлениях внутренней и внешней политики республики» [Электронный ресурс] <https://mfa.tj/ru/main/view/11820/poslanie-prezidenta-respubliki-tadzhikistan-uvazhaemogo-emomali-rakhmona-ob-osnovnykh-napравleniyakh-vnutrennei-i-vneshnei-politiki-respubliki> (дата обращения 05.12.2024)
2. Путилов В. Я., Шульга Р. Н. Некоторые технические и экологические аспекты применения накопителей электроэнергии в энергетике //Электро. – 2016. – №. 1. – С. 6.
3. Холкин Д. В. и др. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры //Экспертно-аналитический отчет. ИЦ Энерджинет, Москва. – 2019.
4. Кулуев Ж. О. Анализ применения емкостных накопителей энергии для энергообеспечения объектов цифровых технологий //Science and innovation. – 2024. – Т. 3. – №. Special Issue 17. – С. 230-234.
5. Россихин Д. А., Менделеев Д. И., Галимзянов Л. А. Вопросы применения и развития систем накопления электроэнергии //Развивая энергетическую повестку будущего. – 2021. – С. 24-29.
6. Менделеев Д. И. и др. Анализ применения систем накопления электроэнергии на тепловых электрических станциях //Развивая энергетическую повестку будущего. – 2021. – С. 73-78.
7. Степаненко В. П. Выбор накопителей энергии //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – №. 3. – С. 228-234.
8. Гусев Ю. П., Субботин П. В. Влияние накопителей электроэнергии на пропускную способность распределительных сетей напряжением 6—10 кВ //Электричество. – 2018. – №. 1. – С. 13-18.
9. Шлейников В. Б. Эффективность применения накопителей электроэнергии как резервного источника электроэнергии //Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – №. 6. – С. 24.
10. Штанг А. А. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии //Автореф. дисс... канд. техн. наук. Новосибирск. – 2006.
11. Байрамов А. Н. Эффективность интеграции АЭС с водородным энергетическим комплексом //Автореферат. Саратов. – 2010.
12. Егоров А. Н. Разработка и обоснование водородного энергетического комплекса влажнопаровых АЭС с установкой дополнительной турбины: дис. – Саратовский государственный технический университет имени Гагарина ЮА, 2013.
13. Хомкин К. А. Экспериментальные исследования в обосновании технологии комплексной переработки органических отходов и природного газа в водород и углеродные материалы : дис. – Москва : КА Хомкин, 2005.
14. Чаусов И. и др. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития //Режим доступа: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d11/d1165e0f8aa6d8909cf45408b0f188d2.pdf>. – 2018.

15. Пермякова Д. К. Развитие технологий накопления и хранения энергии–основа для распространения ВИЭ //Энерго-и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика.—Екатеринбург, 2019. – 2019. – С. 625-628.
16. Дзюба А. П. Использование накопителей электроэнергии в качестве инструментов управления спросом на электропотребление //Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2019. – Т. 5. – №. 2 (18). – С. 228-238.
17. Добрынин Е. В., Крылов А. Н., Батищев А. М. Оценка эффективности использования накопителей энергии //Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – №. 6 (79). – С. 110-113.
18. Чернецкий А. М. Оценка экономической эффективности использования накопителей электроэнергии в энергосистеме //Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – №. 4. – С. 21-28.
19. Коровкин Н. В., Силин Н. В., Рахимов Ф. М. Оптимизация энергопотребления на основе использования накопителя энергии //Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2019. – №. 4. – С. 27-41.
20. Maka A. O. M., Mehmood M. Green hydrogen energy production: current status and potential //Clean Energy. – 2024. – Т. 8. – №. 2. – С. 1-7.
21. Rosen M. A., Koohi-Fayegh S. The prospects for hydrogen as an energy carrier: an overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems //Energy, Ecology and Environment. – 2016. – Т. 1. – С. 10-29.
22. Dawood F., Anda M., Shafiullah G. M. Hydrogen production for energy: An overview //International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – Т. 45. – №. 7. – С. 3847-3869.
23. Younas M. et al. An overview of hydrogen production: current status, potential, and challenges //Fuel. – 2022. – Т. 316. – С. 123317.
24. Le T. T. et al. Fueling the future: A comprehensive review of hydrogen energy systems and their challenges //International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Т. 54. – С. 791-816.
25. Ge L. et al. A review of hydrogen generation, storage, and applications in power system //journal of Energy Storage. – 2024. – Т. 75. – С. 109307.
26. Hwang J., Maharjan K., Cho H. J. A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges //International journal of hydrogen energy. – 2023. – Т. 48. – №. 74. – С. 28629-28648.
27. Abe J. O. et al. Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation //International journal of hydrogen energy. – 2019. – Т. 44. – №. 29. – С. 15072-15086.
28. Тағоев С. А. Перспективные направления развития водородной энергетики в условиях Республики Таджикистан. – 2023.
29. Mirsaidov U. M., Shodmonova M. A., Sharifov A. Prospects for the development of hydrogen energy in Tajikistan.

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

<b>TJ</b>	<b>RU</b>	<b>EN</b>
Рахимов Фирдавс Мирзоумарович н.и.т. муаллими калон	Рахимов Фирдавс Мирзоумарович к.т.н., ст. преподаватель	Rahimov Firdavs Mirzoumarovich Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:rm-firdavs@mail.ru">rm-firdavs@mail.ru</a>		
<b>TJ</b>	<b>RU</b>	<b>EN</b>
Ҳабибов Оятулло Саидбурҳонович докторант PhD	Хабибов Оятулло Саидбурхонович докторант PhD	Habibov Oyatullo Saidburhonovich  PhD student
ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:s.habibov@bk.ru">s.habibov@bk.ru</a>		

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

УДК 669.21

## ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ИСТИКЛОЛ» (ТУТЛИ)

Х.И. Холов<sup>1,2</sup>, Н.Т. Шарифбоев<sup>3</sup>, Ш.Р. Джуракулов<sup>4</sup>, Ш.Р. Самихов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии имени В.И. Никитина НАН Таджикистана

<sup>2</sup>Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни

<sup>3</sup>Горно-металлургический институт Таджикистана

<sup>4</sup>Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана

Статья посвящена анализу современных методов извлечения золота из золотосодержащих руд с особым акцентом на применение тиосульфатного процесса. Рассматриваются недостатки традиционного цианирования, такие как экологические риски и снижение эффективности при переработке руд сложного состава. Исследование проведено на золотосодержащих рудах месторождения «Истиклол», характеризующихся содержанием золота и присутствием металлов-примесей, осложняющих традиционные схемы переработки. Эксперименты с тиосульфатными растворами при различных температурах, уровнях pH и концентрациях реагентов показали возможность увеличения извлечения золота. Работа обосновывает потенциал тиосульфатного выщелачивания как более экологичной и эффективной технологии переработки труднообрабатываемых руд, а также его значимость для устойчивого развития золотодобывающей отрасли.

*Ключевые слова:* золото, цианид, тиосульфат, месторождение «Истиклол», выщелачивание, регенерация, извлечение.

## КОРКАРДИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ МАЪДАНИ ТИЛЛОДОРИ КОНИ «ИСТИКЛОЛ» (ТУТЛИ)

Х.И. Холов, Н.Т. Шарифбоев, Ш.Р. Чуракулов, Ш.Р. Самихов

Мақола ба таҳлили усулҳои муосири коркарди тилло аз маъдани тиллодор бахшида шуда, доир ба истифодаи раванди тиосульфатӣ равано шудааст. Камбудии сианидкунӣ анъанавӣ, аз ҷумла хатарҳои экологӣ ва хоҳиши самаранокӣ ҳангоми коркарди маъданҳои таркиби мушқилдошта, дарҷ гардидааст. Таҷрибаи дар маъдани тиллодори кони «Истиклол» гузаронида шуд, ки дар он тилло ва мавҷудияти металлҳои омехта тавсиф меёбанд ва онҳо раванди анъанавии коркардро душвор мегардонанд. Озмоишҳо бо маҳлулҳои тиосульфатӣ дар ҳароратҳо, муҳитҳои гуногуни pH ва консентратсияҳои муҳталифи реагентҳо иқтидори баланд бардоштани истихроҷи тиллоро нишон доданд. Дар мақола имкони истифодаи ишқори тиосульфатӣ ҳамчун як технологияи аз ҷиҳати экологӣ беҳатар ва самаранок барои коркарди маъданҳои душворкоркард асоснок карда шуда, аҳамияти он барои рушди устувори соҳаи истихроҷи тилло нишон дода шудааст.

*Калимаҳои калидӣ:* тилло, сианид, тиосульфат, кони «Истиклол», ишқор, барқарорсозӣ, ҷудокунии.

## HYDROMETALLURGICAL PROCESSING OF GOLD-BEARING ORES FROM THE "ISTIKLOL" (TUTLI) DEPOSIT

Kh.I. Kholov, N.T. Sharifboev, Sh.R. Jurakulov, Sh.R. Samikhov

This article focuses on the analysis of modern methods for extracting gold from gold-bearing ores, with a particular emphasis on the application of the thiosulfate process. The paper highlights the drawbacks of traditional cyanidation, including environmental risks and reduced efficiency when processing complex ores. The study was conducted on gold-bearing ores from the "Istiklol" deposit, characterized by a gold content and the presence of impurity metals that complicate conventional processing flowsheets. Experiments with thiosulfate solutions under varying temperatures, pH levels, and reagent concentrations demonstrated the potential for enhanced gold recovery. The work substantiates the promise of thiosulfate leaching as a more environmentally friendly and efficient technology for treating refractory ores, underscoring its importance for the sustainable development of the gold mining industry.

*Keywords:* gold, cyanide, thiosulfate, "Istiklol" deposit, leaching, regeneration, recovery.

### Введение

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена несколькими ключевыми факторами, среди которых наиболее значимыми являются рост промышленной переработки упорных золотосодержащих руд, ужесточение экологических стандартов и необходимость в повышении рентабельности горнодобывающих предприятий. На протяжении более ста лет цианидное выщелачивание играло ведущую роль в технологической схеме извлечения золота из руд и концентратов [1–3]. Данный процесс считается одним из самых экономически оправданных, поскольку низкая стоимость реактива и высокая эффективность позволили ему занять центральное место в большинстве гидрометаллургических операций по всему миру. Тем не менее, расширение масштабов добычи и переработки руд различных типов, в том числе труднообрабатываемых, а также рост внимания к вопросам охраны окружающей среды и здоровью населения сформировали новое понимание необходимости поиска альтернативных решений [4,5].

Возникновение цианидного процесса связывают с работами МакАртура и братьев Форрест в конце XIX века. Они впервые систематически исследовали свойства цианида в отношении растворимости золота и серебра, а также предложили промышленную технологическую схему, которая сделала возможным массовое

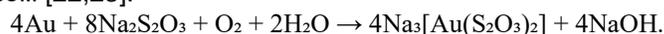
применение этого метода в горной промышленности. Использование цианидов оказалось настолько эффективным, что уже в начале XX века значительная часть крупных мировых золотодобывающих предприятий перешла на новую технологию, оставив в прошлом ртутное амальгамирование и гравитационные методы, не способные дать столь высокие показатели извлечения. Длительное время именно цианидное выщелачивание считалось универсальным решением для обработки разнообразного спектра руд: от кварцевых, легко поддающихся растворению, до более сложных сульфидных минералов [6,7].

Однако, несмотря на очевидные преимущества цианирования, этот метод не лишён существенных недостатков. Во-первых, использование токсичных реагентов всегда связано с рисками для окружающей среды и здоровья человека. Случаи аварий на предприятиях, сопровождающиеся выбросом цианидсодержащих растворов в водоёмы, приводят к катастрофическим последствиям: массовой гибели биологических видов и длительной деградации экосистем. Во многих странах на фоне роста промышленного производства и стремительной урбанизации ужесточились природоохранные нормативы, и это стало дополнительным стимулом к тому, чтобы пересмотреть технологические процессы, основанные на цианидах [8,9]. Во-вторых, с появлением новых месторождений, где золото залегает в рудных породах сложного минерального состава, эффективность классического цианирования снижается, а в отдельных случаях золото и вовсе невозможно извлечь стандартными методами. Например, наличие углеродистых пород вызывает эффект «preg-robbing», при котором золотосодержащие цианокомплексы адсорбируются на поверхности органического вещества, существенно ухудшая показатели извлечения и увеличивая расход реагентов [10,11]. В случае присутствия сульфидов меди, сурьмы, теллуридов, мышьяка и ряда других элементов, которые вступают во взаимодействие с цианидами, образование побочных комплексов также приводит к повышенному расходу химических веществ. В результате производство становится менее рентабельным, а в ряде ситуаций вообще не имеет смысла, если учесть объёмы отходов и связанные с этим расходы на их утилизацию.

Проблема токсичности цианида натрия, наиболее часто применяемого в промышленности, не ограничивается прямым воздействием на воду и почву. Связанные с этим вопросы безопасности заставляют горные компании вкладывать значительные средства в строительство систем нейтрализации стоков, в технические решения по предотвращению утечек, а также в непрерывный мониторинг технологического процесса. Все эти меры сильно увеличивают общую себестоимость производства, что становится критичным фактором на фоне колебаний цен на золото на мировых рынках. В некоторых регионах, особенно в Европе, общественное мнение и политика направлены на полный или частичный запрет использования цианидов, что ещё более стимулирует научно-исследовательские и опытно-промышленные работы в направлении альтернативных технологий [12,13].

С середины XX века стали активно развиваться альтернативные выщелачивающие системы, способные заменить цианиды хотя бы в сегменте труднообрабатываемых руд. Первоначальный интерес вызывали галогены [5,14] – хлор, бром и йод, — способные образовывать растворимые комплексы с золотом и серебром. Однако их практическое применение оказалось сопряжено с рядом технологических сложностей, в том числе с коррозионной активностью и повышенной агрессивностью среды, что приводит к усложнению аппаратного оформления. Помимо галогенов, исследовали тиомочевину [15], ацетилтиомочевину [16], тиосульфаты, тиоцианаты [17], политионаты, аммиачные растворы и даже органические реагенты (например, нитрилы) [18,19]. Многие из таких систем обладают несомненными экологическими преимуществами по сравнению с цианидами. При этом часть из них требует повышенных концентраций, сложного контроля химического состава или применения дополнительных стадий подготовки сырья, что может свести на нет экономическую эффективность. Тем не менее, некоторые результаты стали внушать определённые надежды. Например, тиосульфатный метод, который известен давно, пережил возрождение благодаря работам крупных золотодобывающих компаний. Они заинтересовались этим реагентом, поскольку он позволяет с меньшими экологическими рисками обрабатывать углеродистые и медьсодержащие руды, которые плохо поддаются цианированию [20].

В основе растворения золота в тиосульфате лежит окислительно-восстановительный процесс, который можно сравнить с традиционным цианистым методом. При этом золотые частицы окисляются в присутствии кислорода и тиосульфатных ионов, формируя стабильные растворимые комплексные соединения. Реакция протекает следующим образом [22,23]:



подавляющее большинство работ, посвящённых исследованию альтернативных методов, преследует цель выработать универсальную технологию, позволяющую перерабатывать широкую гамму руд с минимальным ущербом для окружающей среды. Однако учитывая разнообразие химических и минеральных составов руд, столь универсальный метод пока не найден. Каждый подход (тиосульфатный, тиомочевинный, хлоридный и так далее) имеет узкую область эффективности, зависящую от содержания определённых элементов в рудном материале, от требований к температуре и pH, от наличия или отсутствия благоприятных

условий для окислительно-восстановительных реакций. Для промышленности критически важными факторами остаются стоимость реагентов, потребность в дополнительном оборудовании, сложность регенерации и утилизации остатков, а также потенциальные риски для персонала и окружающей среды. Поэтому, чтобы технология была коммерчески успешной, необходимо детальное исследование и экспериментальное подтверждение её преимуществ для конкретных типов сырья [14,21].

С другой стороны, расширение масштабов добычи золота и вовлечение в эксплуатацию руд более низкого содержания металла усилили интерес к кучному и бактериальному выщелачиванию. Эти методы обладают рядом преимуществ, связанных, прежде всего, с низким уровнем капитальных затрат и возможностью переработки больших объёмов. Однако стандартное кучное выщелачивание в большинстве случаев всё ещё ориентировано на использование цианида натрия, с теми же рисками, которые характеризуют и классические гидроталлургические схемы. Внедрение тиосульфатного или аналогичных методов в кучное выщелачивание может помочь решить проблему переработки руд, содержащих растворяющуюся в растворе медь, углеродистые компоненты и другие «проблемные» элементы. Таким образом, основной вызов для отрасли состоит в том, чтобы найти оптимальное сочетание реагентов, обеспечивающее высокий выход золота при приемлемых затратах, соблюдая при этом растущие природоохранные требования.

**Целью данной работы** становится исследование возможностей и ограничений альтернативных методов выщелачивания золота, с особым вниманием к тиосульфатному процессам, а также оценка их эффективности на конкретных примерах руд, содержащих различные примеси, влияющие на процесс растворения. Предполагается разработать и протестировать условия, при которых извлечение золота будет максимально возможным, а негативное воздействие на окружающую среду минимальным. Задачами исследования, следовательно, являются: провести детальный анализ механизма взаимодействия новых реагентов с рудной составляющей; определить влияние основных параметров процесса — pH, температуры, концентрации реагентов и окислителя — на извлечение драгоценных металлов. Кроме того, предполагается изучить вопросы регенерации и повторного использования реагентов, ведь в промышленном масштабе очень важно иметь замкнутый цикл, который позволит снизить объём сбросных растворов и уменьшить нагрузку на очистные сооружения. Данная задача особенно актуальна в условиях ограниченных водных ресурсов и при повышенном внимании к экологической безопасности.

Весьма важно отметить, что при рассмотрении экологической составляющей нельзя ограничиваться лишь токсичностью используемых реагентов. Необходимо учитывать формирование побочных продуктов и метаболитов, которые могут возникать в результате окислительно-восстановительных реакций. В случае цианида это, например, различные цианокомплексы тяжелых металлов, которые сложны в утилизации и остаются длительное время в хвостах, при этом существует опасность их миграции в грунтовые воды. Для альтернативных методов, хотя прямой токсичности может быть меньше, остаются актуальными вопросы разложения исходных реагентов, возможного образования серных соединений, а также проблемы химической деструкции сложных органических компонентов в случае применения органических растворителей. Поэтому необходим комплексный подход: контроль химического состава раствора на всех стадиях процесса, использование эффективных схем регенерации и переработки отходов, а при необходимости — организация дополнительных стадий очистки и осаждения вредных примесей. Только при соблюдении подобных мер можно обеспечить действительно безвредную или, по крайней мере, безопасную для окружающей среды технологию.

Подводя итог, можно сказать, что высокотоксичность и строгие регулятивные меры в отношении цианидного выщелачивания, а также растущая доля труднообрабатываемых руд, создают значительную потребность в развитии альтернативных технологий. Их успешная реализация должна быть сопряжена с более глубоким пониманием химических механизмов, которые лежат в основе растворения золота и сопутствующих ему элементов. На основе полученных знаний можно будет предложить технологические схемы, максимально адаптированные к конкретному рудному сырью, при этом учитывая экономические и экологические факторы. Таким образом, научная и практическая ценность подобных исследований весьма высока, а актуальность данной работы очевидна в контексте современных тенденций развития мировой золотодобывающей промышленности.

### **Материалы и методы исследования. Объекты исследования.**

В ходе разработки технологического процесса извлечения благородных металлов из золотосодержащих руд месторождения «Истиклол» было изучено пять характерных проб [22]. Суммарные данные об их элементном составе приведены в таблице 1, где отражены содержание золота, серебра, а также сопутствующих элементов (свинца, алюминия, железа, общей серы, меди и цинка). Изучение таких параметров является важным этапом, поскольку каждый из перечисленных компонентов может влиять на выбор реагентов, режимы выщелачивания и общую эффективность переработки руды.

Таблица 1 – Состав золотосодержащих руд месторождения «Истиклол»

Содержание элементов, %							
Au, г/т	Ag, г/т	Pb	Al	Fe	Собщ	Cu	Zn
1,47	19,9	5,12	8,10	7,12	3,78	0,41	0,33

Установленные концентрации золота свидетельствуют о необходимости применения высокоэффективных методов обогащения и выщелачивания, поскольку часть проб характеризуется сравнительно низкой золотосодержимостью, а это усложняет технологические решения. Содержание серебра в некоторых образцах достигает 20 г/т, что указывает на потенциальную ценность извлечения не только золота, но и сопутствующих драгоценных металлов. В то же время повышенные концентрации таких элементов, как свинец и железо, а также наличие в руде общей серы, могут негативно сказываться на классических схемах цианирования и требовать особых условий или модификации технологии выщелачивания.

### Химические реагенты

В работе использовались реагенты: тиосульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ); сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ); аммоний сульфат ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ); сульфит натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ); гидроксид аммония ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

Концентрации реагентов варьировались в зависимости от условий эксперимента, а сам процесс проводился как в присутствии воздуха (окислительная среда), так и без его подачи.

### Экспериментальные установки

Все опыты проводились в 1-литровых фарфоровых стаканах, оборудованных мешалками и термостатами для поддержания заданной температуры. Скорость перемешивания варьировалась от 50 до 100 об/мин. Температурный диапазон был от 18 до 80°C в зависимости от экспериментальных условий. Процесс выщелачивания продолжался 5 часов, при этом pH раствора регулировался добавлением кислот или аммиака.

### Методы анализа

По завершении выщелачивания раствор фильтровали, а осадок промывали фильтратом и высушивали при 110–120°C. Концентрация золота и серебра в растворе определялась методом атомно-абсорбционной спектроскопии, а в осадке — пробирным анализом. Степень извлечения золота и серебра рассчитывалась как процентное соотношение содержания металлов до и после процесса.

### Условия эксперимента

В ходе исследований варьировались состав растворов, температура, длительность выщелачивания и интенсивность подачи воздуха. Оценивалась эффективность тиосульфатного и тиосульфатно-аммиачного методов в зависимости от концентраций используемых реагентов, уровня pH и других условий.

### Ход исследования

Эксперимент по выщелачиванию проводили в фарфоровых стаканах объемом 1 литр, размещенных в термостатированной водяной бане. Пульпа перемешивалась стальной пропеллерной мешалкой со скоростью 50–100 об/мин. Температура бани изменялась в диапазоне от 18–25°C до 80°C; в случае необходимости применялся переменный нагрев. В процессе поддержания стабильной концентрации реагентов и объема жидкости в пульпу вводили добавки кислоты, аммиака или воды.

В ходе эксперимента через термостатированную пульпу пропускался воздух (0,1–0,2 л/мин) с содержанием кислорода. По завершении процесса пульпу фильтровали, промывали фильтратом и обезвоживали под вакуумом. Остатки фильтрата удаляли дистиллированной водой, а затем осадок сушили при температуре 110–120°C. Содержание металлов определяли атомно-абсорбционным методом для раствора и пробирным анализом для осадка.

Эксперименты по тиосульфатному выщелачиванию руды месторождения «Истиклол» проводились в условиях слабощелочной, слабокислой и нейтральной сред. Использовались растворы сульфата аммония (0,2 моль/л), сульфата натрия (0,07 моль/л) и сульфита натрия (5 г/л) в качестве восстановителя. Процесс осуществлялся при соотношении твердая фаза: жидкость = 1:2 (250 г: 500 мл). Исходный раствор тиосульфата был слабощелочным.

Сульфат аммония уменьшал pH среды, сульфит натрия его повышал, а сульфат натрия практически не влиял на кислотность. Результаты показали (таблица 2), что при температуре 60°C за 5 часов в присутствии сульфата натрия и воздуха извлечение золота было низким, в то время как извлечение серебра значительно увеличивалось.

Повышение температуры до 75°C (таблица 3) снижает извлечение серебра с сульфатом натрия, но увеличивает с сульфатом аммония. Добавление сульфита натрия при 60°C повышает извлечение золота и серебра, особенно в присутствии катионов аммония. Понижение pH до слабокислой среды немного снижает

извлечение, особенно без аммониевых катионов. При кислой среде и температуре 60-80°C извлечение золота и серебра увеличивается за счет растворения оксидов металлов с их поверхности.

Применение сульфата аммония обеспечивает большее извлечение золота и серебра по сравнению с сульфатом натрия. При выщелачивании сульфатом натрия и сульфитом натрия без воздуха добавление аммиака значительно увеличивает извлечение. Процесс при 75-80°C с воздухом без восстановителя повышает извлечение серебра, но снижает золота. При 60°C с воздухом, но без восстановителя, увеличивается извлечение золота.

Таблица 2 – Экспериментальные данные тиосульфатного выщелачивания руды месторождения «Истиклол»

№ опыта	Состав выщелачивающего раствора, г/л					Добавки H <sub>2</sub> O, мл/л	pH раствора		Условия процесса			Степень извлечения, %	
	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , моль/л	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0,2 н.		Исходного	Конечного	t °C	Подача воздуха	Время, час	Au	Ag
1	40	-	10	-	-	150	9,95	8,25	60	+	5	1,6	3,34
2	40	-	-	0,2	-	150	6,83	7,95	60	+	5	32,4	16,2
3	40	-	10	-	-	400	9,37	8,86	75	+	5	2,65	1,91
4	40	-	-	0,2	-	400	7,05	7,72	75	+	5	50,0	11,8
5	40	5	10	-	-	110	10,04	8,89	60	+	5	2,63	2,57
6	40	5	-	0,2	-	110	10,02	8,14	60	+	5	48,1	9,87
7	40	5	10	-	-	112	10,08	8,86	60	-	5	7,47	3,36
8	40	5	-	0,2	-	112	10,06	8,1	60	-	5	45,1	20,3
9	40	-	10	-	+	120	6,1	7,94	60	+	5	2,65	2,12
10	40	-	-	0,2	+	120	3,9	7,92	60	+	5	41,9	22,2

В ходе исследований было установлено, что повышение температуры до 75°C приводит к снижению извлечения серебра при использовании сульфата натрия, однако применение сульфата аммония в этих условиях, напротив, способствует увеличению извлечения. Включение сульфита натрия в процесс при температуре 60°C демонстрирует значительное увеличение извлечения как золота, так и серебра, особенно в присутствии аммониевых катионов.

Снижение pH среды до слабокислого уровня немного уменьшает показатели извлечения, особенно при отсутствии аммониевых ионов. Однако при переходе к более кислой среде (pH<7) и при температуре в диапазоне 60–80°C наблюдается рост извлечения золота и серебра. Это обусловлено усилением растворения оксидных соединений металлов с поверхности минералов, что улучшает доступ реагентов к целевым компонентам.

Использование сульфата аммония показывает более высокую эффективность извлечения золота и серебра по сравнению с сульфатом натрия. В условиях выщелачивания с использованием сульфата натрия или сульфита натрия и без доступа воздуха добавление аммиака существенно увеличивает показатели извлечения. В свою очередь, проведение процесса при 75–80°C в присутствии воздуха, но без восстановителей, приводит к увеличению извлечения серебра, хотя извлечение золота при этом снижается. Напротив, при температуре 60°C и наличии воздуха, но без восстановителей, наблюдается рост извлечения золота.

В ходе проведённых теоретических и экспериментальных исследований была разработана основополагающая гидрометаллургическая схема технологического процесса переработки руд с применением тиосульфатного выщелачивания. Процесс включает основные этапы (рисунок 1): измельчение, сгущение,

автоклавирование, нейтрализацию, выщелачивание с использованием смолы (RIL), рециркуляцию растворов и реагентов, элюирование золота, регенерацию смолы, концентрирование водной эмульсии (EW), электроосаждение и получение сплава Доре. Отходы процесса перерабатываются в виде густых хвостов с последующим складированием в хвостохранилище. Технология направлена на эффективное извлечение золота и серебра при минимизации потерь и рециклинге реагентов.

Предложенная технология отличается уникальной совокупностью решений, включающих тиосульфатное выщелачивание, эффективное осаждение золота из растворов с получением сплава Доре, регенерацию растворителя, а также полный внутрифабричный оборот растворов. Такой подход обеспечивает возможность реализации бессточного гидрометаллургического процесса извлечения золота из золотосодержащей руды на основе тиосульфатной технологии.

Таблица 3 – Экспериментальные данные тиосульфатного выщелачивания руды месторождения «Истиклол»

№ опыта	Состав выщелачивающего раствора, г/л					Добавки		pH раствора		Условия процесса			Степень извлечения, %	
	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , моль/л	NH <sub>4</sub> OH, конц.мл/л	NH <sub>4</sub> OH, конц.мл/л	H <sub>2</sub> O, мл/л	Исходного	Конечного	t °C	Подача воздуха	Время, час	Au	Ag
1	40	5	10	-	100	-	150	11,65	9,53	60	-	5	57,9	18,5
2	40	-	-	0,2	100	-	150	10,17	8,96	60	-	5	57,9	20,1
3	40	-	10	-	100	-	150	11,65	9,25	60	+	5	52,6	44,1
4	40	-	-	0,2	100	-	150	10,07	8,73	60	+	5	65,4	44,3
5	40	5	10	-	50	50	190	11,61	9,47	75	-	5	68,4	26,9
6	40	5	-	0,2	50	50	190	11,01	8,93	75	-	5	66,5	26,6
7	40	-	10	-	50	50	190	11,73	9,07	75-80	+	5	68,9	40,8
8	40	-	-	0,2	50	50	190	10,20	8,35	75-80	+	5	66,3	31,8
9	40	-	10	-	50	30+20	70	11,35	9,53	60	+	5	80,0	25,3
10	40	-	-	0,2	50	30+20	60	9,87	9,02	60	+	5	78,0	19,8

Ключевое преимущество данной технологии заключается в ее экологической эффективности и практической реализуемости, что выгодно отличает ее от традиционных методов, таких как цианирование. Создание бессточных технологических схем при использовании цианирования значительно сложнее и менее устойчиво в промышленной практике, в то время как предложенная нами технология не только упрощает реализацию таких схем, но и минимизирует экологическое воздействие, что делает ее перспективным решением в области переработки золотоносных руд.

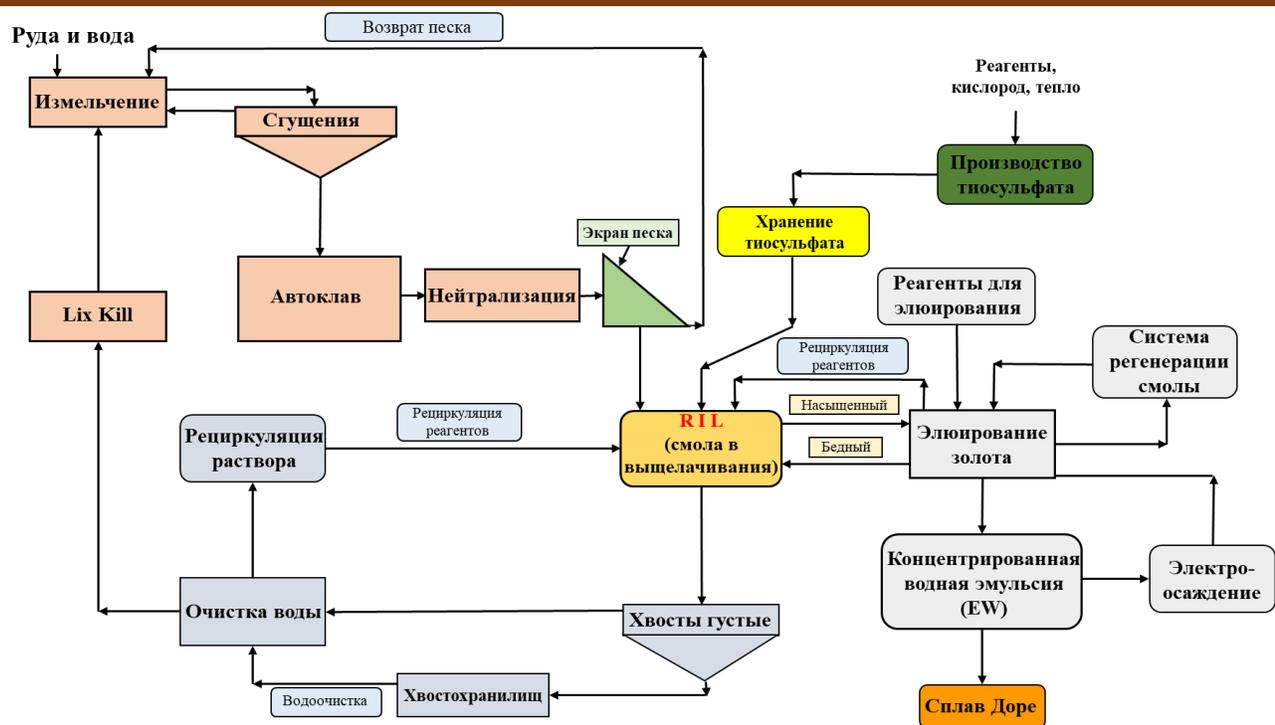


Рисунок 1 – Технологическая схема переработки золотосодержащей руды месторождения Пакурт с использованием тиосульфатного выщелачивания

## Заклучение

Результаты проведённых исследований подтверждают перспективность использования тиосульфатного выщелачивания для переработки руд сложного состава. Преимущества данной технологии включают снижение экологических рисков, повышение извлечения золота из упорных руд и возможность создания замкнутых бессточных схем. В то же время остаются нерешённые задачи оптимизации реагентов и параметров процессов, а также разработки универсальных решений для различных типов сырья. Продолжение исследований в этой области является ключевым шагом к внедрению экологически безопасных и экономически оправданных методов в золотодобывающей промышленности.

*Рецензент: Джураев Ш.Д. – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия», ТПУУ имени академика М.С. Осими.*

## Литература

1. Faraz S., Hossna D., Rezgar B., Piroz Z. Improved recovery of a low-grade refractory gold ore using flotation–preoxidation–cyanidation methods. *Int. J. Min. Sci. Technol.*, 2014, 24(4), 537–542.
2. Пелих В.В., Салов В.М. К вопросу об управлении процессом цианирования золота. *iPolytech Journal*, 2012, 11(70), 163–170.
3. Senanayake G. The cyanidation of silver metal: Review of kinetics and reaction mechanism. *Hydrometallurgy*, 2006, 81(2), 75–85.
4. Kholov K.I., Sharifboev N.T., Samikhov S.R., Dzhurakulov S.R., Zarifova M.S. Gold Leaching by Various Solutions, Alternative of Cyanide and Their Prospects in the Future. *J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol.*, 2021, 14(4), 433–447.
5. Munive G.T., Encinas M.A., Salazar Campoy M.M., Alvarez V.E., Vazquez V.M., Choque D.C. Leaching gold and silver with an alternative system: Glycine and thiosulfate from mineral tailings. *JOM*, 2020, 72(2), 918–924.
6. Мязин В.П., Соколова Е.С. Становление золотодобычи в Забайкалье и поиск направлений дальнейшего развития путем использования инноваций по технологии кучного выщелачивания золота. *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2020, 26(6), 14–25.
7. Smolyaninov V.V., Shekhvatova G.V., Vainshtein M.B., Abashina T.N. Organic Base Polythionates in Hydrometallurgy Processes of Gold and Non-Ferrous Metals, 2015.
8. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Ганиев И.Н., Саихов Ш.Р., Джуракулов Ш.Р., Зарифова М.С. Тиосульфатное выщелачивание золота. *Политехнический вестник. Серия инженерные исследования*, 2021, (55) № 3, 58–63.
9. Keskinen S. Comparison of Cyanide and Thiosulphate Leaching for Gold Production (A Literature Review), 2013.
10. Zhang Y., Cui M., Wang J., Liu X., Lyu X. A review of gold extraction using alternatives to cyanide: Focus on current status and future prospects of the novel eco-friendly synthetic gold lixivants. *Miner. Eng.*, 2022, 176, 107336.

11. Feng X.I.E., Chen J.N., Jian W.A.N.G., Wei W.A.N.G. Review of gold leaching in thiosulfate-based solutions. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2021, 31(11), 3506–3529.
12. Дроздова И.Ю., Дорофеева Л.А. Исследование факторов, влияющих на потери цианида натрия при выщелачивании золота. *Молодые ученые в решении актуальных проблем науки*, 2022, 388–390.
13. Володина М.А., Глухов А.Т. Рациональная технология производства цианида натрия, 2021.
14. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Самихов Ш.Р., Джуракулов Ш.Р., Зарифова М.С. Выщелачивание золота различными растворами, заменители цианида и их перспективы в будущем. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии*, 2021, 14, № 4, 433–447.
15. Холов Х.И., Самихов Ш.Р., Зарифова М.С., Бобомуродов О.М. Извлечение золота тиомочевинной из хвостов флотации руды нижних горизонтов месторождения Джижикрут. *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*, 2019, 62(1–2), 88–92.
16. Холов Х.И., Самихов Ш.Р. Ацетилтиомочевинное выщелачивание золота из хвостов флотации месторождения Джижикрут. *Норвежский журнал развития международной науки*, 2019, 27–1, 7–11.
17. Косимпур Х.М. Исследования тиоцианатного выщелачивания серебра из техногенного сырья. *Вестник педагогического университета (Естественных наук)*, 2022, 4(16), 184–189.
18. Камкин Р.И., Александров П.В., Фролов В.С. Реагенты BASF для кучного выщелачивания золотосодержащих руд. *Золото и технологии*, 2018, 1, 70–71.
19. Зашихин А.В., Свиридова М.Л. Выщелачивание золота гуминовыми препаратами. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, 2019, 4, 151–156.
20. Aylmore M. Alternative lixivants to cyanide for leaching gold ores. *Gold ore processing. Elsevier*, 2016, 447–484.
21. Dong Z., Jiang T., Xu B., Li Q., Yang Y. Gold recovery from pregnant thiosulfate solution by ion exchange resin: Synergistic desorption behaviors and mechanisms. *Sep. Purif. Technol.*, 2023, 323, 124481.
22. Самихов Ш.Р., Шарифбоев Н.Т., Назаров Х.М., Хочиён М.К. Тиосульфатное выщелачивание золота и серебра из золотосодержащих руд месторождения "Истиклол". *Вестник ТНУ*, 2018, 3, 203.
23. Холов Х.И., Шарифбоев Н.Т., Зарифова М.С., Самихов Ш.Р., Ганиев И.Н. Кинетика процесса тиосульфатно-аммиачного выщелачивания золота из отобранной руды месторождения "Истиклол" (Тулли). *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: естественные и технические науки*, 2021, 1, 95-98.

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

TJ	RU	EN
Холов Холмахмад Исроилович	Холов Холмахмад Исроилович	Kholov Kholmahmad Isroilovich
н.и.т.	к.т.н.	C. Sc. in Technical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
E-mail: <a href="mailto:Kholmahmad90@mail.ru">Kholmahmad90@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Шарифбоев Насим Тухтабоевич	Шарифбоев Насим Тухтабоевич	Sharifboev Nasim Tukhtaboevich
Унвонҷӯ	Соискатель	Competitor
Донишкадаи кӯҳӣ -металлургии Тоҷикистон	Горно-металлургический институт Таджикистана	Mining - Metallurgical Institute of Tajikistan
E-mail: <a href="mailto:nasim_3535@mail.ru">nasim_3535@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Самихов Шонаврӯз Рахимович	Самихов Шонаврӯз Рахимович	Samikhov Shonavruz Rahimovich
д.и.т.	д.т.н.	Dr. Sc. in Technical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
E-mail: <a href="mailto:samikhov72@mail.ru">samikhov72@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Чуракулов Шерзод Рабимкулович	Джуракулов Шерзод Рабимкулович	Juraqulov Sherzod Rabimqulovich
Унвонҷӯ	Соискатель	Competitor
Институти геология, сохтмони ба заминчунби тобовар ва сейсмология АМИТ	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана	Institute of Geology, Earthquake Resistant Construction and Seismology NAST
E-mail: <a href="mailto:nasim_3535@mail.ru">nasim_3535@mail.ru</a>		

УДК: 665.64

## ПРИМЕНЕНИЕ КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА КАТАЛИЗАТОРОВ

Т.Д. Джураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев, Б.С. Сафаров

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются теории катализа, существующие требования и строение катализаторов. Впервые на основе применения кристаллохимической теории наследственности в неорганической природе предлагается методика прогноза веществ-катализаторов, применяемых в химических реакциях.

**Ключевые слова:** катализаторы, генетический код, свойства, химические реакции, теории катализа, ближний порядок, химико-структурированные единицы наследственности, активные центры.

## ТАДБИҚИ НАЗАРИЯИ КРИСТАЛЛОХИМИЯВИИ ЗУҲУРОТИ ИРСӢ БАРОИ ПЕШГУӢИ КАТАЛИЗАТОРҲО

Т.Ҷ. Ҷураев, Э.Р. Газизова, М.Т. Тошев, М.А. Иззатуллоев, Б.С. Сафаров

Дар мақола назарияҳои катализ, талаботҳои мавҷуда ва сохтори катализаторҳо баррасӣ шудаанд. Бори аввал дар асоси тадқиқи назарияи кристаллохимиявии зуҳуроти ирсӣ дар табиати ғайриорганикӣ усули пешгуӣи моддаҳо-катализаторҳо, ки дар реаксияҳои химиявӣ истифода мешаванд, пешниҳод карда шудааст.

**Калидвожаҳо:** катализаторҳо, рамзи генетикӣ, хосиятҳо, реаксияҳои химиявӣ, назарияҳои катализ, тартиби наздик, воҳидҳои сохтори химиявӣ ирсӣ, марказҳои фаъол.

## APPLICATION OF CRYSTAL CHEMICAL THEORY OF HEREDITY TO PREDICT CATALYST

T.J. Juraev, E.R. Gazizova, M.T. Toshev, M.A. Izzatulloev, B.S. Safarov

The article discusses theories of catalysis, existing requirements and the structure of catalysts. For the first time, based on the application of the crystal chemical theory of heredity in inorganic nature, a method for predicting catalyst substances used in chemical reactions is proposed.

**Keywords:** catalysts, genetic code, properties, chemical reactions, theories of catalysis, short-range order, chemically structured units of heredity, active centers.

### Введение

Прогноз свойств катализаторов, применяемых в разнообразных сложных химических реакциях, может стать основой для создания теории механизма катализа, которую пытаются создать вот уже на протяжении второго столетия. Зачастую методом случайного подбора веществ происходило открытие множества гипотетических теорий, правил и принципов его действия [1-10]. Однако до сих пор остается нераскрытой суть протекания каталитических реакций, что является большим пробелом в решении фундаментальных задач этого направления. На первый взгляд поражает количество теорий, объясняющих всего лишь одно явление – катализ. Наиболее известными являются: теория катализа Берцелиуса; теория объемных промежуточных соединений Менделеева; адсорбционная теория катализа Фарадея и Шваба; теория поверхностных промежуточных соединений Сабатье; теория активных центров Тейлора; мультиплетная теория Баландина; теория активных ансамблей Кобозева; электронная теория катализа Доудена и Волькенштейна; цепная теория катализа Семёнова и Воеводского; теория пересыщения Рогинского и др. [9]. Рождение и существование всех этих теорий, по мнению В.Каплуненко, указывают на то, что «до создания общей теории катализа ещё слишком далеко». Например, согласно высказыванию профессора Б.В. Романовского, перечисленные теории таковыми не являются. Он считает, что они больше соответствуют ограниченному полуэмпирическим концепциям, чем теориям [10].

### Методика и обработка результатов

Отсутствие на сегодняшний день единой теории катализа не может вычеркнуть значимого вклада ученых в его развитие, принесшее успехи в промышленных масштабах. Речь идет о разработанных на основании предыдущих опытов требованиях к характеристикам веществ катализаторов. Основными из них являются: постоянная высокая каталитическая активность; селективность; механическая прочность; термостойкость; устойчивость к действию каталитических ядов; большая длительность работы; легкая регенерируемость и др. [11]. Используя эти требования, возможен прогноз веществ-катализаторов, который способствует раскрытию механизма катализа и созданию его общей теории. Такую задачу авторы поставили перед собой и для её решения применили позицию кристаллохимической теории наследственности (КХТН) в неорганической природе. КХТН была впервые предложена нами [12-18] на основании анализа, накопленного в работах [19-28] экспериментального материала по кристаллохимии, материаловедению и кристаллографии. Согласно ей в качестве материальных носителей информации представляются химико-структурированные единицы наследственности (ХСЕН) – гены в виде тетраэдрических (ТЭ) и октаэдрических (ОЭ) многогранников с определённой электронной конфигурацией и координациями с четырьмя  $sp^3$ -,  $sd^3$ -,  $sp^2d$ - и шестью  $s^2p^4$ -,  $s^2d^4$ -

,  $sp^4$ -,  $sp^3d^2$ - эквивалентными связями и углами между ними в  $109.5$  и  $90^\circ$ , соответственно. Они являются ближним порядком в кристалле и наиболее энергетически выгодными формами при структурообразовании веществ, в конечном счёте, представляющими собой код их наследственной информации.

Современные воззрения о катализе обуславливают его как процесс, при котором химические реакции протекают под действием катализаторов, выполняющих роль их ускорителей за счет снижения энергии активации вступающих в реакцию реагентов. По условиям её протекания катализ разделили на гомогенный, гетерогенный и ферментативный (или биологический) [29]. При каждом виде катализа введенный катализатор с реагентами, вступающими в реакцию, образует активные центры, состоящие из активированного комплекса с неустойчивым химическим соединением, который называют по-разному – промежуточный продукт – активный ансамбль – мультиплет – интермедиат. Характерным свойством катализатора является то, что в конце реакции он регенерируется, т.е. восстанавливается в исходной форме. Учитывая вышеизложенное, теория активных центров Тейлора и мультиплетная теория Баландина являются наиболее удобными для нынешнего понимания хода каталитических реакций.

Примерами веществ-катализаторов могут быть кислоты и основания, нередко используемые в гомогенном катализе. Металлы и их сплавы, гидриды, нитриды, оксиды, сульфиды, их смеси и др. химические соединения широко применяются в качестве гетерогенных катализаторов [18]. Вода также играет роль ускорителя различных реакций. А что общего между этими веществами? Анализ внутреннего строения показал, что их ближний порядок состоит из тетраэдрических или октаэдрических конфигураций, выполняющих роль химико-структурированных единиц наследственности, механизм образования которых был установлен на основании теории плотнейших шаровых упаковок, теории валентных связей, молекулярных орбиталей и направленности химических связей, определяющих стереохимию неорганических соединений [14, 17].

Остановимся более подробно на рассмотрении строения ближнего порядка некоторых известных катализаторов. Вода является высокоэффективным катализатором. Несмотря на простую химическую формулу, она участвует в жизненно важных реакциях, «двигает» процессы метаболизма, например цикл Кребса. Электронная конфигурация молекулы воды (пространственное распределение электронных пар и конфигурация зарядов), установленная методом молекулярных орбиталей [14, 17], состоит из четырех себе подобных частиц  $H_2O$  (ХСЕН), которые расположены в виде тетраэдрических координационных групп вокруг пятой, и образующие полимерную молекулу типа алмаза в виде ближнего порядка или малого кластера  $(H_2O)_5$ . Её ХСЕН кристаллизуется в плотноупакованной гексагональной кристаллической решетке (ПУГ) с ТЭ конфигурацией и  $KЧ = 4$ . Эта ХСЕН характеризуется термической и химической устойчивостью [17].

Алмаз, покрытый водородом, катализирует реакцию превращения газообразного азота в ценное сельскохозяйственное удобрение – аммиак [30]. Сам по себе алмаз – аллотропная модификация углерода со структурным типом гранецентрированной кубической кристаллической решетки (ГЦК). При образовании химической связи между атомами углерода в возбужденном состоянии электронная пара обобществляется [17, рис.12, а] и, во время перекрывания орбиталей, становится связывающей. В результате атом углерода образует 4  $sp^3$ -гибридных орбитали [17, рис.12, б]. При этом он имеет 4 равноценные  $\sigma$ -связи и ТЭ окружен четырьмя такими же атомами, т.е. атом углерода образует ближний порядок в виде полимерной молекулы алмаза  $[(C)_5]_n$ , что соответствует ХСЕН-ти молекулы углерода. Активированный уголь, оксид никеля, кремнезём, вюрцит, адамантан, порфин, хлорофилл – эти вещества также имеют структуру ближнего порядка, представляющую собой ХСЕН с ТЭ конфигурацией и  $KЧ = 4$  [14, 17] (см. табл. 1), и проявляют каталитическую активность.

Для неорганических соединений самым распространенным типом гибридизации с участием  $d$ -орбиталей является  $sp^3d^2$ -гибридизация. Расположение в пространстве указанных гибридных орбиталей можно наглядно представить по работе [17, рис.21, а]. Там образуется шесть равноценных по форме и энергии гибридных облаков, направленных к вершинам ОЭ, в центре которого находится ядро атома (молекулы, иона, радикала, дефекта или др.). ХСЕН с ОЭ конфигурацией [17, рис. 21, б] представляется ближним порядком в виде правильного восьмигранника. К неорганическим соединениям, имеющим ХСЕН с ОЭ конфигурацией и  $KЧ = 6$ , относятся, например, галит, арсенид галлия, аустенит, оксид кальция, оксид магния, гемоглобин, миоглобин, цитохромы (гем или порфирин Fe), никель Ренея, глинозём (см. табл. 2). Все эти вещества проявляют каталитическую активность в химических реакциях в живой и неживой природе, что подтверждается

экспериментально [1-9, 11, 26, 29]. Вещества, имеющие ХСЕН с октаэдрической конфигурацией, более стабильнее и устойчивее на две связи, нежели с тетраэдрической [17].

Таблица 1 – Характеристики генетического кода неорганических и металлоорганических комплексных соединений, проявляющих свойства катализаторов

Природа	Неорганическая				Органическая		
	алмаз	вода	оксид никеля	вюрцит	адамтан	комплексы Mg, Fe, Zn, Ni, Co, Cu и Ag с производными порфирина	
Химическая формула	$[(C)_5]_n$	$[(H_2O)_5]_n$	$[(Ni_2O_3)_5]_n$	$[(ZnS)_5]_n$	$[(C_{10}H_{16})_5]_n$	$[(\text{порфин})_5]_n$	$[(\text{хлорофилл})_5]_n$
Структурный тип (дальний порядок)	ГЦК	ПУГ	ГЦК	ПУГ	ГЦК	ГЦК	ГЦК
Конфигурация генетического кода (ближний порядок)	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ
КЧ	4	4	4	4	4	4	4
Тетраэдрический угол	$109.5^0$	$109.5^0$	$109.5^0$	$109.5^0$	$109.5^0$	$109.5^0$	$109.5^0$
Свойства	К	К	К	К	К	К	К

Примечание: К – каталитические свойства, n – число Авогадро,  $n=6.022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Таблица 2 – Характеристики генетического кода неорганических и металлоорганических комплексных соединений, проявляющих свойства катализаторов

Природа	Неорганическая					Органическая	
	галит	арсенид никеля	аустенит	оксид кальция	оксид магния	комплексы Mg, Fe, Zn, Ni, Co, Cu и Ag с производными цитохрома	
Химическая формула	$[(NaCl)_7]_n$	$[(NiAs)_7]_n$	$[(Fe_7(C))_7]_n$	$[(CaO)_7]_n$	$[(MgO)_7]_n$	$[(\text{гемоглобин})_7]_n$	$[(\text{миоглобин})_7]_n$
Структурный тип (дальний порядок)	ГЦК	ПУГ	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК
Конфигурация генетического кода (ближний порядок)	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ
КЧ	6	6	6	6	6	6	6
Октаэдрический угол	$90^0$	$90^0$	$90^0$	$90^0$	$90^0$	$90^0$	$90^0$
Свойства	К	К	К	К	К	К	К

Примечание: К – каталитические свойства, n – число Авогадро,  $n=6.022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Следует отметить, что при химических процессах катализаторы, вступающие в реакцию, по строению своего ближнего порядка отвечают тетраэдрическим и октаэдрическим ХСЕН, но образующиеся в ходе реакции активные центры и интермедиат содержат вещества в виде ионов с тетраэдрическими ХСЕН. Поэтому так важны характеристики ближнего порядка при выборе веществ-катализаторов. В работах [14, 17] была рассмотрена взаимосвязь внутреннего строения кристаллических веществ с проявлением ими полупроводниковых (с ТЭ) и диэлектрических (с ОЭ) свойств. На основании этой взаимосвязи был произведен прогноз проводниковых свойств у ряда веществ. Подобную связь рекомендуется распространить и для прогноза свойств веществ-катализаторов, которые могут быть применены в различных каталитических реакциях (табл. 3-5).

Таблица 3 – Характеристики генетического кода кристаллов алюминидов, для которых прогнозируются свойства катализаторов

Соединение	Алюминид					
	титана	циркония	ванадия	тантала	ниобия	хрома
Химическая формула	TiAl <sub>3</sub>	ZrAl <sub>3</sub>	VAI <sub>3</sub>	TaAl <sub>3</sub>	NbAl <sub>3</sub>	CrAl <sub>3</sub>
Структурный тип (дальний порядок)	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК
Конфигурация генетического кода (ближний порядок)	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ	ТЭ
Координационное число	4	4	4	4	4	4
Тетраэдрический угол	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°	109.5°
Теплота образования из элементов, $\Delta H_{298}$ в Кдж/моль	146.3	–	108.68	109.51	118.71	50.16
Температура плавления, $T_{пл.}$ в К	1628	1853	1633	1900	2023	1213

Таблица 4 – Характеристики генетического кода кристаллов боридов, для которых прогнозируются свойства катализаторов

Соединение	Борид						
	Al	Ti	Zr	Nb	Ta	V	Cr
Химическая формула	AlB <sub>2</sub>	TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub>	NbB <sub>2</sub>	TaB <sub>2</sub>	VB <sub>2</sub>	CrB <sub>2</sub>
Структурный тип (дальний порядок)	ПУГ	ПУГ	ПУГ	ПУГ	ПУГ	ПУГ	ПУГ
Конфигурация генетического кода (ближний порядок)	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ
Координационное число	6	6	6	6	6	6	6
Октаэдрический угол	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°
Теплота образования из элементов, $\Delta H_{298}$ в Кдж/моль	–	292.6	320.6	246.62	192.28	259.16	125.4
Температура плавления, $T_{пл.}$ в К	2973	3253	3473	3273	3310	2673	2473
Микротвёрдость, ГПа	–	30.0	28.0	19.0	20.0	23.0	19.0

Таблица 5 – Характеристики генетического кода кристаллов карбидов, для которых прогнозируются свойства катализаторов

Соединение	Карбид								
	Sc	Ti	V	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W
Химическая формула	ScC	TiC	VC	ZrC	NbC	MoC	HfC	TaC	WC
Структурный тип (дальний порядок)	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ГЦК	ПУГ	ГЦК	ГЦК	ПУГ
Конфигурация генетического кода (ближний порядок)	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ	ОЭ
Координационное число	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Октаэдрический угол	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°	90.0°
Теплота образования из элементов, $\Delta H_{298}$ в Кдж/моль	–	187.3	101.0	184.7	129.9	- 40.6	–	140.9	35.2
Температура плавления, $T_{пл.}$ в К	2073	3413	3433	3448	3873	3113	4163	4073	2873
Микротвёрдость, ГПа	27.2	31.5	28.5	35.8	35.0	15.0	23.0	16.0	17.8

Химические соединения алюминидов переходных металлов, боридов и карбидов рентгенографически изучены [17]. В них установлено строение дальнего и ближнего порядков, последний из которых соответствует

ХСЕН. На основании рассмотренной в данной работе методики для них прогнозируются свойства катализаторов и образования неустойчивых активных комплексов с их участием (табл. 3-5).

## Заключение

Катализаторами могут быть химические неорганические или органические соединения, представляющие собой вещества со строением ближнего порядка в виде ХСЕН с ОЭ или ТЭ конфигурациями и КЧ 6 и 4, соответственно. Их активные центры (АЦ), в свою очередь, представляют собой вещества – ионы с ТЭ строением ХСЕН, образующиеся при взаимодействии самого катализатора с одним из реагентов в результате донорно-акцепторной реакции. Далее АЦ взаимодействует с другим субстратом и при этом образуется активированный ионный комплекс – интермедиат, имеющий менее устойчивое ТЭ строение ХСЕН. При диссоциации активированного комплекса образуются продукты реакции, и одновременно восстанавливается катализатор, поэтому он (интермедиат) отвечает за регенерацию катализатора и выход продуктов реакции.

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

## Литература

1. Сеттерфилд Ч. Практический курс гетерогенного катализа. – М.: Мир, 1984. – 520 с.
2. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. – М.: Академкнига, 2004. – 679 с.
3. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. – М.: Наука, 1986. – 304 с.
4. Гейтс Б.К., Кетцир Дж., Шуйт Г. – Химия каталитических процессов. – М.: Мир, 1981. – 551 с.
5. Стайлз Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
6. Танабе К. Катализаторы и каталитические процессы. – М.: Мир, 1983. – 304 с.
7. Хофман Р. Строение твердых тел и поверхностей. – М.: Мир, 1990. – 216 с.
8. Хьюз Р. Дезактивация катализаторов. – М.: Химия, 1989. – 280 с.
9. Каплуненко В., Косинов Н. Донорно-акцепторная теория гетерогенного катализа. [Электронный ресурс]. InterConf. Режим доступа: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/issue/view/19-20.08.2021>.
10. Лунин В.В., Романовский Б.В. Катализ: Опыт историко-методологического анализа // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 1999. – Т. 40, № 5. – С. 293-299.
11. Катализаторы. [Электронный ресурс]. Переработка нефти и газа. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/pererabotka-nefti-i-gaza/147532-katalizatory/22.03.2017>.
12. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Тошев М.Т. О химико-структурированных единицах, выполняющих роль элементов структуры расплава // Литейное производство. – 2012. – № 5. – С. 24.
13. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р. О кристаллохимической модели расплава // Литейное производство. – 2015. – № 2. – С. 14-16.
14. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Хаклодов М.М. Физико-химические основы наследственности в неорганической природе. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co KG. – 2011. – 128 с.
15. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Тошев М.Т. Проявление физической наследственности в неорганической природе // ДАН РТ. – 2012. – Т.55, №5. – С. 398-402.
16. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Тошев М.Т., Мухамедов Ф.Т. Дефекты кристаллов как носители наследственных признаков в твердых телах // ДАН РТ. – 2013. – Т.56, №7. – С. 564-569.
17. Джураев Т.Д., Тошев М.Т. Газизова Э.Р., Хаклод М.М. Элементы создатели наследственных признаков и их влияние на свойства металлов и сплавов. – Душанбе: ИО ТТУ, 2020. – 132с.
18. Джураев Т.Д., Газизова Э.Р., Тошев М.Т. Генетический код в аморфных сплавах // Машиноведение. Научно-технический журнал. Бишкек. – 2022.– №1 (15). – С. 83-93.
19. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 476 с.
20. Бокий Г.Б. Кристаллохимия. – М.: Наука, 1971. – 400 с.
21. Wells A.F. Structural inorganic chemistry. – Oxford, 1986. – V.1-3. – 1670 p.
22. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. – М.: МГУ, 1987. – 272 с.
23. Кемп, П. Армс К. Введение в биологию. – М.: Мир, 1988. – 671 с.
24. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел: физика химической связи. – М.: Мир, 1983. – Т.2. – 332 с.
25. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
26. Диккерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии. – М.: Мир, 1982. – Т.1. – 656 с.
27. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

28. Алесковский В.Б. Химия твердых веществ. – М.: Высшая школа, 1978. – 256 с.

29. Катализатор. [Электронный ресурс]. Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Катализатор/16.12.2023>.

30. Алмазный катализатор поможет преодолеть вековой барьер. [Электронный ресурс]. Новости мира инноваций. Режим доступа: <https://innovanews.ru/info/news/ecology/11700/01.07.2013>.

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

TJ	RU	EN
Чураев Тухтасун Чураевич доктори илмҳои химия, профессор	Джураев Тухтасун Джураевич доктор химических наук, профессор	Juraev Tukhtasun Juraevich doctor of chemical sciences, professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Газизова Эльвира Рашитовна номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Газизова Эльвира Рашитовна кандидат технических наук, доцент	Gazizova Elvira Rashitovna candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:mcm45@mail.ru">mcm45@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Тошев Мансур Толибҷонович номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Тошев Мансур Толибҷонович кандидат технических наук, доцент	Toshev Mansur Tolibjonovich candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:toshev1102@mail.ru">toshev1102@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Иззаутуллоев Мубориз Акрамхонович номзади илмҳои техникӣ	Иззаутуллоев Мубориз Акрамхонович кандидат технических наук	Izzautulloev Muboriz Akramkhonovich candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:muboriz88@bk.ru">muboriz88@bk.ru</a>		
TJ	RU	EN
Сафаров Бахриддин Саидович номзади илмҳои техникӣ	Сафаров Бахриддин Саидович кандидат технических наук	Safarov Bakhriddin Saidovich candidate of technical sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:baha_1218@mail.ru">baha_1218@mail.ru</a>		

УДК. 676.22.017

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИИ В ИССЛЕДОВАНИИ СТРУКТУРЫ БУМАГИ

Д.Ч. Равшанзода (Д.Ч. Равшанов)<sup>1</sup>, Х.А. Бабаханова<sup>2</sup>, А.А.Саодатов<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

<sup>3</sup>Наманганский инженерно-технологический институт

Применен метод ИК-Фурье спектроскопии для объективного контроля и определения наличия функциональных групп в составе бумаги. На сегодняшний день основным сырьем для бумажной отрасли является вторичное сырье из-за дефицита и дороговизны первичного сырья. В работе исследованы бумаги различного состава и плотности: из макулатуры, с добавлением древесной целлюлозы к макулатуре и бумаги из карбоната кальция. Анализ инфракрасных спектров исследуемых бумаг позволил определить наличие функциональных групп. Выявлено, что во всех образцах бумаги выявлено наличие функциональных групп C–O в области 1000–1030 см<sup>-1</sup>, однако у образцов 2 и 4 оптическая плотность характеризовало меньшее количественное содержание. По колебаниям в диапазоне 2916–2849 см<sup>-1</sup>, выявлено, что у образцов 2 и 4 меньшее содержание sp<sup>3</sup>-гибридизированных групп C–H. В сравниваемых спектрах в области 3332, 3319, 3338 и 3319 см<sup>-1</sup> наблюдается максимальное содержание от 1,7 до 2,0 гидроксильной группы O–H связей, соответствующих колебаниям функциональных групп целлюлозы. Перспективность применения метода ИК-спектроскопии при использовании бумаги объясняется оперативностью и качественным определением химического состава и сравнением соответствия функциональных групп с базовыми данными, что позволит прогнозировать печатный процесс.

**Ключевые слова:** ИК-спектроскопия, бумага, состав, функциональные группы, оптическая плотность.

## ИСТИФОДАИ УСУЛИ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИЯ ДАР ОМУЗИШИ СОХТИ КОҒАЗ

Д.Ч. Равшанзода (Д.Ч. Равшанов), Х.А. Бабаханова, А.А.Саодатов

Барои назорати объективӣ ва муайян кардани мавҷудияти гурӯҳҳои функционалӣ дар таркиби қоғаз усули ИК-спектроскопия, Фурье истифода мешавад. Ҳоло ашъеи хоми асосии саноати қоғаз аз сабаби нарасидани ашъеи хоми аввалия ва қимат будани арзиши аслии он, ашъеи хоми дуумдараҷа мебошад. Дар кори мазкур таркиб ва зичии қоғазҳои гуногун: қоғаз аз қоғазпора, бо илова намудани целлюлозаи дарахтин ва қоғаз аз карбонати калсий мавриди озмоиш қарор гирифтааст. Таҳлили спектрҳои инфрасурхи қоғазҳои овардашуда имкон дод, ки мавҷудияти гурӯҳҳои функционалӣ муайян карда шавад. Муайян карда шуд, ки дар ҳама намунаи қоғазҳои мавҷудияти гурӯҳҳои функционали C–O дар минтақаи 1000–1030 см<sup>-1</sup> ошкор карда шудааст, аммо дар намунаи 2 ва 4 зичии оптикӣ бо миқдори камтари миқдори таъсиф шудааст. Дар диапазони 2916–2849 см<sup>-1</sup> маълум шуд, ки намунаҳои 2 ва 4 миқдори камтари гурӯҳҳои гибридии sp<sup>3</sup>-ро C–H доранд. Дар спектрҳои муқоисааванда дар минтақаи 3332, 3319, 3338 ва 3319 см<sup>-1</sup> миқдори максималии аз 1,7 то 2,0 гурӯҳи гидроксилӣ пайвастагҳои O–H, ки ба ларзишҳои гурӯҳҳои функционали целлюлоза мувофиқанд, мушоҳида мешавад. Бартарии истифодаи усули ИК-спектроскопия ҳангоми истифодаи қоғаз, бо самаранокӣ ва сифати баланд муайян кардани таркиби химиявӣ ва муқоисаи мувофиқати гурӯҳҳои функционалӣ бо маълумоти асосӣ шарҳ дода мешавад, ки имкон медиҳад раванди чопро пешгӯӣ кунад.

**Калидвожаҳо:** ИК-спектроскопия, қоғаз, таркиб, гурӯҳҳои функционалӣ, зичии оптикӣ.

## APPLICATION OF IR-FOURIER SPECTROSCOPY IN THE STUDY OF PAPER STRUCTURE

D.C. Ravshanzoda (D.C. Ravshanov), H.A. Babakhanova, A.A. Saodatov

The method of IR-spectroscopy is applied for objective control and determination of the presence of functional groups in the composition of paper. Today, the main raw material for the paper industry is secondary raw materials due to the shortage and high cost of primary raw materials. In the work, papers of different composition and density are studied: from waste paper, with the addition of wood pulp to waste paper and paper from calcium carbonate. Analysis of the infrared spectra of the studied papers made it possible to determine the presence of functional groups. It was revealed that in all paper samples the presence of C–O functional groups in the region of 1000–1030 cm<sup>-1</sup> was detected, however, in samples 2 and 4 the optical density was characterized by a lower quantitative content. According to fluctuations in the range of 2916–2849 cm<sup>-1</sup>, it was revealed that samples 2 and 4 have a lower content of sp<sup>3</sup>-hybridized C–H groups. In the compared spectra in the region of 3332, 3319, 3338 and 3319 cm<sup>-1</sup>, the maximum content from 1.7 to 2.0 hydroxyl group of O–H bonds corresponding to vibrations of functional groups of cellulose is observed. The prospects of using the IR-spectroscopy method when using paper are explained by the efficiency and high-quality determination of the chemical composition and comparison of the correspondence of functional groups with the basic data, which will allow predicting the printing process.

**Keywords:** IR-spectroscopy, paper, composition, functional groups, optical density.

### Введение

Метод ИК-спектроскопии является одним из самых распространенных и наиболее точных инструментальных методов для идентификации полимеров, полимерных композиционных материалов, изучения химического строения и структуры макро- и низкомолекулярных объектов [1-2].

Широкое распространение метода ИК-спектроскопии по сравнению с другими современными физико-химическими методами объясняется оперативностью выполнения анализа, доступностью и надежностью ИК спектрометров, химической устойчивостью полимера в процессе анализа, незаменима при определении функциональных групп молекулы [3].

### Методы исследования

Отличительной особенностью метода ИК-спектроскопии является способность веществ взаимодействовать с полем электромагнитного излучения в инфракрасной области длин волн  $\lambda=2,5-25$  мкм

(4000-400 см<sup>-1</sup>). Под воздействием ИК-излучения световой поток, выделенный светофильтром интенсивностью  $I_0$ , проходя через поглощающий раствор частично поглощается ( $I_a$ ), отражается и рассеивается ( $I_r$ ), а оставшая часть потока ( $I$ ) проходит через поглощающий раствор и после преобразования регистрируется устройством (рис.1).

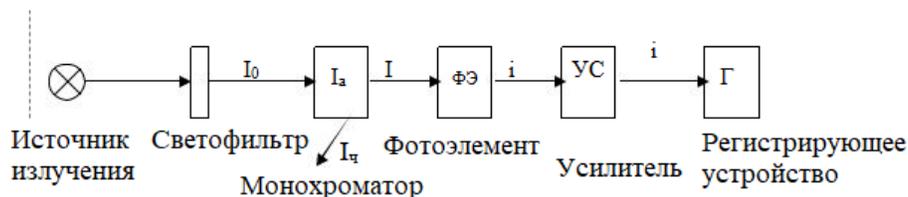


Рисунок 1 – Принципиальная схема спектрометрических определений

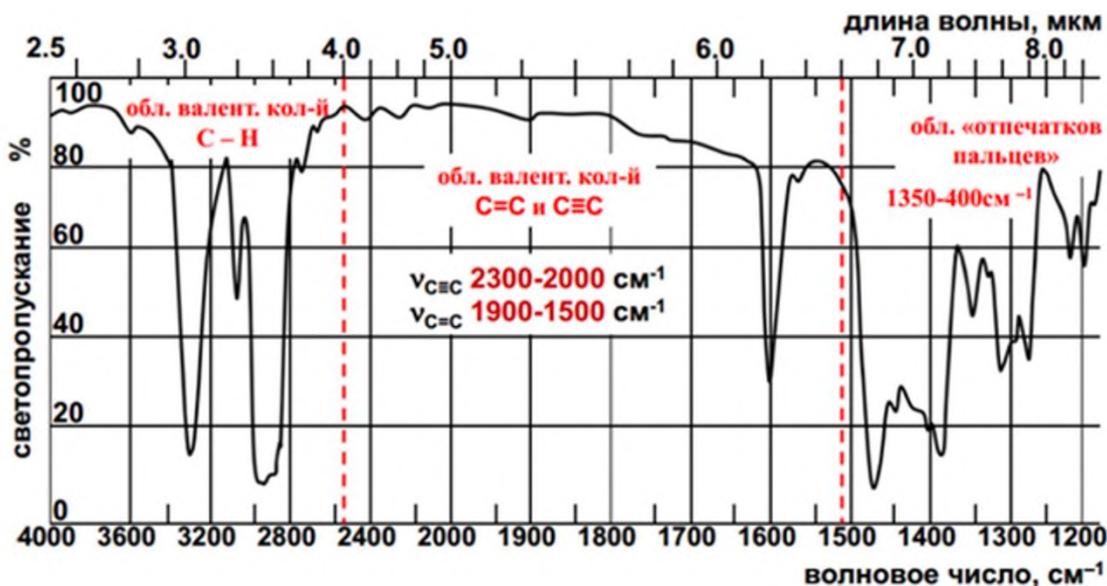


Рисунок 2 – Проявление видов колебаний в ИК-спектре [21]

Характер поглощения отражается на ИК-спектрах, представляющих собой кривую с различным количеством пиков, высота которых соответствует интенсивности поглощения, а частота колебаний прямо пропорциональна содержанию компонента (рис.2) [4].

На ИК-спектрах характеристической величиной по оси абсцисс является волновое число от 4000 до 400 см<sup>-1</sup>, по оси ординат – величина пропускания  $T$  (%). Как известно, колебания в спектральной области от 4000 до 2400 см<sup>-1</sup> (от 2,5 до 4 мкм) соответствуют области валентных колебаний, характеризующих наличие простых О-Н-, N-Н- и С-Н-связей (рис.3).

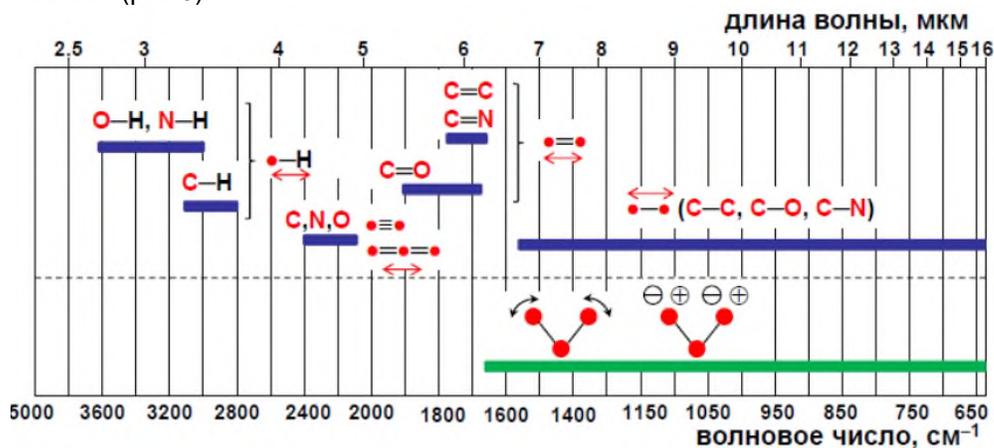


Рисунок 3 – Проявление различных связей в ИК-спектре

Область валентных колебаний в диапазоне от 2400 до 1500 см<sup>-1</sup> характеризует наличие кратных связей, таких как C=C, C=O, C=N, тройных связей C ≡ C, C ≡ N. Область коротковолновой (высокочастотной) частот от 4000 до 1500 см<sup>-1</sup> считается важным при определении структуры. Низкочастотный интервал от 1500 до 400 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям простых связей C-C, C-N, C-O и деформационным колебаниям простых связей с измененными углами между ними C-H, N-H, O-H и именуется как область «отпечатков пальцев», так как положение и интенсивность полос поглощения в этом диапазоне сугубо индивидуально для каждого конкретного соединения.

Полимерные материалы имеют различные функциональные группы, а значит отличаются по характеристическим валентным и деформационным колебаниям. При анализе химического строения макромолекул и пространственного расположения атомов, определении функциональных групп в полимерах преимуществом ИК-спектроскопии является качественная и достаточно простая интерпретация спектров по характеристическим частотам колебаний. Характеристические частоты приводятся в справочниках, атласах ИК спектров, таблицах в соответствии с классами соединений, в спектральных библиотеках, поставляемых с ИК спектрометрами. Методика интерпретации ИК-спектров детально изложена в работах [5-8]. Наиболее важные и часто встречаемые характеристические частоты инфракрасных колебаний представлены в табл.1.

Таблица 1 – Инфракрасные колебания аналитического значения

Функциональная группа	Волновое число, см <sup>-1</sup>
O-H	3650-3200 (п.)
O-H (спирты)	3600-3200
O-H (карбоновые кислоты)	3600-2500
N-H	3500-2900 (ср.)
C-H	3500-2700 (с. – ср.)
sp C-H	3320-3310
sp <sup>2</sup> C-H	3100-3000
sp <sup>3</sup> C-H	2950-2850
sp <sup>2</sup> C-O	1200
sp <sup>3</sup> C-O	1200-1025
S-H	~ 2550 (ср. -сл.)
C ≡ C	~ 2200 (сл.)
C ≡ C	2200 (ср. -сл.)
C=O	1850-1650 (с.)
C=C	~1650 (ср. – сл.)
C-NO <sub>2</sub>	~ 1550 (с.) и ~1350 (с.); ~ 900-850 (ср.)
C-O-	1300-1000 (с. – ср.)
C-F	1400-1000 (с.)
C-Cl	800-600 (с.)
C-Br	650-500 (с.)
C-I	600-500 (с.)
S=O (IV)	1070-1030 (с.)
SO <sub>2</sub> (VI)	~ 1150 (с.) и ~ 1330 (с.)

По справочным данным характеристических частот инфракрасных колебаний определяют наличие и количество конкретных функциональных и концевых групп в исследуемом образце и интенсивность полос по степени пропускания, например с. – сильная, ср. – средняя, сл. – слабая (табл.1).

Перспективность применения метода ИК-спектроскопии для анализа состава и строения новых материалов обоснованы в работах [9-14].

Метод ИК-спектроскопии применяется для исследования новых материалов для полиграфической отрасли. Например, в работе [15] исследован новый состав проклеивающего вещества из живицы черешневого дерева для бумажной отрасли [16] и выявлена идентификация его состава клею из сосновой живицы, в результате решена проблема снижения объема использования дефицитной канифоли. В работе [17] исследован новый состав увлажняющего раствора для офсетной печати.

Цель данной работы - исследование химического строения и структуры четырех видов бумаги различного композиционного состава методом ИК-спектроскопии.

Для исследований использован ИК-Фурье спектрометр NICOLET iS50, являющийся компактным и универсальным прибором для исследований на высоком уровне. Внешний вид и оптическая схема спектрометра приведена на рис. 4.

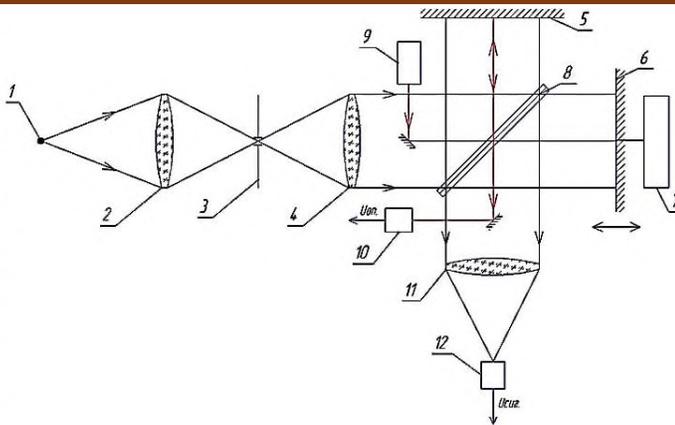


Рисунок 4 – ИК-Фурье спектрометр NICOLET iS50 внешний вид (а) и оптическая схема (б):

1 — источник излучения, 2,4 — коллимирующая оптика, 3 — входная диафрагма, 5 — неподвижное зеркало, 6 — подвижное зеркало, 7 — привод зеркала, 8 — светоделительная пластинка, 9 — лазер опорного канала, 10 — фотоприемник опорного канала, 11 — фокусирующая оптика, 12 — фотоприемник сигнала

Объекты исследования. В качестве объекта исследования взяты бумаги различного состава и плотности: из макулатуры, с добавлением 30% целлюлозы к макулатуре и бумаги из карбоната кальция (табл.2).

Таблица 2 – Состав исследуемых бумаг

№	Составные компоненты	Масса, г/м <sup>2</sup>
1	макулатура + АКД эмульсия, канифольный клей	150±2
2	30% целлюлозы + макулатура + АКД эмульсия, канифольный клей	117±2
3	30% целлюлозы + макулатура + АКД эмульсия, канифольный клей	132±2
4	из карбоната кальция	75±2

## Результаты исследование

В результате анализа получены ИК-спектры образцов, которые представлены на рис. 5-8. ИК спектры скорректированы с использованием алгоритма коррекции приставки НВПО, входящего в программный пакет OMNIC.

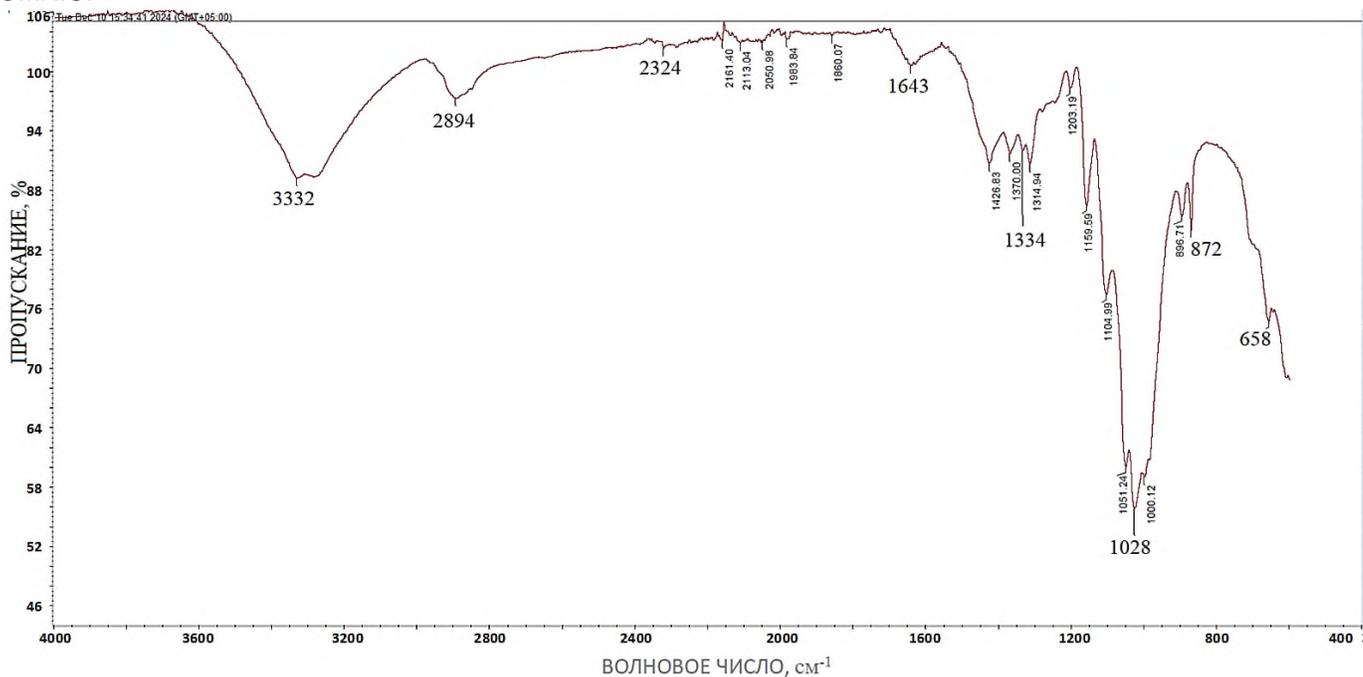


Рисунок 5 – ИК-спектры образца 1

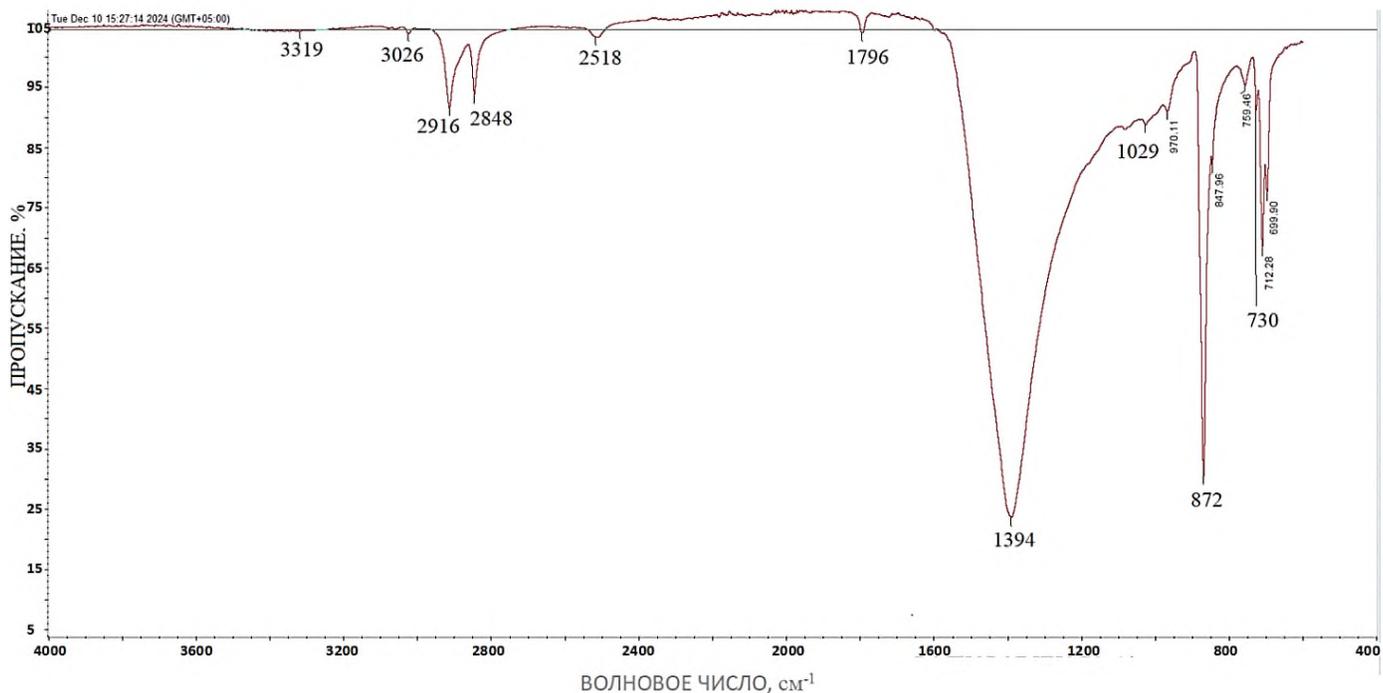


Рисунок 6 – ИК-спектры образца 2

Как известно, почти все органические соединения обнаруживают пик или группу пиков близ  $3000\text{ см}^{-1}$ , что соответствует колебаниям С–Н-группы [18]. В ИК-спектрах исследуемых бумаг имеются полосы с максимумами 2894, 2916, 2897 и 2916  $\text{см}^{-1}$ , отвечающие за симметричные и асимметричные валентные колебания С–Н-связей метиленовых и метильных групп фенантренового скелета смоляных кислот канифоли.

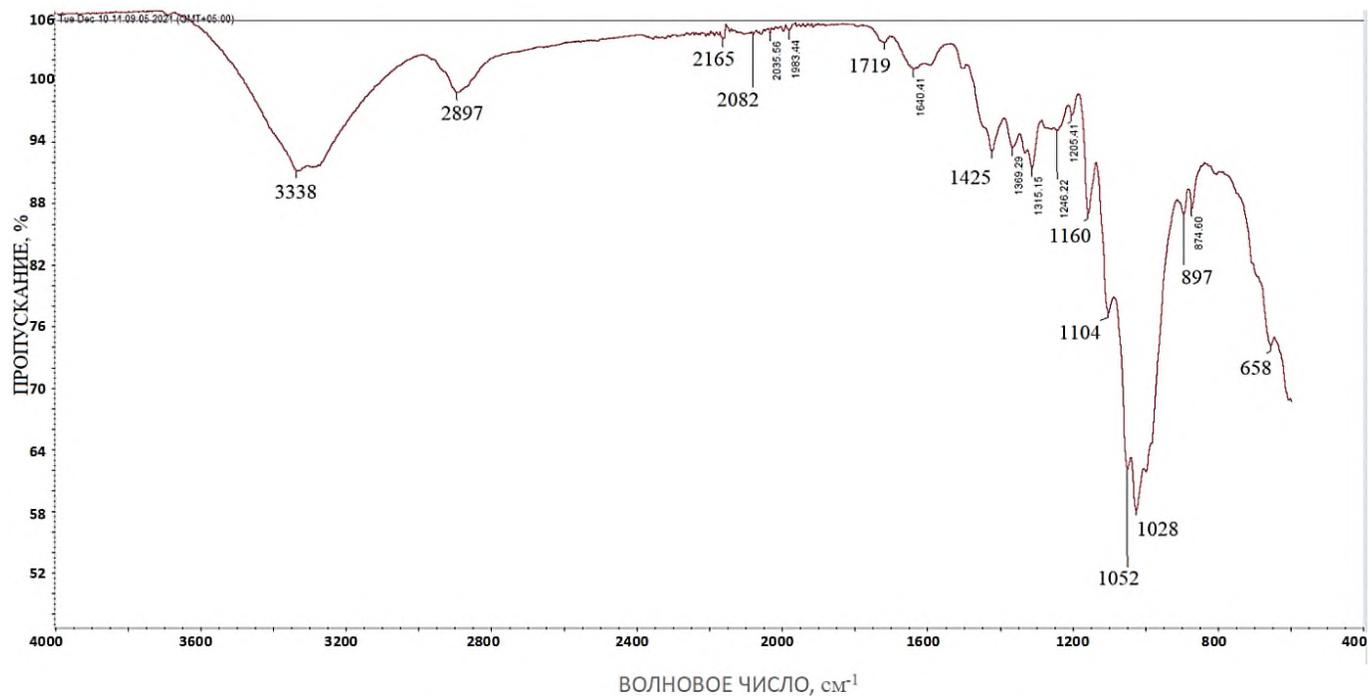


Рисунок 7 – ИК-спектры образца 3

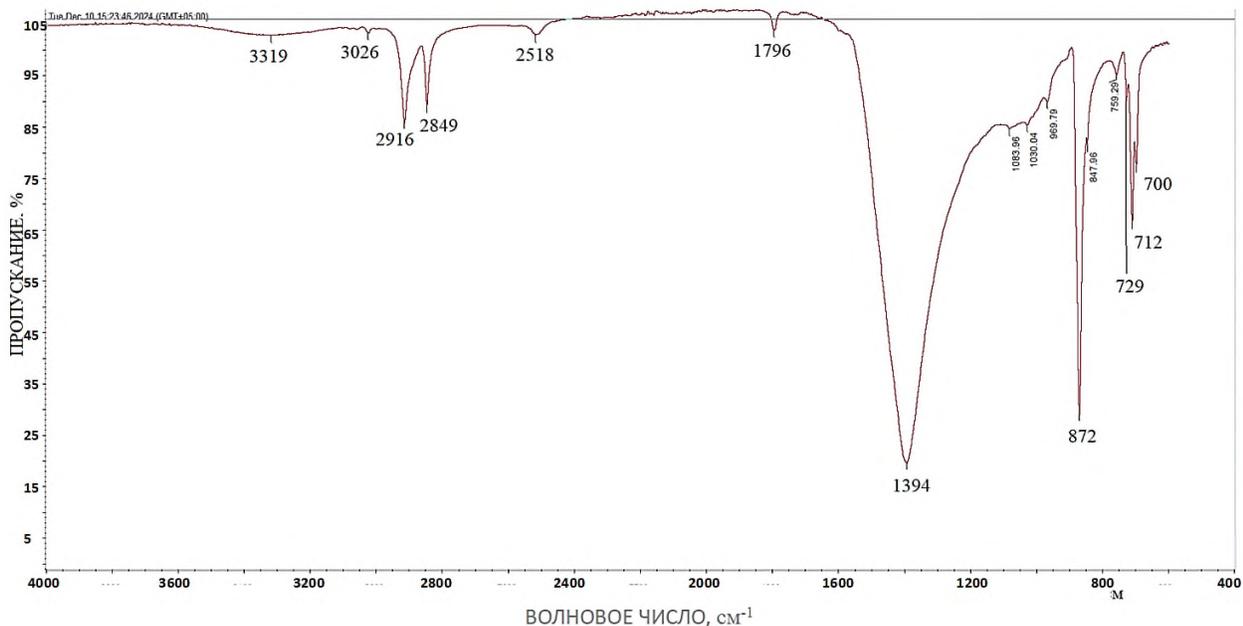


Рисунок 8 – ИК-спектры образца 4

В ИК-спектрах исследуемых образцов бумаги 2 и 4 выявлены сигналы в диапазоне 3026 см<sup>-1</sup>, что представляют собой в основном sp<sup>2</sup>-гибридизированные группы, и для всех образцов в диапазоне 2916-2849 см<sup>-1</sup>, что характерно sp<sup>3</sup>-гибридизированным группам C-H для соединений, принадлежащих к разным классам (простой эфир, альдегид, спирт и т. д.).

В сравниваемых спектрах присутствуют характеристические полосы поглощения гидроксильной группы O-H связей с близкими к друг другу максимумами 3332, 3319, 3338 и 3319 см<sup>-1</sup>, полностью соответствующих колебаниям функциональных групп целлюлозы (рис.9).

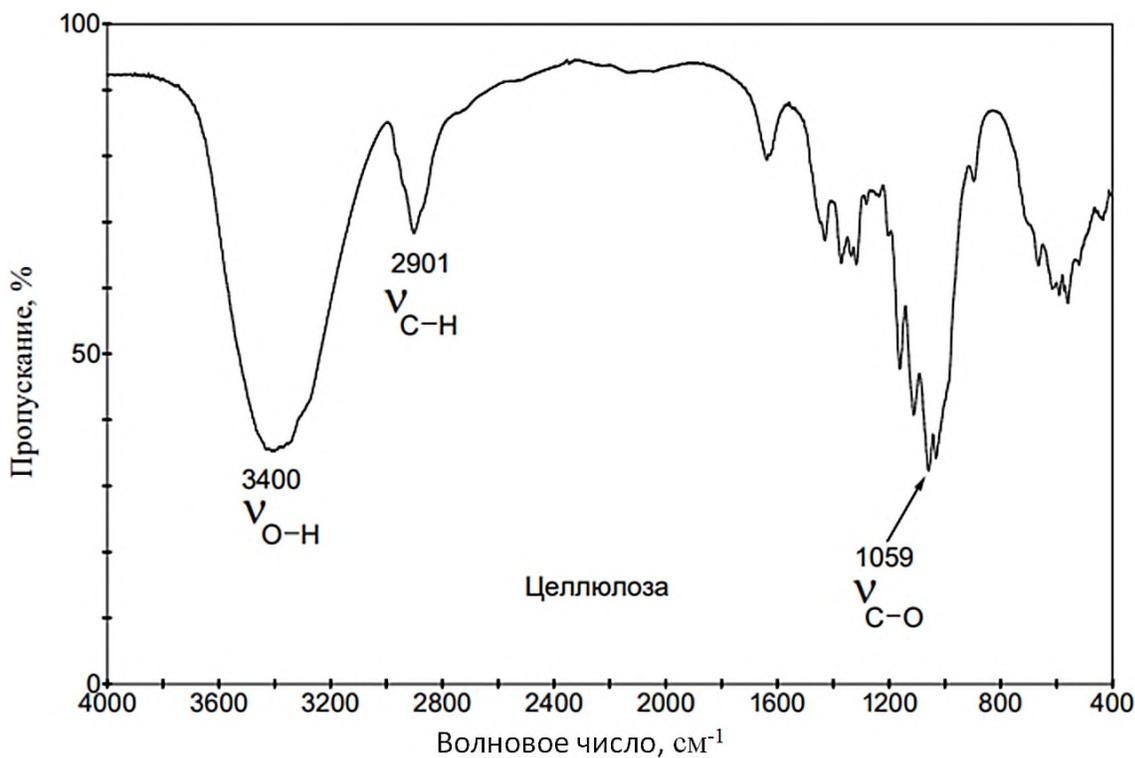


Рисунок 9 – ИК-спектр целлюлозы [19]

Валентные колебания N-H-связей наблюдаются в области 3340-2850 см<sup>-1</sup>, соответствующая им полоса поглощения имеет среднюю интенсивность. Во всех ИК-спектрах колебания в области 1100–900 см<sup>-1</sup> характеризовали наличие функциональных групп C–O. Поглощения в области 1426, 1370, 1334, 1314 см<sup>-1</sup> обусловлено деформационными колебаниями C–H-связей метиленовых и метильных групп феноантропенового скелета смоляных кислот канифоли. Пики около 1027 см<sup>-1</sup> относятся к деформационным колебаниям атомов водорода при двойной связи C=C. Выявлены функциональные группы C=O связи циклической ангидридной группы с максимумом при 1860-1643, 1796, 1719-1640 и 1796 см<sup>-1</sup>.

Как следует из анализа ИК-спектров качественный и частично количественный состав совпадают во всех исследуемых образцах бумаги.

Для того, чтобы определить поглощение, обусловленное только анализируемым компонентом, и исключить из экспериментально измеренного поглощения величину фона применяют специальные приемы, среди которых самым простым является так называемый метод базисных линий, а именно метод Пирлота [20]. Согласно методике соединяют прямой линией ab (рис.10) начало и конец полосы поглощения (1) и при длине волны максимума поглощения определяют величину пропускания T:

$$T = \frac{I}{I_0} = \frac{BC}{AC}$$

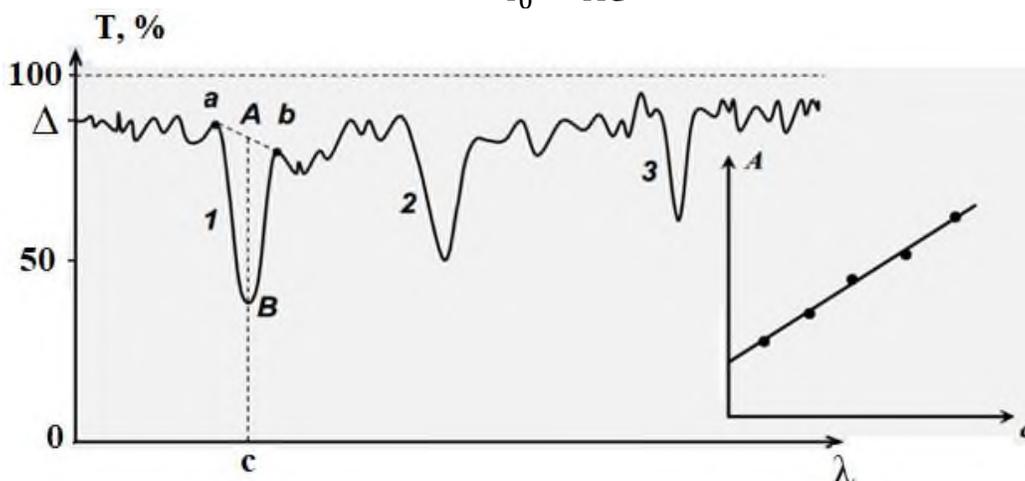


Рисунок 10 – Метод базисных линий [19]

Затем определяли оптическую плотность A по формуле:

$$A = -\lg T = -\lg \frac{I}{I_0}$$

Таблица 3 – Расчетные данные

Волновое число	$\frac{I}{I_0}, \%$	$\frac{I - I_0}{I_0}, \%$	$A = \lg \frac{I_0}{I}$
Для образца 1			
3331	0,88	-0,117	-1,77
2893	0,97	-0,020	-1,69
1027	0,92	-0,083	-1,08
Для образца 2			
3319	0,99	-0,01	-2,0
2915	0,89	-0,11	-0,96
1393	0,29	-0,71	-0,15
Для образца 3			
3338	0,89	-0,108	-0,97
2897	0,98	-0,02	-1,69
1052	0,92	-0,07	-1,15
Для образца 4			
3319	0,98	-0,02	-1,69
2916	0,86	-0,14	-0,85
1394	0,26	-0,74	-0,13

Затем по данным табл.3 построены градуировочные графики  $A = f(c)$ , (рис.11) с помощью которого можно определить содержание интересующего компонента.

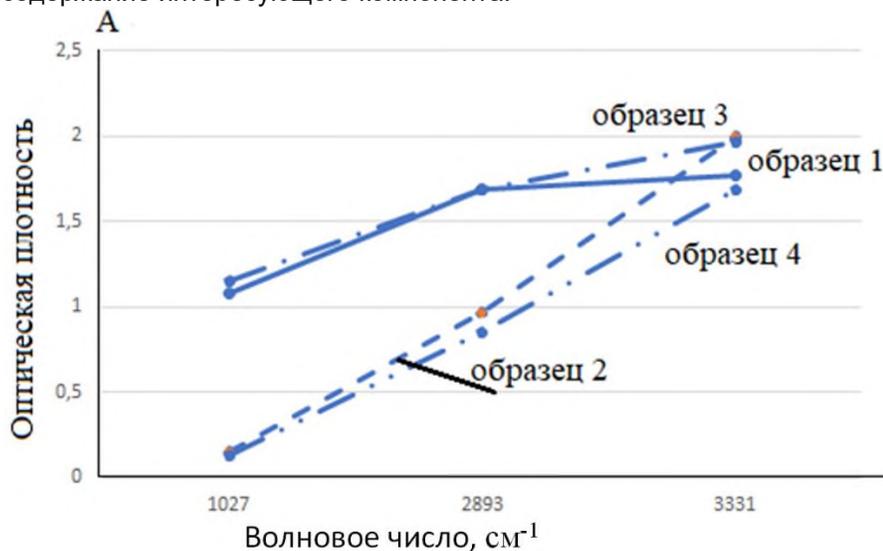


Рисунок 11 – График зависимости оптической плотности от волнового числа для образцов бумаги

Из рис.11 видно, что во всех образцах бумаги выявлено наличие функциональных групп С–О в области 1000–1030 см<sup>-1</sup>, однако у образцов 2 и 4 оптическая плотность характеризовало меньшее количественное содержание. По колебаниям в диапазоне 2916–2849 см<sup>-1</sup>, выявлено, что у образцов 2 и 4 меньшее содержание sp<sup>3</sup>-гибридизированных групп С–Н. В сравниваемых спектрах в области 3332, 3319, 3338 и 3319 см<sup>-1</sup> наблюдается максимальное содержание от 1,7 до 2,0 гидроксильной группы О–Н связей, соответствующих колебаниям функциональных групп целлюлозы.

## Заключение

Полученные с помощью метода ИК-спектроскопии результаты подтвердили перспективность данного метода при исследовании состава бумаги, позволили оперативно и качественно определить химический состав.

*Рецензент: Джураев П.Д. – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия», ИИПТУ имени академика М.С. Осими*

## Литература

1. Проблемы экологии производства и применения полимерных материалов [Электронный ресурс]. URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1367/4/1324718\\_guide.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/1367/4/1324718_guide.pdf) (дата обращения 12.02.2025). С. 1–20.
2. А.Я.Меликова ИК-спектроскопические методы для определения протеинов // Вестник Башкирского университета. 2023. Т.28. №1. С.87-94.
3. Л.К.Неудачина, Е.С.Буянова, С.А.Штин, Н.В.Лакиза и др. Оптические методы анализа // Комплекс методического обеспечения. Екатеринбург. 2011. 38 с.
4. Преч Э., Бюльманн Ф., Афвольтер К. Определение строения органических соединений / Преч Э., Бюльманн Ф., Афвольтер К. – М.: Мир, 2006. – 439с.
5. Сильверстейн Р., Вебетер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Сильверстейн Р., Вебетер Ф., Кимл Д. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 520 с.
6. Гордон А., Форд Р. Спутник химика / Гордон А., Форд Р. Гордон А., Форд Р. – М.: Мир, 1976. – 541с.
7. Казицина А.А., Куплетская Н.Б. Применение ИК-, УФ- и ЯМР спектроскопии в органической химии/ Казицина А.А., Куплетская Н.Б. – М.: Высшая школа, 1971. – 263с.
8. Тищенко Г.И., Коровкин М.В., Галанов Ю.И., Чернова О.С. Исследование неоднородности геологического строения нефтегазоносных карбонатных отложений Томской области // Известия Томского политехнического университета. —2002. -Т.305, №.6. С.253...259.
9. А.П.Комов, И.В.Власова, Е.Н.Терехова Применение ИК спектроскопии многократно нарушенного полного внутреннего отражения для классификации различных объектов // Вестник Омского университета. – 2018. Т.23. №1. С.26...34.

10. Д.Г.Фатхуллина, Е.В.Жукова, Н.Б.Маргарянц Исследование слоя красителя методом спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения // НТВ технологий, механики и оптики. – 2016. Т.16. №3. С.416...421.
11. Бёккер Ю.Спектроскопия= Spektroskopie / Пер. снем. Л. Н. Казанцевой, под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой.М.: Техносфера.—2009. 528с. ISBN 978-5-94836-220-5.
12. О.Р.Арчегова, А.Ф.Еремина, Т.Т.Магкоев, А.Д.Пашков Изучение кластерной структуры в системе лед – вода методом ИК-спектроскопии // Вестник Владикавказского научного центра. – 2018. Том 18. №2. С. 36...41.
13. А.А.Выговтов, М.Н.Мешалкина Применение ИКФурье-спектроскопии для определения подлинности и качества молочных продуктов // ТНВ СПбГПУ. – 2011.№6. С. 226...232.
14. Х.А.Бабаханова, А.А.Садриддинов, М.А.Бабаханова, И.Г.Громыко, М.М.Абдуназаров Применение методов ИК-спектроскопии в исследовании составов для проклейки бумаги // НТВ Информационных технологий, механики и оптики. – 2022. Т.22. №6. С.1048...1054.
15. ВУ 24087 Способ получения клея гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде. Дата опубликования 10.11.2023
16. Х.А.Бабаханова, М.Г.Абдухалилова, О.Д.Хакназарова, М.А.Бабаханова Применение ИК-спектроскопии для исследования состава увлажняющего раствора // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2024. №4 (412). С.130...135.
17. ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ [Электронный ресурс]. URL: <https://chem.spbu.ru/files/Vladimir/Vasiliev/InfraRedSpektr.pdf> (дата обращения 12.02.2025). 162с.
18. Б.И.Лирова Применение метода колебательной спектроскопии для изучения полимерных систем // Учебное издание. УрГУ. Екатеринбург. 2001. 14 с.

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

TJ	RU	EN
Равшанзода Дилшод Чоршанби	Равшанзода Дилшод Чоршанби	Ravshanzoda Dilshod Chorshanbi
Н.и.т., дотсент	к.т.н. дотсент	Ph.D., associate professor
ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:234-56-57@mail.ru">234-56-57@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Бабаханова Халима Абишевна	Бабаханова Халима Абишевна	Babakhanova Halima Abishevna
Д.и.т., профессор	Д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Институти бофандагӣ ва саноати сабуки Тошкент	Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности	Tashkent Institute of Textile and Light Industry
E-mail: <a href="mailto:halima300@inbox.ru">halima300@inbox.ru</a>		
TJ	RU	EN
Саодатов Азиз Азамжонович	Саодатов Азиз Азамжонович	Saodatov Aziz Azamjonovich
Докторант	Докторант	Doctoral student
Институти муҳандисию технологии Намангон	Наманганский инженерно-технологический институт	Namangan Engineering and Technological Institute

## ТЕХНОЛОГИИ ХИМИИ ВЪ - ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - CHEMICAL TECHNOLOGY

УДК: 546.03

### ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЗОТНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ФОСФОРИТНОГО КОНЦЕНТРАТА РИВАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА NPK-УДОБРЕНИЙ

**Х.З. Карамбахшов<sup>1</sup>, Ш.А. Курбонов<sup>1</sup>, Х.И. Холов<sup>1,2</sup>, Ш.Р. Самихов<sup>1</sup>, С.Ш. Сафаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана

<sup>1,2</sup>Таджикский государственный педагогический университет имени С.Айни

Работа посвящена термодинамическому анализу азотнокислотного разложения фосфоритного концентрата из Риватского месторождения для производства NPK-удобрений. Проведен расчет основных термодинамических функций для ключевых реакций, включая стандартные энтальпии образования, энтропии и энергии Гиббса. Полученные данные позволили оценить энергетические параметры системы, определить условия равновесия и спрогнозировать направленность процессов. Также исследованы особенности минерального состава концентрата и предложены пути оптимизации технологии с учетом специфики сырья и требований к качеству конечных продуктов. Полученные результаты имеют значение для разработки эффективных методов переработки фосфорного сырья с целью повышения выхода удобрений и снижения экологической нагрузки на производство.

**Ключевые слова:** термодинамический анализ, азотная кислота, фосфоритный концентрат, NPK-удобрения, минеральный состав, Риватское месторождение, Таджикистан, энергия Гиббса, уравнения реакции, удобрения.

### ТАҲЛИЛИ ТЕРМОДИНАМИКИИ КОРКАРДИ КОНЦЕНТРАТИ ФОСФОРДОРИ КОНИ РИВАТ БО КИСЛОТАИ НИТРАТ БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ НУРИҲОИ NPK

**Ҳ.З. Карамбахшов, Ш.А. Қурбонов, Х.И. Холов, Ш.Р. Самихов, С.Ш. Сафаров**

Ин тадқиқот ба таҳлили термодинамикии таҷзияи кислотаи нитрати концентрати фосфорит аз конҳои Риват барои истеҳсоли нуриҳои NPK баҳшида шудааст. Функсияҳои асосии термодинамикии реаксияҳои калидӣ, аз ҷумла энталпияҳои стандартӣ ҳосилшавӣ, энтропияҳо ва энергияи озоди Гиббс, ҳисоб карда шуданд. Маълумоти ҳосилшуда имкон дод, ки параметрҳои энергетикӣ система арзёбӣ шуда, шартҳои тавозун муайян ва самти равандҳо пешбини шаванд. Тақриби маъдани концентрат низ омӯхта шуда, роҳҳои оптимизатсияи технологияи пешниҳод шуданд, ки хусусиятҳои ашёи хом ва талаботҳои сифатии маҳсулоти ниҳоиро ба назар мегиранд. Натиҷаҳои ҳосилшуда барои таҳияи усулҳои самаранокии коркарди ашёи хоми фосфор барои зиёд кардани ҳосилнокии нури ва қоҳиш додани таъсири экологӣ ба истеҳсолот муҳим мебошанд.

**Калимаҳои калидӣ:** таҳлили термодинамикӣ, кислотаи нитратӣ, концентрати фосфорит, нуриҳои NPK, тақриби маъданӣ, кони Риват, Тоҷикистон, энергияи Гиббс, муодилаҳои реаксия, нури.

### THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE NITRIC ACID DECOMPOSITION OF RIVAT PHOSPHORITE CONCENTRATE FOR THE PRODUCTION OF NPK FERTILIZERS

**H.Z. Karambakhshov, Sh.A. Qurbonov, Kh.I. Kholov, Sh.R. Samikhov, S.Sh. Safarov**

This study focuses on the thermodynamic analysis of nitric acid decomposition of the phosphorite concentrate from the Rivat deposit for the production of NPK fertilizers. The main thermodynamic functions for key reactions, including standard enthalpies of formation, entropies, and Gibbs free energies, were calculated. The obtained data made it possible to assess the energy parameters of the system, determine equilibrium conditions, and predict the direction of processes. The mineral composition of the concentrate was also studied, and optimization paths for the technology were proposed, considering the raw material's specifics and the quality requirements for final products. The results are important for the development of efficient methods for processing phosphorus raw materials to increase fertilizer yield and reduce the environmental impact of production.

**Keywords:** thermodynamic analysis, nitric acid, phosphorite concentrate, NPK fertilizers, mineral composition, Rivat deposit, Tajikistan, Gibbs energy, reaction equations, fertilizers.

#### Введение

Фосфатное сырьё является основным компонентом для производства фосфорсодержащих удобрений, которые играют важнейшую роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Учитывая постоянно растущее население мира и необходимость обеспечения продовольственной безопасности, спрос на минеральные удобрения, включая NPK (азот, фосфор, калий), продолжает увеличиваться [2]. В этом контексте разработка эффективных технологий переработки фосфатного сырья становится приоритетной задачей как для научных исследований, так и для промышленного сектора.

Риватское месторождение в Таджикистане представляет собой одно из перспективных месторождений фосфатного сырья в Центральной Азии [3,4]. Богатые запасы и уникальные свойства фосфатных руд месторождения открывают значительные возможности для их промышленного использования. Однако в силу специфики геологического состава руды, включающего различные примеси, традиционные методы переработки не всегда демонстрируют высокую эффективность. Это делает актуальным поиск и разработку

инновационных подходов к переработке данного сырья с целью увеличения выхода целевых продуктов и повышения экологической безопасности процессов [5].

Фосфатные руды Риватского месторождения характеризуются средним содержанием  $P_2O_5$ , что является ключевым преимуществом для их применения в производстве удобрений [5]. Тем не менее, наличие примесей, таких как кремний, железо и другие элементы, усложняет процесс их переработки. Это требует внедрения технологий, которые позволяют эффективно удалять примеси и обеспечивать получение продуктов с высокой степенью чистоты. Разработка таких технологий в условиях растущих экологических требований особенно актуальна.

В последние годы внимание исследователей сосредоточено на использовании азотной кислоты в качестве реагента для переработки фосфатного сырья [6]. Этот подход имеет несколько преимуществ, включая высокую степень растворения фосфатов, что делает процесс более экономически выгодным и экологически безопасным по сравнению с альтернативными методами. Для Риватского месторождения [7] данный метод особенно перспективен, так как позволяет учитывать особенности минералогического состава руды и получать широкий спектр конечных продуктов, включая фосфорную кислоту, аммоний дигидрофосфат и другие компоненты NPK-удобрений.

Кроме того, учитывая стратегическое значение сельского хозяйства для экономики Таджикистана, развитие технологий переработки местного сырья способствует повышению внутреннего производства удобрений, снижению зависимости от импорта и укреплению экономической стабильности страны [8]. В условиях глобальных изменений климата, которые увеличивают нагрузку на сельскохозяйственные экосистемы, доступность качественных удобрений становится важнейшим фактором обеспечения продовольственной безопасности. Поэтому переработка фосфатного сырья Риватского месторождения не только способствует развитию национальной экономики, но и имеет значительный социальный и экологический эффект.

Экономическая привлекательность разработки месторождения также связана с его географическим расположением [9]. Таджикистан обладает благоприятным транспортным потенциалом, что упрощает логистику и снижает затраты на транспортировку продукции как на внутренний, так и на международный рынок. Это позволяет рассматривать продукцию, полученную из фосфатного сырья Риватского месторождения, как конкурентоспособную на мировом рынке удобрений. В частности, соседние страны Центральной Азии, имеющие высокий спрос на удобрения, могут стать основными импортёрами продукции, что открывает возможности для интеграции в региональные и глобальные рынки [5].

Однако при всех преимуществах, связанных с переработкой фосфатного сырья Риватского месторождения, существует ряд технологических и экологических вызовов, которые требуют решения. Применение азотной кислоты, хотя и является перспективным методом, требует детальной проработки с точки зрения оптимизации параметров процесса, включая температуру, концентрацию реагентов и продолжительность реакции. Важно учитывать образование побочных продуктов, таких как фтористые соединения, которые могут представлять экологическую опасность. Разработка технологий утилизации этих продуктов или их преобразования в полезные вещества является неотъемлемой частью комплексного подхода к переработке сырья [7].

Одним из важнейших факторов, свидетельствующих о значимости исследований в данной сфере, выступает необходимость проведения углублённых термодинамических расчётов [10]. Именно они позволяют прогнозировать вероятность протекания реакций, определять их энергетическую эффективность и выбирать оптимальные условия для реализации. Особенно это актуально для Риватского месторождения, поскольку специфические геохимические характеристики его сырья требуют индивидуально адаптированных параметров переработки.

Таким образом, исследования, направленные на разработку инновационных методов переработки фосфатного сырья Риватского месторождения с использованием азотной кислоты, обладают высокой научной и практической значимостью. Они позволяют не только углубить понимание фундаментальных процессов, протекающих при взаимодействии азотной кислоты с минералами, но и создать эффективные технологии для промышленного применения. Это, в свою очередь, будет способствовать решению ряда глобальных проблем, включая обеспечение продовольственной безопасности, снижение экологической нагрузки и развитие устойчивой экономики в Таджикистане.

**Основная цель** данной работы состоит в комплексном повышении качества фосфатной руды Риватского месторождения путём её обогащения и детального изучения полученного концентрата. На первом этапе предполагается установить минералогический состав обогащённого сырья, определить распределение основных компонентов, а также выявить возможные примеси, чтобы выбрать наиболее эффективные режимы последующей химической переработки.

Следующим ключевым этапом исследования станут расчёт и анализ термодинамических показателей процесса азотнокислотного разложения полученного концентрата.

### Методика расчёта

Для начала определяли химический состав фосфоритного концентрата (содержание  $P_2O_5$ ,  $CaO$ , примеси и т.д.) и составляли стехиометрическое уравнение взаимодействия концентрата с азотной кислотой. Затем подбирали исходные термодинамические данные (стандартные энтальпии образования ( $\Delta H^\circ$ ), стандартные энтропии ( $S^\circ$ ), стандартные энергии Гиббса образования ( $\Delta G^\circ$ ) из доступных справочных источников, таких как базы данных NIST или JANAF [14-16], и объединяли их в единую таблицу для расчётов. Для некоторых веществ (твёрдых фосфатов, полифосфатов и растворённых кислот) в связи с разбросом данных в литературе использовали усреднённые значения.

После этого рассчитывали изменение энтальпии реакции по формуле:

$$\Delta H^\circ = \sum (v_i \times \Delta H_i^\circ)_{\text{продукты}} - \sum (v_j \times \Delta H_j^\circ)_{\text{исходные}},$$

где  $v_i$  и  $v_j$  – стехиометрические коэффициенты веществ.

Изменение энтропии реакции определяли аналогично:

$$\Delta S^\circ = \sum_{\text{продукты}} (v_i \times S_i^\circ) - \sum_{\text{исходные}} (v_j \times S_j^\circ).$$

Затем рассчитывали изменение энергии Гиббса, являющееся ключевым показателем возможности самопроизвольного протекания процесса:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ,$$

где  $T$  – абсолютная температура процесса.

На основании найденного значения  $\Delta G^\circ$  определяли возможность самопроизвольного протекания реакции (самопроизвольность имеет место при  $\Delta G^\circ < 0$ ) либо необходимость внешнего подвода энергии при положительном значении  $\Delta G^\circ$ .

Для оценки глубины протекания реакции вычисляли константу равновесия  $K$  по формуле:

$$K = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right),$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль • К)).

### Экспериментальная часть

В данном исследовании рассматриваются особенности процесса разложения фосфоритного концентрата из месторождения Риват при использовании азотной кислоты в качестве реагента [11]. Объектом исследования выступает фосфоритный концентрат, полученный путем флотационного обогащения, что обеспечивает высокую степень очистки исходного сырья от нежелательных примесей. Химический анализ показал, что содержание оксида фосфора ( $P_2O_5$ ) в концентрате составляет 24,03%, что является достаточным показателем для проведения дальнейших исследований в области получения фосфорных соединений. Выбор азотной кислоты обусловлен её высокой реакционной способностью, а также возможностью получения ценных побочных продуктов, что подчеркивает актуальность изучения данной технологии.

Рентгенофазовый анализ, выполненный на приборе ДРОН-3, подтвердил сложный минеральный состав фосфоритного концентрата. Основными фазами, идентифицированными в образце, являются фосфид кальция ( $Ca_3P_2$ ), альфа ортофосфат кальция ( $\alpha-Ca_3(PO_4)_2$ ), а также соединения, относящиеся к группе кальций-фосфатных оксидов. Наличие данных соединений установлено на основании характерных базальных рефлексов, выявленных в результате анализа рентгенограмм (рис. 1).

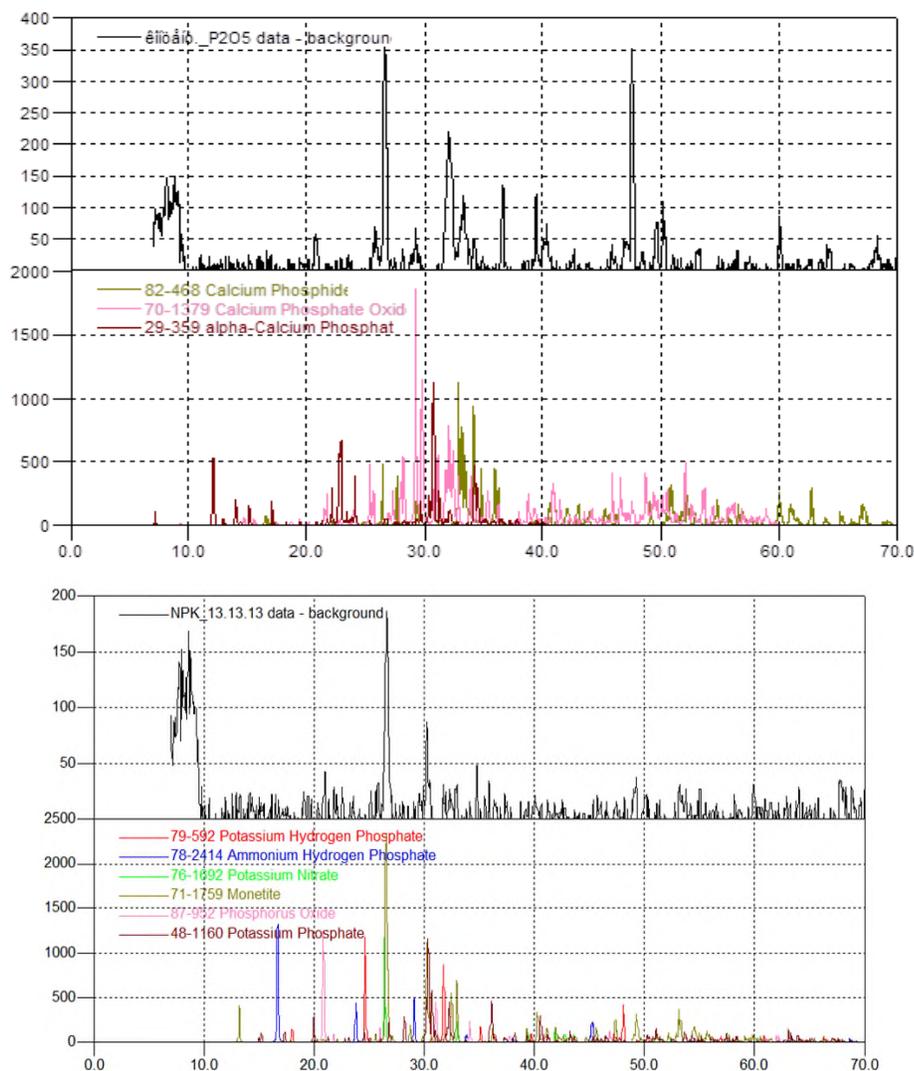
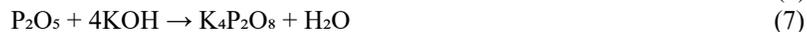
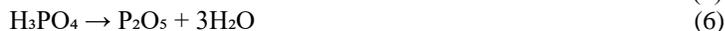


Рисунок 1 – Дифрактограмма концентрата и NPK удобрения

### Обсуждение результатов

На основании анализа фазового состава рентгенограмм установлено, что процесс разложения концентрата с использованием азотной кислоты для получения удобрения типа NPK включает в себя семь ключевых химических реакций, которые образуют основу данного технологического процесса. Эти реакции определяют последовательность взаимодействий между компонентами сырья и реагентами, приводящих к формированию конечных соединений, содержащих азот, фосфор и калий, что является критически важным для получения сбалансированного состава удобрения. В качестве основных фаз в удобрениях присутствуют аммоний дигидрофосфат, калий дигидрофосфат, нитрат калия, фосфорный ангидрид и калийный полифосфат, образовавшиеся в результате реакции (1-7):



Исходя из методики рассчитывали энергетические параметры системы и спрогнозировали направление протекания реакций. В таблице 1 представлены начальные значения термодинамических функций для всех компонентов, задействованных в реакциях, обозначенных как (1)–(7) [12].

Таблица 1 – Значения термодинамических функций исходных веществ и продуктов реакции

Вещество	$\Delta H^\circ$ , кДж/моль	$\Delta G^\circ$ , кДж/моль	$S^\circ$ , Дж/(моль·К)
$Ca_5(PO_4)_3F$ (тв.)	-6775	-5965	489
$HNO_3$ (раств.)	-174,1	-110,6	146,4
$Ca(NO_3)_2$ (тв.)	-939,6	-744,5	207,4
$H_3PO_4$ (раств.)	-1280	-1120	110,5
$HF$ (водн.)	-320,1	-275*	82,4*
$CaHPO_4$ (тв.)	-1280	-1100	100
$NH_3$ (газ)	-46	-16	192
$NH_4H_2PO_4$	-1540	-1290	160
$KCl$ (тв.)	-436	-408	83
$K(H_2PO_4)$	-1590	-1335	150
$HCl$ (газ)	-92	-95	187
$NH_4NO_3$	-365	-183	151
$KNO_3$	-494	-365	134
$NH_4Cl$	-315	-202	94
$H_2O$ (жидк.)	-286	-237	70
$P_2O_5$ (тв.)	-2966	-2670	180
$KOH$ (тв.)	-425	-380	70
$K_4P_2O_8$ (тв.)	-6200	-5800	300

\*Для  $HF$  (водн.) значения приблизительны; в зависимости от концентрации и формы в растворе могут отличаться.

Эти данные включают значения стандартной энтальпии образования, стандартной энтропии, а также значения стандартных энергетических потенциалов Гиббса, что позволяет проводить точный анализ условий равновесия и спонтанности процессов [13].

В таблице 2 представлены результаты расчета термодинамических функций для процесса разложения фосфоритного концентрата азотной кислотой с последующим получением NPK.

Как показывают проведенные расчёты, все реакции протекают необратимо. На основании данных, представленных в таблице, видим, как изменение температуры влияет на термодинамические параметры реакций. Эти сведения имеют ключевое значение для оптимизации технологических процессов, направленных на производство NPK-удобрений. При увеличении температуры наблюдается изменение значения энергии Гиббса ( $\Delta G^\circ$ ), которое зависит от величины и знака энтропийного изменения ( $\Delta S^\circ$ ). В случаях, когда  $\Delta S^\circ$  отрицательно, повышение температуры делает член  $-T\Delta S^\circ$  положительным, уменьшая абсолютное значение отрицательной  $\Delta G^\circ$ . Это означает, что реакция становится менее выгодной с точки зрения термодинамики. Напротив, если  $\Delta S^\circ$  положительно, рост температуры приводит к увеличению отрицательного значения  $\Delta G^\circ$ , что делает реакцию более термодинамически выгодной.

Таблица 2. – Значения термодинамических функций

$\Delta H^\circ$ , (кДж)	$\Delta S^\circ$ , (Дж/К)	$\Delta G^\circ$ при 298 К, (кДж)	$\Delta G^\circ$ при 323 К, (кДж)	$\Delta G^\circ$ при 343 К, (кДж)	$\Delta G^\circ$ при 363 К, (кДж)	$K_{298}$	$K_{323}$	$K_{343}$	$K_{363}$
<i>1. <math>Ca_5(PO_4)_3F + 10HNO_3 \rightarrow 5Ca(NO_3)_2 + 3H_3PO_4 + HF</math></i>									
-342.1	-502.1	-192.8	-180.0	-169.8	-159.8	$1.52 \times 10^{34}$	$3.49 \times 10^{29}$	$1.05 \times 10^{26}$	$1.43 \times 10^{23}$
<i>2. <math>H_3PO_4 + Ca(NO_3)_2 \rightarrow CaHPO_4 + HNO_3</math></i>									
+765.5	-71.5	+653.9	+788.6	+803.9	+818.2	$1.80 \times 10^{-13}$ <sub>8</sub>	$1.27 \times 10^{-12}$ <sub>8</sub>	$3.07 \times 10^{-14}$ <sub>0</sub>	$4.37 \times 10^{-144}$
<i>3. <math>H_3PO_4 + NH_3 \rightarrow NH_4H_2PO_4</math></i>									
-214.0	-142.5	-171.6	-167.9	-165.2	-162.3	$1.07 \times 10^{30}$	$3.50 \times 10^{27}$	$5.60 \times 10^{25}$	$1.08 \times 10^{23}$
<i>4. <math>H_3PO_4 + KCl \rightarrow K(H_2PO_4) + HCl</math></i>									
+34.0	+143.5	-8.7	-12.3	-26.1	-39.8	$3.36 \times 10^1$	$1.83 \times 10^2$	$1.94 \times 10^4$	$4.39 \times 10^7$
<i>5. <math>NH_4NO_3 + KCl \rightarrow KNO_3 + NH_4Cl</math></i>									
-8.0	-6.0	-6.2	-6.06	-5.94	-5.82	$1.02 \times 10^1$	$1.04 \times 10^1$	$7.99 \times 10^0$	$6.92 \times 10^0$
<i>6. <math>H_3PO_4 \rightarrow P_2O_5 + 3H_2O</math></i>									
-1264.0	+169.0	-1314.0	-1318.5	-1322.0	-1325.3	$1.90 \times 10^{230}$	$1.63 \times 10^{213}$	$4.08 \times 10^{201}$	$1.39 \times 10^{191}$
<i>7. <math>P_2O_5 + 4KOH \rightarrow K_4P_2O_8 + H_2O</math></i>									
-1820.0	-90.0	-1793.2	-1790.9	-1773.1	-1756.3	$1.52 \times 10^{34}$	$3.08 \times 10^{289}$	$1.05 \times 10^{270}$	$1.39 \times 10^{253}$

Очень высокие значения  $K$  (как у реакций 1, 3, 6, 7) свидетельствуют о том, что равновесие смещено в сторону продуктов, что означает практически полное протекание реакции. Очень малые  $K$  (реакция 2) указывают, что равновесие находится в стороне исходных веществ.

Для большинства реакций величина  $\Delta G^\circ$  изменяется при переходе от 298 к 363 К. Эти изменения отражают влияние температуры на химический потенциал реакции и, соответственно, на ее равновесное состояние.

Взаимодействие компонентов концентрата с азотной кислотой протекает самопроизвольно (рис. 2), однако повышение температуры оказывает различное влияние на отдельные реакции.

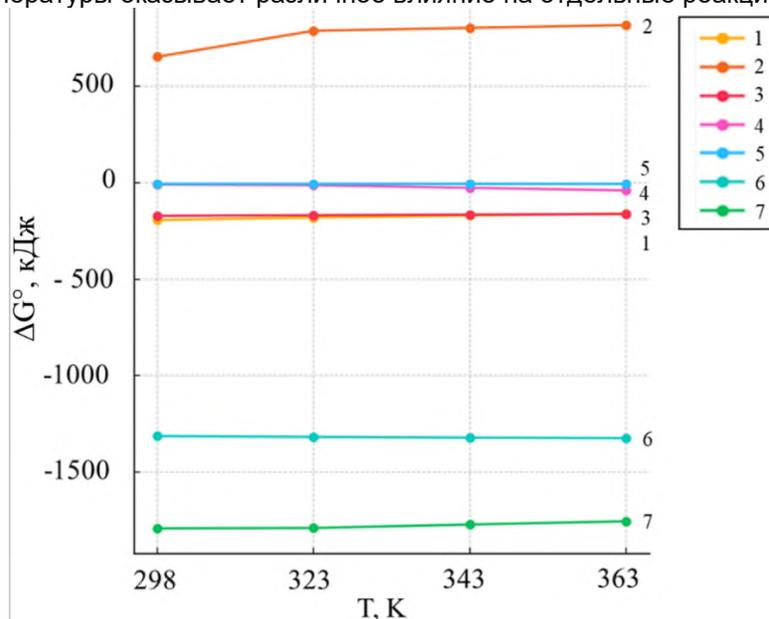


Рисунок 2 – Зависимость энергии Гиббса от температуры

## Заключение

Результаты термодинамического анализа подтвердили перспективность применения азотной кислоты для разложения фосфоритного концентрата из Риватского месторождения. Высокие значения констант равновесия и отрицательные энергии Гиббса большинства ключевых реакций свидетельствуют о высокой эффективности процесса. Разработка и внедрение предложенных технологий переработки не только обеспечат устойчивое производство качественных NPK-удобрений, но и позволят значительно снизить экологические риски, связанные с использованием традиционных методов. Полученные данные представляют научную и практическую значимость, способствуя оптимизации технологий обработки фосфорного сырья для сельского хозяйства.

Рецензент: Джураев Ш.Д. – д.т.н., профессор кафедры «Металлургия», ТПУУ имени академика М.С. Осими.

## Литература

- Кулюкин А.Н., Самсонова Н.Е., Зыков Н.А. Урожайность сельскохозяйственных культур и усвоение фосфора из удобрений с пониженной растворимостью фосфатного компонента. *Агрехимия*, 2007, № 8, С. 28-34.
- Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России. *Плодородие*, 2017, № 1 (94), С. 1-4.
- Курбонов Ш.А., Исмоилова М.С., Самихов Ш.Р. Флотация фосфоритовой руды с помощью олеиновой кислоты. *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*, 2019, № 1, С. 173-176.
- Ситнова М. Минерально-сырьевая база и рынок фосфатов в СНГ. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2008, № 10, С. 359-364.
- Курбонов Ш.А., Ходжахон М.И., Кабгов Х., Мухидинов З.К., Абулхаев В.Д., Самихов Ш.Р., Рахими Ф. Минералогический состав фосфоритных руд месторождений Риват и Каратаг. *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*, 2017, Т.60, № 7-8, С. 349-355.
- Фук Л.Х. Азотнокислотная переработка бедного апатита месторождения Лаокай: дис. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва-2021.
- Тошов Ф.М., Самихов Ш.Р., Алифшоева С.А., Курбонов Ш.А., Исмоилова М.С., Сафаров С.Ш. Кислотное разложение природных фосфоритов с получением фосфорных удобрений. *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*, 2019, № 3, С. 91-95.

8. Абирова Р.А., Захарова О.А. Характеристика фосфоритов Риватского месторождения Республики Таджикистан и обоснование использования их при выращивании хлопчатника. *Основы повышения продуктивности агроценозов*, 2015, С. 17-20.

9. Богуславская Л.И. Повышение экономической эффективности деятельности горнодобывающей компании на основе управления ее капитализацией: дис. *Санкт-Петербургский государственный горный университет*, 2012.

10. Курбонов Ш.А., Обидов Б.А., Самихов Ш.Р., Холов Х.И. Расчет значений термодинамических функций процесса сернокислотного разложения фосфоритного концентрата месторождения Риват Таджикистана. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия*, 2021, Т.2, № 44, С. 37-44.

11. Барон Н.М., Квят Э.И. и др. Краткий справочник физико-химических величин. Л.: Химия, 1974, 200 с.

12. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник. Под ред. А.П. Зефирова. М.: Атомиздат, 1965, 460 с.

13. Термические константы веществ. Вып.4. Ч.1 / Под ред. В.П. Глушко. М.: ВИНТИ, 1970, 510 с.

14. Stull D. R. JANAF Thermochemical Tables. *Clearinghouse*, 1965, т.1.

15. Chase Jr M.W., Curnutt J.L., Downey Jr J.R., McDonald R.A., Syverud A.N., Valenzuela E.A. JANAF thermochemical tables, 1982 supplement. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 1982, Т.11, № 3, P. 695-940.

16. Chase M.W. NIST - JANAF thermochemical tables for the bromine oxides. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 1996, Т.25, № 4, P. 1069-1111.

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

TJ	RU	EN
Карамбахшов Ҳошим Зоиршоевич	Карамбахшов Ҳошим Зоиршоевич	Karambakhshov Hoshim Zoirshoevich
Унвонҷӯ	соискатель	competitor
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
<a href="mailto:hoshim.9191@mail.ru">hoshim.9191@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Қурбонов Шодком Аҳмадбоевич	Қурбонов Шодком Аҳмадбоевич	Qurbonov Shodkom Ahmadboevich
н.и.т.	к.т.н.	C. Sc. in Technical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
<a href="mailto:shodkom_1990@mail.ru">shodkom_1990@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Холов Холмаҳмад Исроилович	Холов Холмаҳмад Исроилович	Kholov Kholmahmad Isroilovich
н.и.т.	к.т.н.	C. Sc. in Technical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
<a href="mailto:Kholmahmad90@mail.ru">Kholmahmad90@mail.ru</a>		
<a href="https://orcid.org/0000-0002-8202-5919">https://orcid.org/0000-0002-8202-5919</a>		
TJ	RU	EN
Самихов Шонаврӯз Раҳимович	Самихов Шонаврӯз Раҳимович	Samikhov Shonavruz Rahimovich
д.и.т.	д.т.н.	Dr. Sc. in Technical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
<a href="mailto:samikhov72@mail.ru">samikhov72@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Сафаров Сайфиддин Шаҳобиддинович	Сафаров Сайфиддин Шаҳобиддинович	Safarov Sayfiddin Shahobiddinovich
д.и.х.	д.т.х.	Dr. Sc. in Chemical
Институти химияи ба номи В.И. Никитини АМИТ	Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ	V.I. Nikitin Institute of Chemistry NAST
<a href="mailto:cafi@mail.ru">cafi@mail.ru</a>		

УДК: 614.841

## ОИД БА БЕХАТАРИИ ЗИДДИСҶУХТОРИ АВТОМОБИЛҲОИ БАРҚӢ

<sup>1</sup>Мамадамон Абдулло, <sup>2</sup>А.А. Абдуллоев

<sup>1</sup>ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ,

<sup>2</sup>ҚСҚ “ТГЭМ”

Автомобилҳои замонавӣ аз маводҳои сохта шудаанд, ки ба сӯхтор чандон тобовар нестанд ва метавонанд дар тӯли чанд дақиқа комилан сӯхта шаванд. Дар аксар вақт танҳо як омил сабаби сар задани сӯхтор шуда наметавонад. Дар аксар мавридҳо ҳангоми таҳлили чуқури ҳодиса сабабҳои химиявӣ механикӣ, омили инсонӣ ва ғайра ошкор карда мешаванд. Таъсири яқҷояи онҳо метавонад дар роҳ вазъиятҳои бениҳоят хатарнок эҷод кунад. Вақте ки як чанба дигарашро пурра мекунад, талафоти сӯхтор танҳо афзоиш меёбад. Дар мақола чанбаҳои асосии бехатарии зидди сӯхтори автомобилҳои замонавӣ мавриди таҳлил қарор дода шудаанд.

**Калидвожаҳо:** бехатарии зидди сӯхтор, электромобил, гибрид, аккумуляторҳои литий-ионӣ

### О ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Мамадамон Абдулло, А.А. Абдуллоев

Современные автомобили изготавливаются из материалов, которые не очень устойчивы к огню и могут полностью сгореть за считанные минуты. В большинстве случаев причиной пожара не может быть только один фактор. В большинстве случаев в ходе глубокого анализа происшествия выявляются химические и механические причины, человеческий фактор и т.п. Их совокупное действие может создать крайне опасные ситуации на дороге. Когда один аспект дополняет другой, потери от пожара только увеличиваются. В статье проанализированы основные аспекты пожарной безопасности современных автомобилей.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, двигатели внутреннего сгорания, программа развития электротранспорта, электромобиль, гибрид, PHEV, FCEV.

### ABOUT FIRE SAFETY OF ELECTRIC VEHICLES

Mamadamon Abdullo, A.A. Abdulloev

Modern cars are made of materials that are not very resistant to fire and can burn completely in a matter of minutes. In most cases, only one factor cannot be the cause of a fire. In most cases, chemical and mechanical causes, human factor, etc. are revealed during the deep analysis of the incident. Their combined effect can create extremely dangerous situations on the road. When one aspect complements the other, fire losses only increase. The main aspects of fire safety of modern cars are analyzed in the article.

**Keywords:** fire safety, internal combustion engines, electric vehicle development program, electric car, hybrid, PHEV, FCEV

## Пешгуфтор

Автомобилҳои замонавӣ аз маводҳои сохта шудаанд, ки ба сӯхтор чандон тобовар нестанд ва метавонанд дар тӯли чанд дақиқа комилан сӯхта шаванд. Дар аксар вақт танҳо як омил сабаби сар задани сӯхтор шуда наметавонад. Дар аксар мавридҳо ҳангоми таҳлили чуқури ҳодиса сабабҳои химиявӣ механикӣ, омили инсонӣ ва ғайра ошкор карда мешаванд. Таъсири яқҷояи онҳо метавонад дар роҳ вазъиятҳои бениҳоят хатарнок эҷод кунад. Вақте ки як чанба дигарашро пурра мекунад, талафоти сӯхтор танҳо афзоиш меёбад.

Ҳангоми таҳлили интишороти натиҷаи корҳои илмӣ муҳаққиқон ва муҳандисони соҳа оид ба бехатарии зидди сӯхтори автомобилҳои гибридӣ, электромобилҳо ва дигар воситаҳои нақлиёт маълум мегардад, ки истеҳсолкунандагони воситаҳои нақлиёти автомобилӣ кӯшиш мекунад, ки автомобилҳои аз ҷамаи ҷиҳат, бехатар, аз ҷумла бехатрии зидди сӯхтор ба муштариён пешкаш намоянд [11].

«Бехатарии воситаҳои нақлиёт» ҳолатест, ки маҷмӯи параметрҳои конструксия ва ҳолати техникаи воситаи нақлиётро, ҷиҳати роҳ надодан ё кам кардани хавфи расонидани зарар ба ҳаёт ва саломатии одамон, моликияти шахсони воқеӣ ва ҳуқуқӣ, давлатӣ ва муҳити зист, тавсиф менамояд [11].

Хавфи сӯхтор ин эҳтимолияти рух додани сӯхтор ва ё паҳн шудани он мебошад. Бехатарӣ аз сӯхтор ҳолати объект (аз ҷумла воситаи нақлиёт) мебошад, ки дар он эҳтимолияти рух додан ва рушди сӯхтор ва таъсири омилҳои хатарноки сӯхтор ба одамон ҳадалимкон истисно гардида, ҳифзи сарватҳои моддӣ таъмин гардида<sup>1</sup>.

Хавфи сӯхтор дар ҳолати яқҷоя будани маводи даргиранда (пластика, равшан, сӯзишворӣ ва дигар маводҳои органикӣ), манбаи оташ (шарора) ва оксигени ҳаво ҷамаи вақт мавҷуд аст. Ду иштирокчиҳои асосии сӯхтор, яъне маводи даргиранда (пластика, равшан, сӯзишворӣ ва дигар маводҳои органикӣ), ки қисми таркибии автомобилҳои ҳозиразон мебошад ва оксигени ҳаво қариб дар ҷамаи ҳолати яқҷоя мебошанд.

Ба маҳсулоти даргирандаи автомобилҳо, аз ҷумла гибридӣ ва барқӣ, бензин, равшан, моеъҳои техникаӣ, пластмасса, резина, хлориди поливинилӣ ва дигар қубурҳои пластикӣ, шинаҳои резинӣ, ҷамаи намуди рӯйпӯшҳои пластикӣ, курсиҳо, болишти муҳофизатӣ, батареяҳо, изолятсияи сим, рангубори муҳофизаткунандаи автомобил, дар автомобилҳои гибридӣ ва электрикӣ — аккумулятори кашанда, ва ғайра дохил мешаванд [11].

Бинобар ин барои таъмини бехатарии зидди сӯхтор диққати асосиро барои бартараф кардани манбаи оташ (шарора) додан даркор аст. Манбаи оташ дар воситаҳои нақлиёт асосан ҳарорати баланди коллектори баромад ва дудбаро, расиши кӯтоҳи ноқилҳои барқӣ, заряди статикӣ ва бо зарба ба ҳамдигар

<sup>1</sup> ГОСТ 12.1.033 – 81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

ё ба монеъаи сахт (санг, сутуни бетонӣ ва ғайра) задани чузъҳои алоҳида он мебошанд. Таъсири ин омилҳоро дар автомобилҳо, аз ҷумла гибриди ва барқӣ тавассути хизматрасонии дурусти техникӣ хеле кам кардан мумкин аст.

Тибқи тадқиқоти Платформаи иттилоотии онлайн дар бораи суғуртаи автомобилҳо (AutoinsuranceEZ) аксари ҳодисаҳои сӯхтор дар моделҳои гибриди рух медиҳанд (тақрибан 3,5 ҳазор ҳодиса ба сад ҳазор автомобили фуруҳташуда (3,5%)). Автомобилҳои бензин дар ҷои дуюм (1,5 ҳазор адад ба сад ҳазор автомобили фуруҳташуда (1,5%)) ва автомобилҳои барқӣ дар ин самт камтар мушкилот доранд (ҳамагӣ 25 сӯхтор ба сад ҳазор автомобили фуруҳташуда (0,025%))<sup>2</sup>.



Расми 1 – Омори ба сӯтор дучор шудани автомобилҳои гибриди, бензинӣ ва барқӣ<sup>3</sup>.

Хавфи батареяҳои автомобилҳои барқӣ дар он нест, ки эҳтимолияти сӯхтани онҳо зиёд аст. Гап дар он аст, ки хомуш кардани чунин сӯхтор ба маротиб душвортар аст, чунки батарея дорои энергияи азим аст ва метавонад аз нав даргирад.

Сабабҳои сар задани сӯхтор дар автомобилҳои гибриди ва электромобилҳо, пеш аз ҳама дар риоя накардани қоидаҳои ҳаракат дар роҳ, истифодабарии дурусти техникӣ, меъёрҳои хизматрасонии техникӣ таъмир ва талаботи техникаи бехатарӣ мебошад.

Тибқи таҳлили олимони Донишгоҳи Чанъан (Чин) аксарияти ҳодисаҳои сӯхтор дар нақбҳо дар Чин дар натиҷаи мушкилоти техникӣ автомобилҳо (62%) рух додаанд, ки 22,2% дар натиҷаи сӯхтори муҳаррик, 17,7% сӯхтори чархҳо, 6,5% аз сӯхтори асбобҳои барқӣ ва васли онҳо ва 15,7% бо сабабҳои дигар. Садамаҳои нақлиётӣ низ сабаби сӯхтори воситаҳои нақлиёт (18,3%) гардидаанд. Автомобилҳои гаронвазн ҳиссаи нисбатан калонро (58,2%) дар ҳодисаҳои сар задани сӯхтор ташкил медиҳанд [23].

Автомобилҳои вазнин навъи асосии нақлиёт дар Чин мебошад, ки дар нақбҳо сабаби сӯхтор мегарданд, ки фоизи баландтаринро дар байни ҳамаи намудҳои воситаи нақлиёт, яъне 58% ташкил медиҳад. Ҳамин тариқ, идоракунии хавфҳо, аз ҷумла хавфи сӯхтор ҳангоми истифодабарии нақлиёти автомобилҳои боркаш масъалаи муҳим мебошад.

Тибқи омори сабаби маъмултари сӯхторҳои нақлиётӣ дар Финландия нуқсонҳои техникӣ мебошад (Ҷадвали 1). Аз сӯхторҳои, ки бо амали одамон ба вучуд омадаанд (Ҷадвали 2), 70% қасдан содир карда шуда, 12% бо сабаби рафтори хунукназарона ба вучуд омадаанд [22].

Ҷадвали 1 – Сабабҳои сӯхтори мошинҳо 2015-2023 [22].

Сабаб	Фоиз
Нуқсонҳои техникӣ	66
Омили инсонӣ	15
Номуайян	14
Сабаби дигар	4
Моддаи оташгиранда	1
Ҳодисаи табиӣ	2,4
Ҳайвонот	0,8

Ҷадвали 2 – Сӯхторҳои нақлиётӣ, ки дар натиҷаи амали инсон ба қайд гирифта шудаанд, солҳои 2015-2023 [22].

Сабаб	Фоиз
Қасдан	68
Тасодуфӣ	12
Хунукназарӣ	14
Номуайян	5

Сабаби дар ҳолати бехаракат (дар таваққуфҳо) ба амал омадани сӯхтор дар автомобил асосан расиши кӯтоҳи ноқилҳои барқӣ ва ба болои қисмҳои тафсонии муҳаррик расидани маводи даргиранда мебошад, ки натиҷаи хунукназарӣ ба риояи меъёрҳои хизматрасонии техникӣ таъмир ва талаботи техникаи бехатарӣ мебошад.

<sup>2</sup> Gas vs. Electric Car Fires [2024 Findings] | AutoinsuranceEZ.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autoinsurancenez.com/gas-vs-electric-car-fires/> (дата обращения: 22.06.2024).

<sup>3</sup> Gas vs. Electric Car Fires [2024 Findings] | AutoinsuranceEZ.com [Электронный ресурс]

Қисме аз сӯхторҳо дар автомобилҳо дар натиҷаи садамаҳои роҳу нақлиёт, яъне дар вақти ҳаракат ба амал меоянд. Ҳангоми садама чӣ сабаб шуда метавонад, ки автомобил оташ гирад? Аксари сӯхтор аз сабаби қанда шудани қубури сӯзишворӣ, паридани шарора ҳангоми соиши қисмҳои металли автомобил бо болопуши роҳо, муҳаррики аз ҳад зиёд гармшуда ва расиши кӯтоҳи ноқилҳои барқӣ мебошад.

Ҳадафи асосии баррасии масъала ин бори дигар ошкор кардани сабабҳои асосии сӯхтор дар воситаҳои нақлиёти автомобилӣ мебошад.

Даргирифтани воситаҳои нақлиёт яке аз ҳолатҳои хатарнокест, ки дар он ба ҳаёт ва саломатии одамон ва молу мулк хатари зиёд эҷод мешавад.

Таъсиринокии (сарбории) сӯхтор - нишондиҳандаи миқдориест, ки шиддатнокӣ ё давомнокии сӯхторро тавсиф мекунад. Сарбории сӯхторро одатан бо миқдори умумии гармии пас аз сӯхтани ҳамаи маводҳо ва ашёи оташгиранда дар объекти мушаххас (воситаи нақлиёт ва ғайра), ки ба муҳити атроф дода мешавад, тавсиф мекунамд [2].

### Таҳлили иттилоот оид ба бозпас хондани автомобилҳо бо нуқсонҳо

Мафҳуми "Нуқсони воситаи нақлиёт" ин ҳолатҳое ба стандартҳои миллий ё саноатӣ оид ба ҳифзи бехатарии шахсӣ ва моликият мувофиқатнакардани маҳсулот, ки ҳангоми тарроҳӣ, истеҳсол ё дигар сабабҳо маҳсулоти автомобилӣ ба он роҳ дода шудааст ва он ба амнияти шахсӣ ва моликият таҳдид мекунамд. Мафҳуми "бозхонд" (бозпас) ин аз ҷониби истеҳсолкунандагон (аз ҷумла воридкунандагони маҳсулот) таъмир, иваз кардан ё ҷуброн кардани арзиши маҳсулоти нуқсондор мебошад, ки метавонад сабаби осеби ҷисмонӣ ё зарари моддӣ ва ғайра гардад. Ин системаи идоракунии ба таъмини сифат ва бехатарии маҳсулот равона шудааст. Таҳлили маълумот дар бораи бозпас гирифтани маҳсулоти нуқсондори автомобили банди муҳимми омузиши алоқаи байни нуқсонҳои воситаи нақлиёт ва фалокат мебошад [24].

Тибқи иттилои Идораи Миллии Бехатарии Ҳаракат дар роҳҳои автомобилгард (NHTSA -National Highway Traffic Safety Administration (<https://www.nhtsa.gov/>) дар Иёлоти Муттаҳида аз соли 2004 то 2016 аз гирифта шудааст, дар тӯли 13 сол дар Иёлоти Муттаҳида автомобилҳо бо 8437 нуқсон бозпас гирифта шудааст, ки дар маҷмӯъ 326,146 миллион воситаи нақлиётро ташкил медиҳад. Вобаста ба нуқсонҳое, ки сабаби сӯхтор гардида метавонад, ки дар тӯли 13 сол бо 1940 нуқсон автомобил бозхонд шудааст, ки дар маҷмӯъ 64,84 миллион воситаи нақлиётро ташкил медиҳад. Яъне мувофиқан 13% нуқсонҳо ва 20% шумораи умумии воситаҳои нақлиёт бо сабаби ба талаботи зидди сӯхтор мувофиқ набудан бозхонд шудаанд. Аз соли 2004 да Ҷумҳурии мардумии Чин системаи идоракунии бозпас гирифтани воситаҳои нақлиёти автомобилӣ нуқсондор ҷорӣ гардидааст. Тибқи таҳлили маълумоти Идораи давлатии танзими бозор - Маркази маъмурии маҳсулоти ноқис (SAMR-DPAC - State Administration for Market Regulation - Defective Product Administrative Center (SAMR-DPAC)), аз соли 2004 то 2016 дар Чин дар маҷмӯъ бо 1296 нуқсон воситаҳои нақлиёт бозпас хонда шудаанд, ки дар маҷмӯъ 69 миллион автомобили нуқсондорро ташкил медиҳад. Аз ин шумора 290 нуқсоне, ки сабаби сӯхтор гардида метавонад, ки дар маҷмӯъ 9,886 миллион воситаи нақлиёт ё мутаносибан 26,9% ва 22,4% аз шумораи умумиро ташкил медиҳад. Яъне дар қиёс бо ИМА нуқсонҳое, ки сабаби сӯхтор шуда метавонанд, дар Чин ба маротиб зиёдтар ба қай гирифта шудааст [24]. Таҳлили муфассали бо 290 нуқсон бозпас гирифтани автомобилҳо дар Чин вобаста ба нуқсонҳое, ки боиси сӯхтор мешаванд, маълум гардидааст, ки аксарияти нуқсонҳо бо ихроҷи сӯзишворӣ, ихроҷи рағани муҳаррик, рағани тақвиятдиҳандаи рулӣ ва трансмиссия, моеъи системаи боздорӣ, расиши кӯтоҳи ноқилҳо, контакти заиф, ҳарорати баланди сатҳи деталҳо ва соиши ғайримуқаррарии механикӣ вобаста мебошанд [24].

Олимони чинӣ вобаста ба ҳолати корношоямӣ, нуқсонҳои нақлиётро, ки сабаби сӯхтор мегарданд, ба чор ҷанба тақсим кардаанд: нуқсонҳои системаи барқ, нуқсонҳои системаи ғизодиҳӣ, нуқсонҳои системаи интиқоли моеъи оташгиранда ва дигар нуқсонҳо [24]. Тибқи таҳлили ҷадвалҳои 3 ва 4 дар байни 290 нуқсонҳо, ки боиси сӯхтор мешаванд, аксарияти нуқсонҳо ба системаи ғизодиҳӣ 119 (41,03%) ва системаи барқӣ 109 (37,59%) вобаста аст.

Ҷадвали 3 – Системаҳои (маҷмӯъ), сабаби сӯхтори автомобилҳо дар Чин гардидаанд(солҳои 2004-2016) [24]

Системаи автомобил	Миқдори нуқсон	Ҷоиз	Автомобилҳои бозхондшуда	Ҷоиз
Муҳаррик	150	51,72%	5745223	58,12%
Трансмиссия	11	3,79%	155338	1,57%
Системаи барқӣ	70	24,14%	2995523	30,30%
Идоракунии рулӣ	23	7,93%	254500	2,57%
Боздорӣ ва чархҳо	7	2,41%	103998	1,05%
Болишти пневматикӣ/Камарбанди бехатарӣ	6	2,07%	65971	0,67%
Кузов (бадана)	15	5,17%	345780	3,50%
Дигарҳо	8	2,76%	219186	2,22%
Ҳамагӣ	290	100%	9885519	100%

Чадвали 4 – Гуруҳбандии нуқсонҳои сабаби сӯхтори автомобилҳо дар Чин (солҳои 2004-2016) [24]

Гуруҳ нуқсонҳо	Миқдори нуқсон	Ҷоиз	Автомобилҳои бозхондшуда	Ҷоиз
Нуқсонҳои системаи барқӣ	109	37,59%	3511513	35,52%
Нуқсонҳои системаи ғизодихӣ	119	41,03%	5549082	56,13%
Нуқсонҳои системаи интиқоли моеъҳои оташгиранда	44	15,17%	536364	5,43%
Омилҳои дигари сӯхтор	18	6,21%	288560	2,92%
Ҷамағӣ	290	100%	9885519	100%

Таҳлили иттилооти дар сомонии интернетии NHTSA овардашуда нишон медиҳад, ки аз тарафи ширкатҳои гуногун, аз ҷумла Ford Motor Company 125322 модели Ford Escape солҳои 2020-2023, Ford Maverick солҳои 2022-2023 ва Lincoln Corsair солҳои 2021-2023 барои хатари сӯхтор аз сабаби нуқсонҳои муҳаррик [28], Kia America 462869 автомобилҳои барориши солҳои 2020-2024-ро бо сабаби хатари сӯхтор ҳангоми таваққуфҳо ё вақти ҳаракат [30], Chrysler автомобилҳои Jeep Cherokee, истеҳсоли солҳои 2014-2016-ро бо сабаби хатари сӯхтор [29], ширкати GM автомобилҳои барқии Chevrolet Bolt-и солҳои 2017-2022 бо сабаби хатари сӯхтор [27], бозпас хондаст[14].

### Аккумуляторҳо барои автомобилҳои барқӣ

Манбаи энергия дар автомобилҳои муосири электрикӣ танҳо батареяҳои литийдор мебошанд. Дигар технологияҳо низ вучуд доранд, аз ҷумла технологияи аккумулятори никел-металл-гидрид (NiMH) ва навҳои дигари аккумуляторҳо дар асоси натрий мавриди тадқиқот қарор дода шудаанд.

Аккумуляторҳои литий-ионӣ аз аноди карбондор ва катоде иборат аст, ки аз оксиди металлӣ сохта шудааст, ки дорои литий низ мебошад (масалан, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Ионҳои мусбати литий Li<sup>+</sup> дар байни анод ва катод тавассути электролити органикӣ кӯч мекунанд. Электролит дар интиқоли ионҳои мусбати литий байни катод ва анод нақши калидӣ мебошад. Электролити маъмултарин аз намаки литий, ба монанди LiPF<sub>6</sub> дар маҳлули органикӣ иборат аст. Бояд қайд кард, ки литий ҳеҷ гоҳ дар ҳолати металлӣ озод ба вучуд намеояд - танҳо мубодилаи ионҳои он дар байни катод ва анод ба амал меояд. Аз ин рӯ, чунин батареяҳо "литий-ионӣ" номида мешаванд. Ҳангоми раванди заряддиҳии аккумулятори литий-ионӣ деинтеркалятсия (баровардани) литий аз катода дорои литий ва интеркалятсия (ҷойгиркунии) ионҳои литий ба маводи карбонии анод ба амал меояд. Дар вақти разряди аккумулятор ин раванд баръакс иҷро мешавад.

Литий элементҳои сеюми чадвали даврӣ мебошад, ки дар қабати берунии худ як электрон дорад ва ба осонӣ онро медиҳад. Якчанд тарҳҳои батареяҳои литий-ионӣ мавҷуданд ва ҳамаи онҳо асосан аз рӯи маводи катод (электроди мусбат) фарқ мекунанд, дар ҳоле ки анод танҳо аз графит, баъзан бо омехтаи кремний сохта мешавад. Дар мавриди катод, тамоми навҳои батареяҳои литий-ионӣ барои автомобилҳои барқӣ ба ду синф тақсим мешаванд: литий-оҳан-фосфат (LFP) ва никел+кобалт. Никел-кобалт одатан сегона номида мешавад, зеро ба ғайр аз никел ва кобальт, металлҳои сеюм, марганес (NMC) ё алюминий (NCA) илова карда мешавад. Албатта дигар навҳо низ мавҷуданд, аммо инҳо маъмултаринанд. Миёни ин ду навъ дар бозор рақобат вучуд дорад, ки дар айни замон навъи LFP сеяки бозорро ташкил медиҳад ва дуумӣ аз се ду ҳиссаи онро ташкил медиҳад. Батареяҳои LFP соддатар, хеле устувортар ва муҳимтар аз ҳама арзонтаранд. Дар баробари ин батареяҳои сегона (NMC ва NCA) иқтисодӣ баланди мушаххас доранд. Аз ин рӯ, батареяҳои фосфати оҳани литий аксар вақт дар мошинҳои барқии оддӣ васл карда мешаванд, ки дар он нархҳо афзалият доранд, дар ҳоле ки батареяҳои сегона барои мошинҳои электрикӣ баландсифат ҷудо карда мешаванд [8].

Дар автомобилҳои гибридӣ асосан аккумулятори никел-металл-гидрид (NiMH) истифода мешуд, айни замон чунин автомобилҳо низ бо аккумулятори литий-ионӣ муҷаҳҳаз шуда истодаанд.

Чадвали 5 – Нишондиҳандаҳои кийсӣи аккумулятори ҳозиразамон [16]:

Нишондиҳанда	Кислотагӣ-сурбӣ	NiCd	NiMH	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LiFePO <sub>4</sub>
Солҳои аввали истифода	Баъди соли 1800	1950	1990	1991	1996	1999
Талаботи нигоҳдорӣ	Сатҳи электролит ва илова кардани об барои пешгирии сульфатшавӣ - ҳар 3-6 моҳ	Барои пешгирии кардани таъсири хотира, ҳар 90 рӯз як давраи пурраи заряд-разрядро талаб мекунанд.	Бе хизматрасонии иловагӣ, танҳо заряддиҳии саривақтиро талаб мекунанд			
Захираи даврӣ - шумораи давраҳои заряддиҳӣ то 20% кам шудани иқтидор	200-300	1000	300-500	500-1000	300-700	1000-2000
Ҷунҷоии хоси энергетикӣ, Вт·ч/кг	30-50	45-80	60-120	150-250	100-150	90-120
Шиддати номиналӣ	2 В	1,2 В	1,2 В	3,6 В	3,7 В	3,2-3,3 В

Нишондиҳанда	Кислотагӣ-сурбӣ	NiCd	NiMH	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LiFePO <sub>4</sub>
Шиддати қатъии заряд (бар як батарея)	2,4 В	100% (системаи муайянкунии заряд истифода мешавад)	4,2 В	3,6 В		
Шиддати қатъии разряд	1,75 В	1 В	2,5–3 В	2,5 В		
Худбезарядшавӣ дар як моҳ	5%	20%	30%	<5%, платаяи химоявӣ дохили 3% зарядро истифода мебарад		
Муқовимати дохилӣ	Ночиз	Ночиз	Кам	Миёна	Кам	Хеле кам
Вақти зарядгирӣ, соат	8–16	1–2	2–4	2–4	1–2	1–2
Қувваи ҷараёни ҳадди аксар	5C <sup>4</sup>	20C	5C	2C	>30C	>30C
Қувваи ҷараёни оптималии сарборӣ	0,2C	1C	0,5C	<1C	<10C	<10C
Муқовимат ба заряддиҳии барзиёд	Баланд	Миёна	Паст	платаяи химоявӣ истифода мешавад		
Ҳудуди ҳароратии қор, °C	-20 – +50	-20 – +65	-20 – +65	-20 – +60	-20 – +60	-30 – +60
Ҳарорати қобили қабули заряддиҳӣ, °C	-20 – +50	0–+45	0–+45	0–+45	0–+45	0–+45
Сағхи захролудкунии	Баланд	Баланд	Паст	нест		
Талаботи бехатарӣ	Дар вақти зарядгирӣ моддаҳои захрнок ихроҷ мекунад	Аз ҷиҳати ҳарорат муътадил, дорои ҳифозак мебошанд	Платаяи химоявӣ барои ҳолатҳои факуллода истифода мешавад			
Категорияи нарх	Кам	Миёна	Баланд, лекин аз рӯи ҳисоби давраи истифода паст			

Чуноне, ки аз ҷадвали бармеояд, айни замон аккумуляторҳои литийдор беҳтарин ҳисоб мешаванд. Барои ҳамин хусусиятҳои онҳоро дар ҷадвали алоҳида қиёс менамоем.

Ҷадвали 6 – Нишондиҳандаҳои қиёсии аккумуляторҳои литий-ионӣ [16]

Нишондиҳанда	Литий – оксид кобалт	Литий – оксиди марганес	Литий-никель-марганес-оксид кобалт	Литий-октан-фосфат	Литий-никел-кобалт-алюминий-оксид	Литий-титанат
	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	NMC (LiNiMnCoO <sub>2</sub> )	LFP LiFePO <sub>4</sub>	NCA LiNiCoAlO <sub>2</sub>	LTO (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )
Шиддати номиналӣ, В	3,6	3,7–3,8	3,6–3,7	3,2–3,3	3,6	2,4
Ҳудуди шиддати қорӣ, В	3–4,2	3–4,2	3–4,2 ва зиёда	2,5–3,65	3–4,2	1,8–2,75
Ҳанҷиши хоси энергетикӣ, Вт·ч/кг	150–200, баъзан то 240	100–150	150–220	90–120	200–260	70–80
Қувваи ҷараёни заряддиҳӣ	(0,7–1)C	(0,7–1)C, макс.ум 3C	(0,7–1)C	1C	0,5C	1C, до 5C
Қувваи ҷараёни безарядшавӣ	1C	1C, 10C. Импульсӣ то 50C	1C, баъзан 2C	1C, дар баъзе мавридҳо 25C	1C	10C, импульсӣ до 30C
Захираи даврӣ	500–1000	300–700	1000–2000	2000	500	3000–7000
Тарқиш аз гармӣ	аз 150 °C	аз 250 °C	аз 210 °C	аз 270 °C	аз 150 °C	Аз ҳама бехатар
Доираи истифода	Камераҳо, смартфонҳо, ноутбукҳо ва ғайра	Тачхизоти тиббӣ, асбобҳои барқӣ	Наклиёти барқӣ, дастгоҳҳои тиббӣ	Дар ҳама ҷое, ки қувваи ҷараёни баланд лозим аст	Техникаи тиббӣ, агрегатҳои пуриктидор	Манбаҳои мустақили энергия, агрегатҳои пуриктидор

<sup>4</sup> Ҳанҷиш бо А\*соат

Истифодаи васеи аккумуляторҳои литий-ионӣ дар автомобилҳои барқӣ ба як қатор бартариҳои онҳо вобаста аст. Аввалан, онҳо зичии баланди энергия доранд, ки ба электромобилҳои имкон медиҳад, ки бо як заряд масофаи дурро тай кунанд. Дуюм, аккумуляторҳои литий-ионӣ дорои суръати пасти худразряд мебошанд, ки ин самаранокии онҳоро ҳангоми нигоҳдории дарозмуддат таъмин мекунад. Сеюм, онҳо иқтисодии баланди разрядро таъмин мекунанд, ки барои ба қор даровардан ё тезонидан фаъолияти системаҳои энергияталаби воситаи нақлиёт зарур аст. Илова бар ин, аккумуляторҳои литий-ионӣ бо масса ва андозаҳои нисбатан кам тавсиф мешаванд, ки массаи электромобилро коҳиш медиҳанд ва самаранокии энергетикӣ онро афзоиш медиҳанд. Дар баробари ин мунтазам кам шудани хароҷоти истеҳсоли аккумуляторҳои литий-ионӣ, онҳоро барои бозори оммавӣ дастрас мегардонад.

### Аккумулятор - сабаби асосии сӯхтори автомобилҳои барқӣ

Бо вучуди тамоми бартариҳои батареяҳои литий-ионӣ як камбудии ҷиддӣ доранд, дар сурати гармшавии электролит гармшавии он хусусияти реаксияи занҷирро гирифта, суръатфизоии гармӣ ба вучуд ояд, ки ин боиси зуд баланд шудани фишор ва ҳарорат дар ҳуҷайра мегардад ва он оташ гирад. Ин ҳангоми аз ҳолати мӯътадили қорӣ берун баромадани аккумулятор, масалан: расиши кӯтоҳ, гармии аз ҳад зиёд, сарбории баланд ё осеби механикӣ метавонад рух диҳад.

Ин боиси ихроҷи газҳои оташгиранда ва захролудкунанда мегардад. Ихроҷи гази батареяи литий-ионӣ як мушкили ҷиддӣ аст, зеро пайвастиҳои органикӣ идорашаванда сӯзишворӣ мебошанд ва паҳншавии онҳо хатареро ба вучуд меорад, ки метавонад боиси тарқиш ва сӯхтор гардад. Худдаргирии аккумуляторҳои литийдорро бо истифода аз воситаҳои анъанавӣ сӯхторхомӯшкунӣ хомӯш кардан хеле душвор аст. Ҳангоми суръатфизоии гармии аккумулятори нуқсондор ва ё вайроншуда на танҳо энергияи захирашудаи барқ хориҷ мешавад, балки як қатор реаксияҳои кимиёвӣ низ ба амал меоянд, ки энергияро барои худгармкунӣ, инчунин оксиген ва газҳои оташгиранда низ ҳосил мешаванд. Яъне аккумулятори даргирифта метавонад, бидуни бидуни дастрасӣ ба ҳаво сӯхтанро давом диҳад ва воситаҳои муқаррарии ҷудокунии аз оксигени атмосфера барои хомӯш кардани он мувофиқ нестанд. Ғайр аз он набояд фаромӯш кард, ки литий ҳамчун металли ишқорӣ бо об хеле фаъолна ба реаксия дохил шуда, гази гидрогенро ҳосил мекунад, ки дорои ғунҷоиши баландтарини энергия дар миёни ҳама гуна сӯзишвории анъанавӣ мебошад (тақрибан се маротиба зиёдтар нисбат ба бензин) ва бо оксиген тез ба реаксия дохил шуда, бо ҷудо кардани гармии хеле зиёд месӯзад. Бинобар ин хомӯш кардани сӯхтори электромобили дорои аккумуляторҳои литийдорро бо об самарабахш нест. Дар ин сурат об аслан барои паст кардани ҳарорати аккумуляторҳо ва пешгирии паҳншавии аланга мебошад.

Дар Федератсияи Россия дар самти бехатарии истифодабарии аккумуляторҳои литий-ионӣ тадқиқотҳои назаррас гузаронида шудаанд. Хусусан натиҷаи тадқиқотҳои Академияи Ҳадамоти давлатии оташнишонии Вазорати мудофиаи гражданин, ҳолатҳои фавқуллодда ва рафъи оқибатҳои офатҳои табиӣ Федератсияи Россия, аз ҷумла мақолаҳои устод Харламенков А. С. ҷолиби тавачҷуҳ мебошанд [17–21].

Тибқи натиҷаи тадқиқот оид ба санҷиши аккумуляторҳои литий-ионӣ бе системаҳои ҳимоявӣ (дар шакли платаи берунии BMS<sup>5</sup>), муайян гардидаст, ки аккумуляторҳои литий – полимерӣ ва NMC дараҷаи баланди хатари сӯхтор дошта, аккумуляторҳои навъи литий-титанат (LTO) дараҷаи нисбатан пасти сӯхтор доранд [20].

Ҷадвали 7 – Натиҷаҳои санҷиши намудҳои гуногуни батареяҳои литий-ионӣ [20]

Навъи озмоиш	Навъи аккумулятор			
	Li-Pol	NMC	LTO	LFP
	Натиҷаи озмоиш			
Заряди барзиёдӣ/ Расиши кӯтоҳи беруна	Варам гардидани бадана бо партови газ ва афрӯзиш	Варам гардидани бадана бо партови газ ва афрӯзиш	Кушодашавии клапани ҳимоявӣ бо партови электролит бе афрӯзиш	Варам гардидани бадана бо кушодашавии клапани ҳимоявӣ бо партови электролит бе афрӯзиш
Осеби механикӣ бо вайрон кардани бадана (корпус) ва гузаштан аз дохил	Варам гардидани бадана бо партови газ ва афрӯзиш	Варам гардидани бадана бо партови газ ва афрӯзиш	Партови электролит бе афрӯзиш	Варам гардидани бадана бо партови дуд ва сӯзиши дохилӣ
Хулоса	Хатари баланди сӯхтор	Хатари баланди сӯхтор	Хатари пасти сӯхтор	Хатари миёнаи сӯхтор

### Хомӯш кардани сӯхтори аккумуляторҳои литий-ионӣ

Маълум аст, ки сӯхторҳо вобаста ба маводи сӯзанда ба якчанд синф ҷудо мешаванд, ки бо ҳарфҳои латинӣ аз А то F ишора карда мешаванд. Ҳар яки онҳо боз метавонанд ба зергурӯҳҳо тақсим шаванд.

<sup>5</sup> Системаи идоракунии батарея (BMS- Battery Management System) - системаи электронист, ки раванди заряд ва разряди аккумуляторро назорат карда, назорати ҳолати батарея ва элементҳои он, назорати ҳарорат, шумораи давраҳои заряд/разряд ва муҳофизати ҷузъҳои батареяҳои аккумуляторӣ насб карда мешавад.

Ҷадвали – Таснифоти сӯхтор вобаста ба маводи сӯзанда<sup>6</sup>[6; 13]

Синф	Зерсинф	Маводи сӯхторхомӯшкунӣ
А - маводи саҳт. Ба ин синф сӯхтор дар биноҳои истиқоматӣ, истеҳсоли ва анборҳо (ба истиснои сӯзишворӣ, равшанҳои молиданӣ ва газҳо)	А1 - маводи дар ибтидо ноаёнсӯзанда (тлеющие материалы), аз ҷумла ҷӯб, қоғаз, коҳ ва ғ. А2 - маводи саҳти сӯзанда, ба монанди маводи пластикӣ.	Ҳама гуна сӯхторхомӯшкунакҳо бо аломати АВСЕ. Ҳама гуна воситаҳои дастрас (об, қум ва ғайра).
В - моддаҳои моеъ, ба монанди маҳсулоти нафтӣ.	В1 - моддаҳои, ки дар об ҳалнашаванда ё моеъшаванда, ки шакли саҳт доранд (бензин, равшанҳои гуногун, парафин) В2 - моддаҳои дар об ҳалшаванда (спиртҳо)	Хладон ва Оташхомӯшкунакҳои хладондор бо аломатҳои АВСЕ ва ВСЕ. Об бо моддаҳои фаёли сатҳи фторидашуда. Қафки оташнишонӣ. Оби тунук пошидашуда.
С - моддаҳои газӣ (гази табиӣ, пропан, бутаг ва ғайра)		Сӯхторхомӯшкунакҳои хокагӣ дорои аломатҳои АВСЕ ва ВСЕ. Таркибҳои махсуси газӣ, ки дараҷаи алангаи моеъро коҳиш медиҳанд.
Д - металлҳо	Д1 - металлҳои сабуки ғайриишқорӣ (алюминий, мис ва ғайра) Д2 - металлҳои ишқорӣ (литий, натрий, калий, рубидий, сезий, франсий) Д3 - ҳӯлаҳои металлӣ (гидридҳои металлҳо)	Аз сабаби хатари эҳтимолии тарқиш, хомӯш кардани сӯхтор бо маводи обдор ё кафк манъ аст. Сӯхторхомӯшкунакҳои махсус бо хокаи навъи ПХК истифода мешаванд.
Е — объектҳои зерӣ шиддати электрикӣ		Аз сабаби хатари зерӣ зарбаи чараёни барқӣ мондан, хомӯш кардани сӯхтор бо кафк ё омехтаҳои обдор манъ аст. Сӯхторҳои дараҷаи Е бо гази диоксиди карбон, сӯхторхомӯшкунакҳои махсуси хладондор ва хокагӣ хомӯш карда мешаванд.
Ғ - маводи радиоактивӣ, аз қабилӣ партовҳои нерӯгоҳҳои атомӣ		Воситаҳои махсус ва сӯхторхомӯшкунакҳои дорои аломати АҒ. Сӯхторҳои дараҷаи Ғ хатарноктарин мебошанд ва аз ҷониби ҳукумати мамлакат назорат карда мешаванд.

Хомӯш кардани сӯхтори аккумуляторҳои литий-ионӣ аз сабаби таркиби химиявӣ ва хосиятҳои гармидиҳии онҳо кори душвор аст. Чанд усули маъмули хомӯш кардани он мавҷуд аст:

**а. Паст кардани ҳарорати он тавассути об:** Об метавонад дар паст кардани ҳарорати аккумулятор ва пешгирии паҳншавии аланга ба маводи атроф самаранок бошад. Лекин он аксаран манбаи оташро дар дохили аккумулятор хомӯш карда наметавонад. Инчунин ҳангоми реаксияи литий бо об, гидроген ҳосилмешавад, ки мумкин сабаби тарқиш гардад [7; 25; 26].

**б. Сӯхторхомӯшкунакҳои синфи D:** Ин сӯхторхомӯшкунакҳо барои хомӯш кардани сӯхторҳои металлӣ, аз ҷумла литий махсус пешбинӣ шудаанд. Онҳо хокаҳои хушкро истифода мебаранд, ки реаксияи химиявӣ сӯзишро паҳн мекунад [9; 10; 12].

**с. Қум ё вермикулит (минерали ба сӯхтор устувор):** Ин маводҳо барои изолятсияи аккумулятори сӯзон истифода бурдан мумкин аст, то ки паҳншавии сӯхторро пешгирӣ карда шавад. Онҳо инчунин метавонанд, ки таъмини оксигенро ба манбаи сӯзиш коҳиш диҳанд [7].

**д. Воситаҳои махсуси сӯхторхомӯшкунӣ:** Барои хомӯш кардани батареяҳои литий-ионӣ мавод ё пайвастиҳои махсус таҳия карда мешаванд, ки дорои маҷмӯи хосиятҳо, аз ҷумла сардкунӣ, паст кардани суръати реаксияи химиявӣ ва қатъи дастрасии оксигенро муттаҳид мекунад [1; 3; 9; 15].

**е. Чорабиниҳо ҳангоми сӯхтори аккумуляторҳои нақлиёти барқӣ:** Ҳангоми сӯхтори аккумуляторҳои литий-ионӣ дар автомобилҳои барқӣ, барои паст кардани ҳарорати аккумулятор миқдори зиёди обро истифода бурдан махсусан муҳим аст [25; 26]. Дар сурати сар задани сӯхтори хурд, агар аланга ба аккумулятор паҳн нашуда бошад, аз гази карбон ё хокаи сӯхторхомӯшкунӣ истифода бурдан қобили қабул аст.

Дар Австрия вақте, ки электромобили Tesla ба садама дучор шуд ва сӯхтор ба вучуд омад, барои паст кардани ҳарорат ва хомӯш кардани сӯхтор 11 тонна об (захираи муқаррарии автомобили оддӣ

<sup>6</sup> ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров

сухторхомушкунӣ 2-4 тонна мебошад) сарф гардид. Азбаски аккумулятори электромобили харобшуда дар ҳолати хатарнок буд ва имкон дошт, ки пас аз чанд рӯзи ҳодиса худ аз худ аланга занад, барои бехатар кӯчонидани электромобили сӯхташуда як контейнери обногузари пулодии эвакуатсионии бо об пур кардашудаи дарозиаш 6,8 метр, бараш 2,4 метр, баландиаш 1,5 метр ва массаш 3 тонна истифода гардид. Ин контейнер, ки аз тарафи ширкати DAKA-Entsorgung истихсол шудааст, ба хадамоти сӯхторхомӯшкунӣ Шватс (Австрия) ҳада гардидаст ва қисми таркибии техникаи сӯхторхомӯшкунӣ он гардидаст [4; 5; 25; 26].



Расми 2 – Контейнери махсуси сӯхторхомӯшкунӣи шӯъбаи оташнишонӣ дар Австрия [25; 26]

## Хулоса

Ҳамин тавр, мушкилоти бехатарии зидди сӯхтор дар автомобилҳои замонавӣ, аз ҷумла электромобилҳо ва гибридо, масъалаи муҳим аст, ки нигоҳдорӣ ва коркардро талаб мекунад. Барои пешгирии сӯхтор дар автомобилҳои барқӣ ва гибридӣ зарур аст, ки тавсияҳои техникаи истифода, таъмир ва нигоҳдорӣ бо дақиқӣ иҷро карда шаванд. Дар зер хулосаи умумии мақола бо номҳои бандҳои алоҳида оварда шудааст:

1. Автомобилҳои замонавӣ, аз ҷумла электромобилҳо ва гибридо, аз маводҳои сохта шудаанд, ки ба оташ чандон тобовар нестанд ва метавонанд дар тӯли чанд дақиқа комилан сӯхта шаванд. Мушкилоти бехатарии зидди сӯхтор дар ин воситаҳо масъалаи муҳим аст, ки нигоҳдорӣ ва коркардро талаб мекунад.

2. Мувофиқи таҳқиқотҳо, аксари ҳодисаҳои сӯхтор дар моделҳои гибридӣ рух медиҳанд (3,5% аз ҳар сад ҳазор автомобили фурухташуда), дар ҷои дуюм автомобилҳои бензинӣ (1,5%) ва электромобилҳо камтарин мушкилотро доранд (0,025%). Дар Чин, 62% аз ҳодисаҳои сӯхтор дар нақбҳо сабаби мушкилоти теҳии автомобил мебошанд.

3. Аккумуляторҳои литий-ионӣ, ки дар электромобилҳо истифода мешаванд, дар шароити муайян метавонанд хатарҳои махсус эҷод намоянд. Дар сурати гармшавии номувофиқ ё осеби механикӣ, дар ин аккумуляторҳо метавонанд реаксияҳои занҷирӣ-гармӣ рух диҳанд, ки ба сӯхтор оварда метавонад.

4. Барои хомӯш кардани сӯхтори аккумуляторҳои литий-ионӣ усулҳои махсус лозим аст. Истифодаи оби миқдори зиёд (ҳатто то 11 тонна) ва контейнерҳои махсуси обногузар барои хунук кардани аккумуляторҳои тафсон тавсия карда мешавад. Аз тарафи дигар, истифодаи сӯхторхомӯшкунакҳои оддӣ чун об ё кафк метавонад хавфи таркиширо афзоиш диҳад.

5. Барои пешгирии сӯхторҳо дар автомобилҳои барқӣ ва гибридӣ зарур аст, ки тавсияҳои техникаи истифода, таъмир ва нигоҳдорӣ бо дақиқӣ иҷро карда шаванд.

Дар хотир бояд дошт, ки хомӯш кардани батареяҳои литий-ионӣ эҳтиёткорӣ ва ҷораҳои бехатариро талаб мекунад ва ин корро пеш аз ҳама мутахассис дуруст иҷро карда метавонад. Яъне дар сурати рух додани сӯхтори калон бояд фавран ба хадамоти оташнишонӣ хабар додан лозим аст.

*Рецензент: Давлатшоев Р.А. — қ.т.н., доцент кафедраи «Эксплуатация автомобильного транспорта» ИИПТУ им. ақад. М.С.Осими*

## Адабиёт

1. Алешков, М.В. ПОЖАРЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И СПОСОБЫ ИХ ТУШЕНИЯ / М.В. Алешков, Д.А. Иоценко, И.А. Ольховский // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29. – № 5. – С. 51-59.

2. Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. III (П – С) (издание третье, переработанное и дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова. – МЧС России. – Москва : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. – 658 с.

3. Двоенко, О.В. Оценка эффективности применения составов для тушения пожаров литий-ионных аккумуляторных батарей / О.В. Двоенко, А.Ф. Колбасов, Д.А. Кучмасов и др. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 4. – С. 55-63.
4. Для охлаждения батареи электромобиля Tesla после ДТП понадобилось 11 тонн воды и специальный контейнер для эвакуации. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/470896/> (дата обращения: 13.01.2025). – [Электронный ресурс].
5. Для тушения Tesla понадобилось 11 (!) тонн воды и стальной контейнер. – Режим доступа: <https://unews.pro/news/99208/> (дата обращения: 13.01.2025). – [Электронный ресурс].
6. Злыднева, О.А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЖАРОВ / О.А. Злыднева, С.Г. Аксенов, И.Н. Губайдуллина, Ф.К. Синагатуллин. – [Электронный ресурс] // Актуальные вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов различного назначения. – 2023. – С. 71-74. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54169276> (дата обращения: 17.01.2025).
7. Как потушить возгорание литиевых батарей? – Режим доступа: <https://ru.acebattery.com/blogs/how-to-put-out-a-lithium-batteries-fire> (дата обращения: 27.01.2025). – [Электронный ресурс].
8. Какие аккумуляторы используют электромобили и ждать ли большого прорыва. – 2024. – Режим доступа: <https://krasnov74.ru/2024/01/15/electric-cars-batteries-review-2024/> (дата обращения: 18.01.2025). – [Электронный ресурс].
9. Колчин, В.В. Использование генераторов огнетушащего аэрозоля для тушения пламени литий-ионных аккумуляторов электромобилей / В.В. Колчин, А.С. Крутолапов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 296-298.
10. Королев, А.А. Электрокары и проблема тушения литий-ионных батарей / А.А. Королев, Н.В. Лоскутов, А.Н. Сергиенко. – [Электронный ресурс] // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения. – 2021. – С. 255-259. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46291482> (дата обращения: 07.01.2025).
11. Кравцов, М.Н. Пожарная опасность электро, гибридов и автомобилей / М.Н. Кравцов. – [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/5899> (дата обращения: 22.06.2024).
12. Мельник, А.А. Обзор огнетушащих средств при тушении литий-ионных батарей / А.А. Мельник, Ю.Н. Елисеев, А.В. Мокряк, Д.В. Иванов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2021. – № 2. – С. 33-35.
13. На какие классы делятся пожары - таблица классификации пожаров по виду горючего материала. – Режим доступа: [https://bontel.ru/media/issues/show81/klassifikatsiya\\_pojarov\\_po\\_klassam.html](https://bontel.ru/media/issues/show81/klassifikatsiya_pojarov_po_klassam.html) (дата обращения: 07.01.2025). – [Электронный ресурс].
14. Ризванова, А.Р. Графический анализ выбора оптимального подвижного состава общественного транспорта по критерию загрузки полос движения / А.Р. Ризванова, В.И. Васильева, О.Г. Мартынова и др. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. = Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. – 2018. – № 1 (15). – С. 13.
15. Сперанский, А.А. Определение огнетушащей эффективности азота при возгорании литий-ионных аккумуляторов / А.А. Сперанский, Д.А. Лобов, С.В. Мамагин // НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. – 2019. – С. 32.
16. Сравнительная таблица вторичных батарей. – Режим доступа: <https://virtustec.ru/news/sravnitel'naya-tablica-vtorichnyx-batarej/> (дата обращения: 18.01.2025). – [Электронный ресурс].
17. Харламенков, А.С. Оценка пожарного риска на автостоянках с наличием мест для зарядки электромобилей / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33. – № 1. – С. 94-99.
18. Харламенков, А.С. Пожарная опасность применения литий-ионных аккумуляторов в России / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2022. – Т. 31. – № 3. – С. 96-102.
19. Харламенков, А.С. Системы защиты ячеек и батарейных блоков с литий-ионными аккумуляторами. Часть 2 / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2022. – Т. 31. – № 5. – С. 83-86.
20. Харламенков, А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Часть 1 / А.С. Харламенков // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2023. – Т. 32. – № 1. – С. 89-96.
21. Черкасов, В.Н. ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ И ЭСТАКАД / В.Н. Черкасов, А.С. Харламенков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2011. – № 4. – С. 33-41.
22. Linja-aho, V. Perceived and Actual Fire Safety – Case of Hybrid and Electric Vehicle Fires in Finland 2015–2023 / V. Linja-aho // WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. – 2023. – Т. 19. – С. 1313-1328. DOI: 10.37394/232015.2023.19.119.
23. Ren, R. Statistical analysis of fire accidents in Chinese highway tunnels 2000–2016 / R. Ren, H. Zhou, Z. Hu и др. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2019. – Т. 83. – С. 452-460. DOI: 10.1016/j.tust.2018.10.008.
24. Zhang, D.L. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis / D.L. Zhang, L.Y. Xiao, Y. Wang, G.Z. Huang // Safety science. – 2019. – Т. 117. – Study on vehicle fire safety. – С. 194-204.
25. AB Elektrobrand. – Режим доступа: <https://www.ff-schwaz.at/2019/10/04/fa-daka-spendiert-neuen-abrollbehaelter-elektrobrand/> (дата обращения: 13.01.2025). – [Электронный ресурс].

26. Brennder Tesla muss in Kühlcontainer. – Режим доступа: <https://tirol.orf.at/stories/3015765/> (дата обращения: 13.01.2025). – [Электронный ресурс].

27. Consumer Alert: GM Expands Recall, All Chevrolet Bolt Vehicles Now Recalled | NHTSA : Text. – Mode of access: <https://www.nhtsa.gov/press-releases/recall-all-chevy-bolt-vehicles-fire-risk> (date of access: 27.06.2024). – [Electronic resource].

28. Consumer Alert: Important Ford and Lincoln Fire Risk Recall | NHTSA : Text. – Mode of access: <https://www.nhtsa.gov/press-releases/consumer-alert-important-ford-and-lincoln-fire-risk-recall> (date of access: 27.06.2024). – [Electronic resource].

29. Consumer Alert: Important Jeep “Park Outside” Recall for Fire Risk | NHTSA : Text. – Mode of access: <https://www.nhtsa.gov/press-releases/jeep-cherokee-recall-fire-risk> (date of access: 27.06.2024). – [Electronic resource].

30. Consumer Alert: Kia Issues “Park Outside” Recall for Certain 2020-2024 Telluride Vehicles for Fire Risk | NHTSA : Text. – Mode of access: <https://www.nhtsa.gov/press-releases/kia-telluride-recall-fire-risk> (date of access: 27.06.2024). – [Electronic resource].

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

TJ	RU	EN
Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек	Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек	Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek
н.и.т., дотсент,	к.т.н., доцент	Ph.D., associate professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осими	ТТУ имени акад. М.С. Осими	TTU named after acad. M.S. Osimi
<a href="mailto:mamadamonabdullo@gmail.com">mamadamonabdullo@gmail.com</a>		
ORCID id 0000-0002-6253-5946		
TJ	RU	EN
Абдуллоев Аҳмад Ақдодович	Абдуллоев Аҳмад Ақдодович	Abdullov Ahmad Akdodovich
Муҳандис-механик	Инженер-механик	Mechanical engineer
ҶСК “ТГЭМ”	ОАО “ТГЭМ”	OJSC “TGEM”
<a href="mailto:ahmad.abdullov@tgem.tj">ahmad.abdullov@tgem.tj</a>		

УДК 621.8

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА

И.А. Исмаилов

Таджикский технический университет имени М.С. Осими

Для предварительных проектных расчетов необходимо знать значения коэффициента трения качения. Эти сведения часто отсутствуют как в справочной литературе, так и в сети Интернет. Кроме того, значения коэффициента трения из различных источников часто значительно отличаются. Это связано с методикой проведения испытаний по экспериментальному определению коэффициента трения качения, разбросом значений из-за условий эксперимента, свойствами конкретного материала, конструктивным исполнением кинематической пары и т.д. Поэтому возникает необходимость получения их приближенных значений для проектных расчетов, а также необходимость убедиться в надежности (на что ориентироваться) этих значений. Для этого можно использовать значения коэффициента трения качения, основанные на зависимостях, связанных с механическими характеристиками конструкционных материалов. Разумеется, точность таких оценок невелика и годна только для приближенных расчетов и для верификации значений из различных источников.

**Ключевые слова:** коэффициент, трение, качение, приближенный, значение, механика, характеристика, материал, проект, расчет, верификация.

## БАҲОДИҶИ КОЭФФИЦИЕНТИ СОИШИ ҒЕЛИШ ВОБАСТА АЗ ТАВСИҶОИ МЕХАНИКИИ МАСОЛЕҶ

И.А. Исмаилов

Барои ҳисобҳои пешакии лоиҳавӣ донишҷӯи киматҳои коэффициентҳои соиши ғелиш зарураст. Дар бештари мавридҳо онҳоро ҳам аз маълумотномаҳо ва ҳам аз сомонҳои Интернет дастрас намудан ғайри имкон аст. Ба ғайр аз ин, киматҳои коэффициентҳои соиш дар сарчашмаҳои гуногун аз ҳамдигар назаррас фарқ мекунанд. Ин ҳам аз усулҳои гузаронидаи таҷриба барои муайян намудани коэффициентҳои соиши ғелиш, аз парокандагии киматҳо вобаста аз шароити таҷриба, аз хосиятҳои масолеҳҳои мушаххас, аз соҳти дурусти ҷуфти кинематикӣ ва ғайра вобастагӣ дорад. Бинобар ин зарурати гирифтани киматҳои тахминӣ онҳо барои ҳисобҳои лоиҳавӣ ва зарурияти муътақидии эътимодияти дурустии киматҳои онҳо пайдо мегардад. Барои ин истифодаи киматҳои коэффициентҳои соиши ғелишро, ки бо нишондиҳандаҳои механикии масолеҳҳои конструксионӣ алоқаманданд, истифода намудан мумкин аст. Албата дақиқияти чунин баҳодиҳӣ баланд набуда, танҳо барои ҳисобҳои тахминӣ ва барои дурустии киматҳои аз сарчашмаҳои гуногун гирифташуда мебошад.

**Калидвожаҳо:** коэффициент, соиш, ғелиш, қимат, таҷриба, тавсиҷ, механика масолеҳ, ҳисоб, лоиҳа, верификация.

## ASSESSMENT OF THE ROLLING FRICTION COEFFICIENT DEPENDING ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL

I.A. Ismatov

For preliminary design calculations, it is necessary to know the values of the rolling friction coefficient. This information is often missing both in reference literature and on the Internet. In addition, friction coefficient values from different sources often differ significantly. This is due to the testing methodology for the experimental determination of the rolling friction coefficient, the spread of values due to experimental conditions, the properties of a particular material, the design of the kinematic pair, and so on. Therefore, there is a need to obtain their approximate values for design calculations, as well as the need to ensure the reliability (what to rely on) of these values. To do this, you can use rolling friction coefficient values based on dependencies associated with the mechanical characteristics of structural materials. Of course, the accuracy of such estimates is low and is only suitable for approximate calculations and for verifying values from various sources.

**Keywords:** coefficient, friction, rolling, approximate, value, mechanics, characteristics, material, project, calculation, verification.

Работу силы трения принято оценивать энергией, затрачиваемой на преодоление силы сопротивления относительно движению двух звеньев, составляющих кинематическую пару. Принято различать трение скольжения и трение качения (относительное движение элементов пары – перекатывание). В данной статье рассматривается только сила трения качения.

Сила трения скольжения впервые была качественно проанализирована Амонтоном Г. и доработана позднее Кулоном Ш. Ее величина оценивается по зависимости, которая называется законом Кулона – Амонтона и выражается формулой:

$$F_T = f \cdot N + F_0, \quad (1)$$

где:  $F_0$  – сила межмолекулярного сцепления (адгезии), которая имеет место только в состоянии относительного покоя,  $N$  – реактивная сила (нормальная составляющая силы реакции в паре) в данной кинематической паре,  $f$  – коэффициент трения скольжения.

Позднее Кулоном Ш. была предложена сходная формула для трения качения:

$$F_T = \frac{k}{r} \cdot N, \quad (2)$$

где:  $r$  – характерный размер элемента пары (например, для тела имеющего форму шара или цилиндра это будет радиус),  $k$  – коэффициент трения качения.

Из зависимости (2) следует, что коэффициент трения качения имеет размерность длины, т.е. измеряется в мм. Учитывая, что звенья, составляющие такую пару имеют вращательное движение, трение качения часто выражают в виде момента трения качения:

$$M = N \cdot k. \quad (2^1)$$

Учитывая, что поверхности соприкосновения звеньев, образующих кинематическую пару (т.н. элементы пары), имеют шероховатую поверхность, т.е. соприкасаются не по плоскостям или поверхностям, а по выступам неровностей на их поверхностях. В точке контакта мгновенная скорость относительного движения равна нулю и для получения относительного движения элементов пары необходимо преодолеть силы межмолекулярного сцепления или т.н. силу адгезии. Удельная величина (плотность) этой силы очевидно зависит от свойств материала или, иначе говоря, от механических характеристик материала. Рассмотрим для конкретности (с целью облегчения объяснения и понимания) кинематическую пару, образованную цилиндром радиуса  $r$  и веса  $m \cdot g$ . В такой паре нормальную силу реакции можно принять равной  $N = m \cdot g$ .

Под действием силы  $N$  произойдет деформация выступов и образуются площадки контакта. Их величину можно оценить по следующему предположению: сила давления  $N$  должна быть уравновешена силой упругости деформированных выступов или, иначе говоря, можно написать:

$$N = m \cdot g \sim G_T \cdot A, \quad (3)$$

где  $G_T$  – предел текучести, т.е. напряжение, при котором имеет место начало деформирования выступов (пластическая деформация) и образования площадок контакта,  $A$  – площадь образующихся площадок контакта.

Удельную силу прилипания поверхностей (площадок контакта) друг к другу можно оценить считая, что она зависит от механических характеристик материала:  $E$  – модуля упругости первого рода и  $G_T$  – предела текучести материала. Т.к. удельная сила прилипания поверхностей друг к другу имеет размерность силы, деленной на площадь, и точно такую размерность имеют величины  $E$  и  $G_T$ , то разумно связь между ними выразить следующим соотношением:

$$f \sim \sqrt{E \cdot G_T}. \quad (4)$$

Полная сила прилипания двух поверхностей друг к другу определяется по формуле:

$$F_{\text{пр}} = f \cdot A \sim \sqrt{E \cdot G_T} \cdot \frac{N}{G_T} \sim N \cdot \sqrt{\frac{E}{G_T}}. \quad (5)$$

Сила прилипания (адгезии) образует под цилиндром площадку контакта и распределяется по закону параболы, сдвинутой в сторону перекатывания цилиндра; величина сдвига равна т.н. коэффициенту трения качения  $k$ . Приняв силу, необходимую для движения (движущую силу) как  $F_D$ , из рассмотрения сил, действующих на цилиндр, получим следующее соотношение:

$$F_D \cdot r = F_{\text{пр}} \cdot k. \quad (6)$$

Масса цилиндра найдется по формуле:

$$m = \pi \cdot r^3 \cdot \rho,$$

где  $\rho$  – плотность материала цилиндра, при этом длина цилиндра принята равной характерному размеру  $r$ .

Тогда значение реактивной силы в паре составит:

$$N = m \cdot g = \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g.$$

Откуда находим движущую силу, необходимую для перекатывания цилиндра по плоскости:

$$F_D = \frac{F_{\text{пр}} \cdot v}{r}, \quad (7)$$

где  $v$  – половина ширины полосы контакта, которая связана как с весом цилиндра, так и с модулем упругости первого рода  $E$ .

Зависимость между половиной ширины полосы контакта и модулем упругости первого рода имеет вид:

$$v = \sqrt{\frac{N}{E}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g}{E}}. \quad (8)$$

Для нахождения величины движущей силы нужно оценить соотношение между коэффициентом трения качения и радиусом цилиндра (характерным размером тела). Из выражения (2) находим величину оценки коэффициента трения качения:

$$k = \frac{F_D \cdot r}{F_{\text{пр}}} \sim \sqrt{\frac{E}{G_T}} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g}{E}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g}{G_T}}. \quad (9)$$

Произведем приближенные расчеты, приняв следующие значения (материал - сталь по стали для марки Ст 45):  $G_T = 360$  МПа,  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>,  $\rho = 7,81 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $r = 1$  см = 0,01 м. Подставляя эти значения в формулу (9), получим:

$$k = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 0,01^3 \cdot 10 \cdot 7,81}{360 \cdot 10^6}} = 0,0261 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,0261 \text{ мм}.$$

В литературе приводятся самые разнообразные значения коэффициента трения качения стали по стали для цилиндра в таком диапазоне:  $k = 0,01 - 0,6$  мм (в качестве расчетного примем среднее значение

= 0,3 мм). Выполним подобные расчеты и для других типов материала (радиус цилиндра везде сохраним равным  $r = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$ ). Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициента трения качения для пар трения из различных материалов

№	Материал	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	E, МПа	$G_T$ , МПа	Общепринятый $k$ , мм	Расчетный $k$ , мм
1	Сталь по стали	7810	$2 \cdot 10^6$	360	0,3	0,0261
2	Сталь по алюминию	2750	$65 \cdot 10^3$	260	-	0,0182
3	Сталь по бронзе	8760	$120 \cdot 10^3$	200	-	0,0371
4	Сталь по текстолиту	1380	$10 \cdot 10^3$	78	0,04 (дереву)	0,0236

Значения коэффициента трения качения для большинства пар трения широко распространенных материалов найти не удалось.

### Выводы

Поскольку значения коэффициента трения качения (получены экспериментальным способом для конкретного материала и в конкретных условиях) для большинства материалов установить точно невозможно (нет информации или данные из различных источников сильно отличаются друг от друга), то имеет смысл для приближенных (оценочных) расчетов и для выбора достоверного источника использовать их возможные оценки на основе известных механических характеристик материалов (легко доступная информация). В статье рассмотрена связь значения коэффициента трения качения с модулем упругости первого рода E (деформация сжатия – растяжения), плотностью материала  $\rho$  и пределом текучести материала  $G_T$ . Значения коэффициента, естественно, носят приближенный (оценочный) характер.

*Рецензент: Умирзоқов А.М – к.т.н., доцент кафедри «Эксплуатация автомобильного транспорта» ЛЭТУ имени академика М.С. Осими*

### Литература

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин. учебник для вузов / И.И. Артоболевский; под редакцией В.А. Зиновьев, Н.В. Сперанский. - Москва: Изд-во Наука, 1975 - 640с.
2. Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов / Г. А. Тимофеев. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт, 2024. - 432с.
3. Фролов, К.В. Теория механизмов и механики машин: учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов; под редакцией К.В. Фролов: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. -664с. ISBN 5-7038-1766-8.
4. Коловский, М.З. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов по машиностроит. спец. / М.З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2008-460с.
5. Матвеев, Ю.А. Теория машин и механизмов: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Матвеев, Л.В. Матвеева - М.: Альфа - М, ИНФРА-М 2009 - 320 с. ISBN 978-5-98281-150-9
6. Иванов, М. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов - 12-е изд. испр. - М.: Высш. школа, 2008. — 408 с.
7. Вереина, Л.И. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л. И. Вереина, М. М. Краснов. — 7-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 352 с. ISBN 978-5-4468-0036-0
8. R.S.Khurmi, J.K.Gupta Machinal Design (S.I.Units)-Ram Nagar, New Delhi-110055, 2005 – 1054 p.
9. Shigley’s Mechanical Engineering Desing – The McGraw -Hill Companies, 2008 – 1054 p.
10. Акрамов, Б.Н. К проектированию конической фрикционной передачи с параллельными валами / Б.Н. Акрамов, И.А. Исмагов, М.А. Тошев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. №1. С. 60-68. DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_60.

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

TJ	RU	EN
Исмагов Исмоилҷон Аҳмадович	Исмагов Исмоилдҷон Аҳмадович	Ismatov Ismoiljon Akhmadovich
н.и.т., иҷро кунандаи вазифаи дотсенти кафедраи «Чузуъҳои мошин ва мошинҳои соҳумонию роҳсозӣ»	к.т.н., и. о. доцента кафедры «Детали машин и строительно-дорожные машины»	Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Machine Parts and Road Construction Machines
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:ismatov.ismoiljon@mail.ru">ismatov.ismoiljon@mail.ru</a>		

УДК 621.8

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРУЖИН КРУЧЕНИЯ В ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Б.Н. Акрамов

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

В данной работе рассмотрена возможность использования упругих элементов в шарнирно-рычажных механизмах с целью повышения эффективности работы шарнирно-рычажных механизмов машин различного назначения в современных условиях, требующих повышения скоростных режимов работы механизмов машины и расширения их технологических возможностей. Расширение технологических возможностей заключается в создании энергоёмких периодов в движении машины (для реализации технологической задачи) упругими элементами. Рассмотрены два типа упругих элементов – пружина сжатия – растяжения и пружина кручения. Установлена конструктивная возможность их установки на звеньях механизма в зависимости от вида движения звена. Вклад упругих элементов состоит в их способности аккумулировать энергию упругой деформации и «выдавать» ее в необходимое время. За счет этого появляется возможность использовать энергосберегающие режимы работы машины.

**Ключевые слова:** механизм, упругие элементы, пружина сжатия – растяжения, пружина кручения, возможность использования, аккумуляция энергии упругой деформации.

## ТАҲЛИЛИ ИМКОНИЯТҲОИ ИСТИФОДАИ ПРУЖИНАИ ТОБХУРӢ ДАР МЕХАНИЗМҲОИ ШАРНИРИЮ-ФАШАНГӢ БАРОИ ТАҒӢИР ДОДАНИ ХОСИЯТҲОИ ДИНАМИКИИ ОНҲО

Б.Н. Акрамов

Дар кори мазкур имконияти истифодаи элементҳои чандири дар механизмҳои шарнирию-фашангӣ бо мақсади баланд бардоштани самарабахшии кори механизмҳои шарнирию-фашвангии мошинҳои таиноташон гуногун дар шароити муносиб, кӣ баланд бардоштани речаҳои суръати кори механизму мошинҳо ва васеъшавии имкониятҳои технологияи онҳоро талаб менамояд. Васеъшавии имкониятҳои технологӣ дар сохтани марҳалаҳои энергияталаб, ҳангоми ҳаракати мошин (барои татбиқи вазифаи технологӣ) бо элементҳои чандириро дар бар мегиранд. Ду намуди элементҳои чандири-пружинаи фишурдашавӣ, ёзандагӣ ва пружинаи тобхуранда дида баромада шудааст. Имконияти конструктиви ҷойгиршавии онҳо дар звеноҳои механизм вобаста аз намуди ҳаракати звено муқарар карда шудааст. Саҳми элементҳои чандири дар қобилияти аккумуляции энергия бо деформатсияи чандири ва “таладиҳи” он дар вақти зарурӣ иборат аст. Аз ҳисоби ин, имконияти истифодаи речаҳои кори энергия захира кунандаи мошин пайдо мегардад.

**Калид вожаҳо:** механизм, элементҳои чандири, пружинаи фишурдашавӣ-ёзиш, пружинаи тобхурӣ, имконияти истифода, аккумуляции энергия бо деформатсияи чандирӣ.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING TORSION SPRINGS IN HINGED LEVER MECHANISMS TO CHANGE THEIR DYNAMIC PROPERTIES

B.N. Akramov

This paper examines the possibility of using elastic elements in articulated-lever mechanisms in order to increase the efficiency of the articulated-lever mechanisms of machines for various purposes in modern conditions that require increasing the speed modes of operation of machine mechanisms and expanding their technological capabilities. Expansion of technological capabilities consists in creating energy-intensive periods in the movement of the machine (to implement a technological task) with elastic elements. Two types of elastic elements are considered: a compression-tension spring and a torsion spring. The constructive possibility of their installation on the links of the mechanism has been established, depending on the type of movement of the link. The contribution of elastic elements is their ability to accumulate the energy of elastic deformation and “release” it at the required time. Due to this, it becomes possible to use energy-saving operating modes of the machine.

**Keywords:** mechanism, elastic elements, compression – tension spring, torsion spring, possibility of use, accumulation of elastic deformation energy.

Анализ работ по совершенствованию рабочих органов машин различного назначения показывает, что дальнейшее совершенствование конструкций этих машин и их рабочих органов должно быть направлено на повышение скоростных режимов работы механизмов машины, расширение технологических возможностей применения машины, позволяющих получение качественных продуктов конечного назначения. При этом особенно интересным с точки зрения экономики и технологии представляется возможность ресурсосбережения на этих машинах при их эксплуатации.

Динамика шарнирно-рычажных механизмов зависит от массово-геометрических характеристик звеньев механизма, от привода механизма (чаще всего это электродвигатель асинхронный короткозамкнутого типа, связанный с исполнительным механизмом – рабочим органом машины – через специальный привод; достаточно часто применяется двигатель внутреннего сгорания, и весьма редко используются пневмомоторы или гидромоторы) и условий рабочего режима. Качество работы рабочего органа машины в значительной степени зависит от динамики механизма, т.е. его силовых и кинематических характеристик. Включение в состав механизма упругих элементов дает возможность по-новому оценить динамику шарнирно-рычажных механизмов. Упругие элементы, включенные в состав механизма, позволяют аккумулировать энергию на режиме холостого хода и использовать ее на этапе рабочего хода.

Известно, что в некоторых шарнирно-рычажных механизмах имеет место использование упругих элементов типа рессор, резины, пружин различного типа. Их использование обычно связано с вопросами повышения точности механизмов путем компенсации зазоров в кинематических парах, для минимизации

тепловых, деформационных и износных зазоров и люфтов, в качестве упругих амортизаторов и т.п. В этих случаях в основном предлагается использование пружин сжатия-растяжения. Этот выбор обоснован тем, что такие пружины удобны в эксплуатации (легкость и удобство расположения пружин и устойчивость их связи со звеньями механизма, легкость и простота расчета, конструктивно-геометрические соображения при проектировании всей конструкции и т.д.). [1-4].

Например, рассмотрим примеры использования механизма кривошипно-ползунного четырехзвенника КП-4 (самый распространённый механизм в промышленных установках) в механизме игловодителя швейной машины (рис.1 а, б). В нем предлагается использование пружин сжатия-растяжения при различных возможностях их композиционного расположения [5-8].

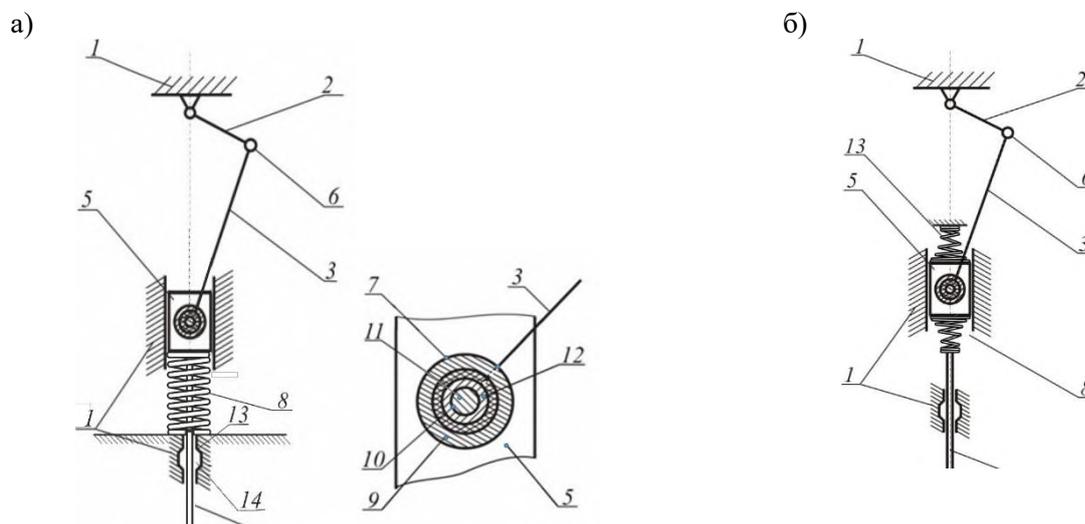


Рисунок 1 – кривошипно-ползунный четырёхзвенник с упругим элементом  
 а) Механизм игловодителя швейной машины с одной пружиной растяжения  
 б) Механизм игловодителя швейной машины с двумя пружинами сжатия - растяжения

На рис. 1,а показана общая схема механизма игловодителя швейной машины.

Составными частями механизма игловодителя швейной машины являются кривошип 2, который установлен в корпусе 1 и прикреплён на левом конце главного вала (на рисунке не показан). Другим концом кривошип 2 при помощи шарнира 6 связан с шатуном 3. Игловодитель, выполненный составным из верхней (ползун) 5 и нижней частей 4, между верхней частью игловодителя (ползуном) 5 и корпусом 1 установлена пружина растяжения 8. Шатун 3, в свою очередь, при помощи шарнира контактирует с верхней частью игловодителя (поршня) 5, при этом нижняя часть 4 движется в направляющих 13, которые выполнены ступенчато. Одновременно с этим отверстие 14 по середине направляющего 13 сделано с большим диаметром по отношению к диаметрам на краях направляющего 13, по этой причине часть направляющего 13 не сопрягается с поверхностью нижней части игловодителя 4. Шарнир 7 сделан составным с упругой втулкой 10.

Пружина растяжения 8 выполняет две функции – во-первых, она ускоряет движение игловодителя, во – вторых при прокалывании иглой шиваемых материалов обеспечивает определенную (небольшую) амортизацию движения игловодителя 4 за счет чего обеспечивается сохранность иглы (предохранение от деформации изгиба или поломки).

Известно, что в кривошипно-шатунных механизмах в мертвых положениях поршня (крайние нижнее или верхнее положения, при которых шатун и кривошип вытягиваются в единую линию) инерционные силы имеют максимальные значения. Это может послужить, в некоторых случаях, к ускоренному выходу из строя шарнира, который находится между шатуном и поршнем [2].

Ввиду этого, в рекомендуемом механизме игловодителя швейной машины для амортизации инерционных сил, шарнир 7 между шатуном 3 и верхней части 5 игловодителя изготовлен составным, которые включают упругую (резиновую) втулку 10. В процессе работы механизма игловодителя за счет деформации резиновой втулки 10 значительно уменьшаются инерционные силы. Кроме того, в нижнем крайнем положении игловодителя (с иглой) за счет деформаций пружины растяжения 8 и резиновой втулки 10 обеспечивается требуемой высотой, что позволяет обеспечить необходимое движение, требуемое технологией образования стежка [9]. Подобная конструкция механизма игловодителя дает значительное повышение надежности работы швейной машины.

В механизме на рис.1, б к верхней части поршня 5 игловодителя присоединена прямая коническая пружина 13, малое основание которой прикреплено к корпусу 1 механизма. В процессе работы, совершая

рабочие движения, нижняя часть 4 игловодителя сжимает конические пружины 8, 13, что позволяет им аккумулировать определенную часть энергии движения при холостом ходе, чтобы затем возвратить ее механизму на этапе рабочего хода.

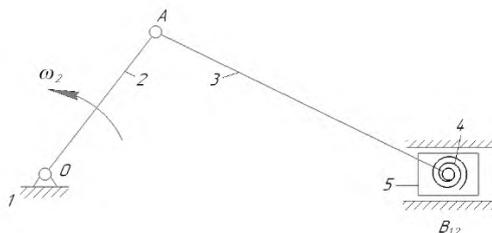


Рисунок 2 – кривошипно-ползунный четырехзвенник с пружиной кручения

Рассмотрим возможность применения пружин кручения (как рассмотрено выше пружина сжатия - растяжения может быть установлена (для выполнения функции аккумулирования энергии) только на кривошипе 2) на звеньях рассматриваемого механизма кривошипно-ползунного четырехзвенника КП-4 (рис.2). Особенностью пружин кручения (также, как и пружин сжатия –растяжения) является то, что их практически (и теоретически тоже!) возможно установить не на всех звеньях механизма. Это определяется как видом движения звена, так и конструктивными особенностями его исполнения. Известно, что звенья шарнирно-рычажных механизмов (к которым и относится рассматриваемый нами механизм) могут совершать 4 вида движения: прямолинейно-поступательное, вращательное одностороннее, плоскопараллельное и сложное. Все эти виды движения и возможность их совершения определяются видом звеньев механизма (ползун, кривошип, коромысло, шатун, кулисный камень или кулиса), а также видом (пары высшего и пары низшего классов) и типом кинематических пар (вращательная пара пятого класса, поступательная пара пятого класса и т.д.) которыми эти звенья связаны друг с другом [10].

На ведущем звене механизма – кривошипе 2 – расположение пружины кручения невозможно даже теоретически. Кривошип совершает полнооборотное одностороннее вращение, поэтому пружина кручения не смогла бы выполнять свою функцию накопления упругой энергии деформации кручения из-за своей полочки. Шатун 3 совершает плоскопараллельное движение - комбинацию поступательного со скоростью шарнира А и вращательного движения шарнира А вокруг шарнира В. Установка пружины кручения ни на звене 3 (при опоре на звено 2), ни на звене 2 (при опоре на звено 3) невозможна (так между этими двумя звеньями имеет место относительное вращательное движение при необходимости иметь неподвижную опору). Установка пружины кручения на ползуне 5 невозможна из-за совершения этим звеном поступательного движения. Итак, установка пружины кручения в данном механизме возможна только во вращательной паре 5-го класса В<sub>1</sub>, соединяющей ползун 5 с шатуном 3. В этом случае между этими звеньями мы имеем возвратно-вращательное относительное движение, которое позволяет режим аккумулирования и использования энергии упругой деформации [10-13].

## Заключение

Упругие элементы типа пружина сжатия – растяжения и пружина кручения могут быть использованы в конструкции шарнирно-рычажного механизма с учетом вида движения звеньев механизма и конструктивного исполнения звеньев и кинематических пар механизма. Рассмотрение проводилось на примере механизма КП-4. Рассмотренные два типа пружин – пружина растяжения, сдвоенная пружина сжатия-растяжения, одинарная пружина кручения. Вариант использования упругого элемента обеспечивает подпитку энергии механизма в нужный момент времени при работе механизма в энергосберегающем режиме.

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

## Литература

1. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин – М.: Наука, 1975. -С. 125-127.
2. Вальщиков Н.М. Расчет и проектирование машин швейного производства. М.: 1980.
3. Маракушев Е.А. и др., Машины швейного производства. Конструкция, расчет и
4. основы проектирования – Киев, Техника, 1967. - 324 с.
5. Насимова М.М. “Хисоби кувваи соиш дар чуфти кинематикии даврзанандаи синфи панчум бо тасмаи каддӣ” GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2019: CENTRAL ASIA 27.09.2019. Республика Казахстан, 010000, г. Нур-Султан
6. Тимофеев Г.А. Теория машин и механизмов - М.: Юрайт, 2013 - 351 с.
7. Фролов К.В. Теория машин и механизмов/учебник для вузов - М.: Высш. шк., 2005 - 496 с.
8. Коловский М.З. Теория механизмов и механика машин-М.: Академия, 2008 -560 с.
9. Матвеев Ю.А., Матвеева Л.В. Теория машин и механизмов - М.:Алфа - М, 2009 - 320 с.

10. Иванов М. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов/М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. — 12-е изд. испр. — М.: Высш. шк., 2008. — 408 с.
11. Вереина Л.И., Краснов М.М. Техническая механика - М.: Академия, 2013 - 352 с.
12. R.S.Khurmi, J.K.Gupta Machinal Design (S.I.Units)-Ram Nagar, New Delhi-110055, 2005 – 1054 p.
13. Shigley’s Mechanical Engineering Desing – The McGraw -Hill Companies, 2008 – 1054 p.
14. Акрамов, Б.Н. К проектированию конической фрикционной передачи с параллельными валами / Б.Н. Акрамов, И.А. Исмамов, М.А. Тошев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. №1. С. 60-68. DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_1\_60

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

TJ	RU	EN
Акрамов Баҳром Ниязович н.и.т., дотсенти кафедраи «Чузъҳои мошин ва мошинҳои соҳумонию роҳсозӣ»	Акрамов Баҳром Ниязович к.т.н., доцент кафедри «Детали машин и строительно-дорожные машины»	Akramov Bahrom Niyazovich Ph.D., acting Associate Professor, machine parts and road construction machines
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номӣ академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academic M.S.Osimi
E-mail: <a href="mailto:ismatov.ismoiljon@mail.ru">ismatov.ismoiljon@mail.ru</a>		

## РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВИБРОНАГРУЖЕННОСТИ РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ПРОМЫШЛЕННОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА

<sup>1</sup>А.А. Абызов, <sup>1</sup>К.Дж Мухиддинзода

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет

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

В работе представлена методика расчетной оценки низкочастотной вибрационной нагруженности рабочего места оператора промышленного трактора с полужесткой подвеской. Рассматривается вибровозбуждение, вызванное движением опорных катков по ветви гусеницы, находящейся на податливом грунте. Для расчетных исследований использована математическая модель, описывающая динамику системы «гусеничный движитель – корпус- кабина- виброзащитное сиденье-водитель». Случайное кинематическое возбуждение формируется при расчете движения по грунту с переменной скоростью. Функции спектральной плотности вертикальных ускорений на подушке сиденья водителя получают с помощью спектрального метода. Расчеты выполняют для движения трактора по различным грунтам и с различной скоростью, а также для водителей с различной массой тела. Сопоставление этих данных с предельными значениями позволяет проверить выполнение санитарных норм по уровню вибрации. В случае необходимости динамические характеристики виброзащитного кресла и системы виброизоляции кабины трактора могут быть скорректированы. В работе представлены результаты расчетных исследований для трактора производства Челябинского тракторного завода и рекомендации по снижению вибронагруженности рабочего места водителя.

**Ключевые слова:** гусеничный трактор, грунт, вибрационная нагруженность, спектральный метод, виброизоляция, виброзащитное сиденье.

## ТАҶИҚИ ҲИСОБӢ ВА ТАВСИЯҶО ДАР БОРАИ КАМ КАРДАНИ САРБОРИИ ЛАРЗИШИ ҶОИ КОРИ РОНАНДАИ ТРАКТОРИ ТАСМАЧАРХИ САНОАТӢ.

А.А. Абызов, К.Ҷ. Мухиддинзода

Дар мақола методикаи ҳисоби барои баҳодихи, ларзишҳои пастрасомадипайдошаванда аз таъсири раиши катогҳои тақиягии механизми гашти тасмачархи ба ҷойи кории оператори идорақунандаи тракторҳои саноатӣ пеш оварда шудааст. Барои гузаронидани таҷқиқот ва ҳисоби он, аз модели математикӣ, тавсифқунандаи ҳолати динамикии системаи омузишшаванда, ҳаракатқунандаи тасмачархӣ – корпус – кабина – курсии нишастии оператор (аз ларзиш муҳофизатқунанда) истифода карда шудааст. Барангезшавии ногаҳои кинематикӣ аз ҳисоби ҳаракати трактор дар роҳҳои гуногунсифҳо бо суръатҳои ҳархела мушоҳида карда мешавад. Барои муайян намудани таъсири ларзиш дар курсии оператори оператор аз усули спектралӣ истифода карда дар он вариантҳои гуногуни вази оператор низ ба назар гирифта шудааст. Муқоисаи ин тафсилотҳо бо арзишҳои маҳдуд имкон медиҳад, ки риояи меъёрҳои санитарӣ барои сатҳи ларзиш тафтиш шавад. Дар мавриди зарурӣ маълумотҳои динамикии курсии аз ларзиш тобовар ва системам аз ларзиши кабинаи тракторҳо-ро танзим кардан мумкин аст. Дар мақола натиҷаҳои таҷқиқоти ҳисоббарории тракторе, ки заводи трактори Челябинск истеҳсол мекунад ва тавсияҳо оид ба кам кардани сарбории ларзиш дар ҷои кори ронанда пешниҳод шудааст.

**Калидвожаҳо:** трактори тасмачарх, хок, борқунии ларзиш, усули спектралӣ, изолятсияи ларзиш, курсии аз ларзиш муҳофизат шаванда.

## CALCULATION STUDIES AND RECOMMENDATIONS FOR REDUCING VIBRATION LOADING IN THE OPERATOR'S WORKPLACE OF AN INDUSTRIAL TRACKED TRACTOR

A.A. Abyzov, K.J. Mukhiddinzoda

The paper presents a methodology for calculating and evaluating the low-frequency vibration load at the operator's workstation of an industrial tractor with a semi-rigid suspension. The study considers vibration excitation caused by the movement of support rollers along the track segment on a deformable surface. A mathematical model describing the dynamics of the "tracked propulsion system – body – cabin – vibration-isolating seat – operator" system was used for the calculations. Random kinematic excitation is simulated by modeling the tractor's movement on soil at variable speeds. The spectral density functions of the vertical accelerations at the seat cushion of the driver are obtained using the spectral method. Calculations are performed for tractor operation on various soil types and at different speeds, as well as for drivers with different body weights. Comparing these results with the permissible values allows for assessing compliance with sanitary norms for vibration levels. If necessary, the dynamic characteristics of the vibration-isolating seat and the cabin's vibration isolation system can be adjusted. The study presents the results of computational studies for a tractor manufactured by the Chelyabinsk Tractor Plant and provides recommendations for reducing vibration load at the operator's workstation.

**Keywords:** tracked tractor, soil, vibration load, spectral method, vibration isolation, vibration-isolating seat.

### Введение

При разработке новых моделей промышленных тракторов важной задачей является обеспечение выполнения санитарных норм по вибрациям на рабочем месте водителя. Особенно остро эта проблема стоит для гусеничных тракторов с полужесткой подвеской. При движении такой машины вибрации, вызванные работой движителя, практически без ослабления передаются на корпус. На основании результатов экспериментальных исследований, выполненных Д.В. Хрипуновым [2, 10], установлено, что при движении трактора основным источником низкочастотных вибраций являются вертикальные перемещения гусеничной тележки, вызванные движением опорных катков по звенчатой гусенице, лежащей на податливом грунте. Для снижения уровня вибраций на рабочем месте водителя широко используются виброизоляция кабины, а также специальные виброзащитные сиденья.

Для обоснованного выбора параметров виброизоляции при проектировании машин в настоящее время широко используется математическое моделирование. В статье представлена методика расчетной оценки вибрационной нагруженности рабочего места, а также приведены результаты исследований для гусеничного трактора с полужесткой подвеской производства Челябинского тракторного завода.

## 1. Методика расчетной оценки виброускорений на месте водителя

Предлагаемая методика предусматривает проведение расчетных исследований с помощью специально разработанной математической модели, описывающей динамику системы «гусеничный движитель – корпус- кабина- виброзащитное сиденье- водитель». Поскольку нормативными документами предусматривается экспериментальная оценка вибронгруженности при движении трактора по ровному участку трассы [3,4], при моделировании источником вибровозбуждения служит только взаимодействие опорных катков со звенчатой гусеницей, лежащей на ровном податливом грунте. Математическая модель включает модель гусеничной тележки, построенной в пакете Ansys Motion, а также модель подсистемы «корпус- кабина- виброзащитное сиденье- водитель» [12].

Исследованию динамических характеристик виброзащитных сидений и разработке их математических моделей посвящен целый ряд работ, например, [5, 6, 7]. В данной работе использована многомассовая модель, описывающая динамику подсистемы «виброзащитное сиденье- водитель». Рассматривается сиденье фирмы Sibeco с пневматической рессорой. Параметры модели определены для водителей различной массы тела [1, 7]. В связи с тем, что колебания, вызванные звенчатостью гусеницы, имеют малую амплитуду, динамическая система рассматривается как линейная, для получения функции спектральной плотности виброускорений использован спектральный метод [11].

Методика расчетной оценки вибрационной нагруженности рабочего места водителя предполагает последовательное выполнение следующих этапов:

1) Моделируют движение тележки с заданной скоростью по рассматриваемому грунту, при этом к тележке приложены силы, соответствующие весу корпуса трактора и сопротивлению движения. В результате расчета получают процессы изменения во времени вертикальных и угловых перемещений тележки. Расчеты проводят для грунтов и скоростей движения, характерных для эксплуатации рассматриваемого трактора; при этом учитываются вариации скорости, вызванные переменными силами сопротивления движению.

2) Из полученных процессов формируют спектральные плотности случайных процессов углового и вертикального перемещений тележки, соответствующие движению трактора с переменной скоростью. Далее они используются в качестве характеристик входного воздействия для динамической системы «корпус трактора – кабина – кресло с водителем».

3) С помощью спектрального метода получают функции спектральной плотности вертикальных ускорений на рабочем месте и, при необходимости, для различных частей тела водителя.

Средние квадратические значения виброускорений в стандартных третьоктавных полосах частот  $Az_i$  получают, интегрируя функцию спектральной плотности виброускорений  $S\ddot{z}(f)$ :

$$Az_i = \int_{F_{ni}}^{F_{ei}} 2\pi S\ddot{z}(f)df \quad (1)$$

где  $F_{ei}$ ,  $F_{ni}$  – граничные частоты третьоктавных полос.

Расчеты выполняют для движения трактора по различным грунтам и с различной скоростью, а также для водителей с различной массой тела. Из полученных результатов выбирают вариант с наибольшей вибрационной нагруженностью.

В соответствии с действующими стандартами предусмотрено два варианта оценки воздействия вибрации на человека:

1) Спектральная оценка, которая характеризует распределение средних квадратических значений ускорений по октавным или третьоктавным полосам. Значения виброускорений в этих полосах сравнивают с предельно допустимыми значениями из нормативной литературы.

2) Интегральная оценка виброускорений, которая получается в виде числовой характеристики как сумма квадратов, скорректированных по частотам средних квадратических значений ускорений. Полученное значение также сравнивается с предельным значением из нормативных документов. Предельные значения для этих оценок приведены в [9].

В данной работе использована спектральная оценка в третьоктавных полосах частот; рассмотрен низкочастотный диапазон (до 10 Гц).

Сопоставление результатов расчетов с предельными значениями позволяет проверить выполнение санитарных норм по уровню вибрации. В случае необходимости динамические характеристики виброзащитного кресла и системы виброизоляции кабины трактора могут быть скорректированы.

## 2. Проверка адекватности модели

Для проверки адекватности предлагаемой методики было выполнено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными, полученными при полигонных натурных исследованиях отделом испытаний ЧТЗ и с результатами расчетов, полученными Ю.О. Прониной [8] (рисунок 1).

Анализ этих данных показывает их хорошее качественное соответствие. Максимальные уровни виброускорений регистрируются в полосах с центральными частотами 5 и 10 Гц. Виброускорения в полосах 6,3 и 8 Гц также находятся вблизи предельных значений. Максимальное отличие результатов расчета от экспериментальных данных ЧТЗ не превышает 15%, отличие от результатов Ю.О. Прониной не превышает 18%. Учитывая возможные отличия условий натуральных испытаний от принятых в расчете, такую погрешность можно считать вполне приемлемой.

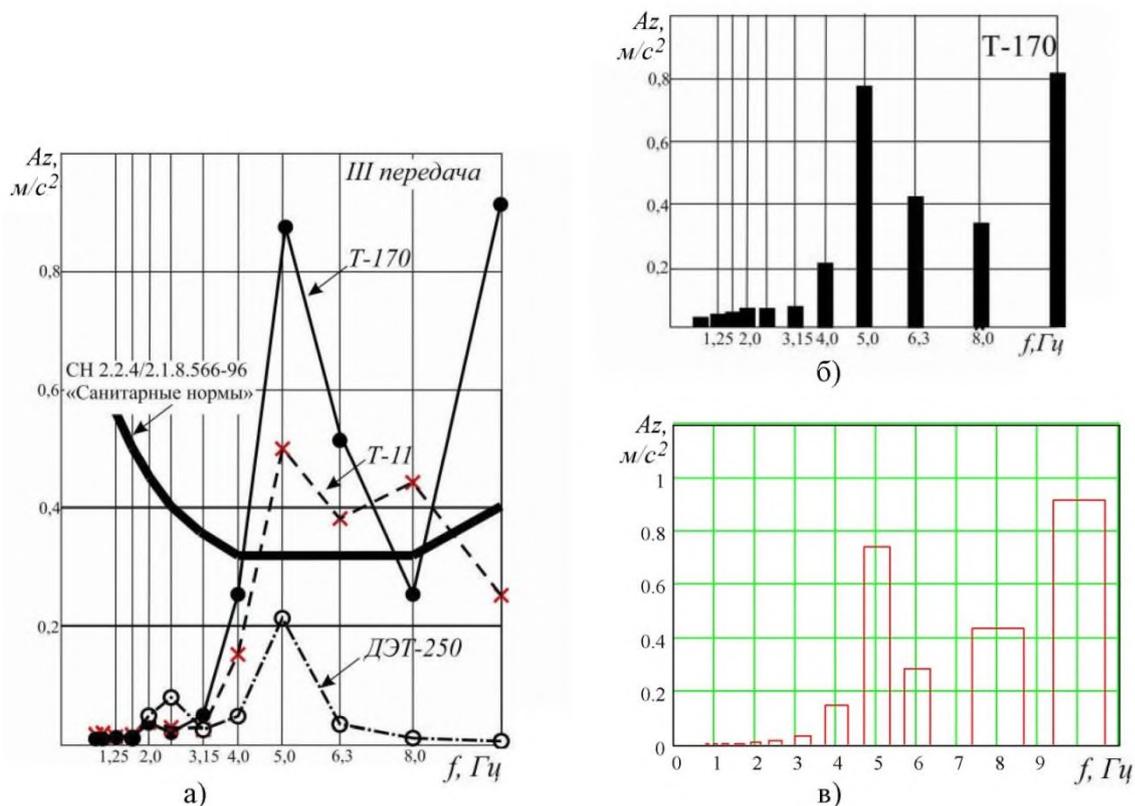


Рисунок 1 – Средние квадратические значения виброускорений в третьоктавных полосах: а) результаты расчета Ю.О. Прониной, б) результаты натуральных исследований (данные ЧТЗ), в) результаты расчета по предлагаемой модели

### 3. Исследование влияния условий и режимов движения на вибронегруженность рабочего места оператора

По разработанной методике проведена серия расчетных исследований, направленных на изучение влияния различных факторов на вибрационную нагруженность оператора промышленного трактора. Расчеты выполнены на примере трактора Т-170 производства ЧТЗ, вариант с 5-катковой гусеничной тележкой. Поскольку расчетные исследования направлены на прогнозирование результатов натуральных испытаний, при задании исходных данных следует ориентироваться на приводимые в стандартах условия проведения стендовых испытаний виброзащитных сидений и полигонных испытаний тракторов. Так, ГОСТ 27259–2006 (ИСО 7096:2000) [3] при испытаниях сиденья на вибростенде предписывает проводить испытания с двумя испытателями – массой 52 - 53 и 98 - 103 кг. В соответствии с [4] при оценке уровня вибраций на рабочем месте во время полигонных испытаний требует участия испытателя с массой тела  $75 \pm 5$  кг. В связи с этим расчетные исследования проводились для водителя массой 73 кг. При исследованиях влияния массы тела на вибрационную нагруженность дополнительно проводились расчеты для испытателей с массой тела 52 и 118 кг. Расчеты проводились для грунтов трех видов: супесь (мягкий грунт), суглинок и плотная глина (жесткий грунт). Результаты расчетов представлены в виде значений средних квадратических виброускорений на рабочем месте водителя в третьоктавных полосах. На рисунках также показана верхняя граница санитарных норм для 8-часового рабочего дня.

На рисунке 2 представлены результаты расчетов для движения на второй передаче по трассам с различным грунтом. Наибольшие виброускорения зафиксированы при движении по жесткому грунту (глина) в полосе с центральной частотой 10 Гц.

Влияние скорости движения на виброускорения показано на рисунке 3 для двух видов грунта. Как правило, большим ускорениям соответствует движение с большей скоростью. Однако в полосе с центральной частотой 10 Гц наибольшие значения зафиксированы при движении на I передаче. Это связано с тем, что в этом режиме одна из высших гармоник внешнего воздействия совпадает с максимумом передаточной функции динамической системы.

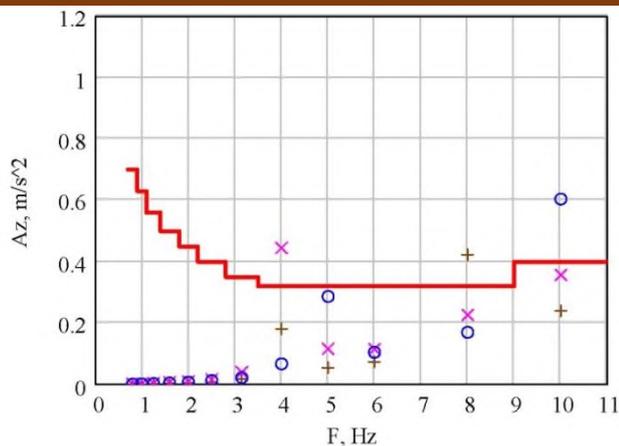


Рисунок 2 – Средние квадратические значения виброускорений на месте водителя при движении по различным грунтам (II передача):

— — верхняя граница санитарных норм,  
 + — супесь, x — суглинок, o — глина

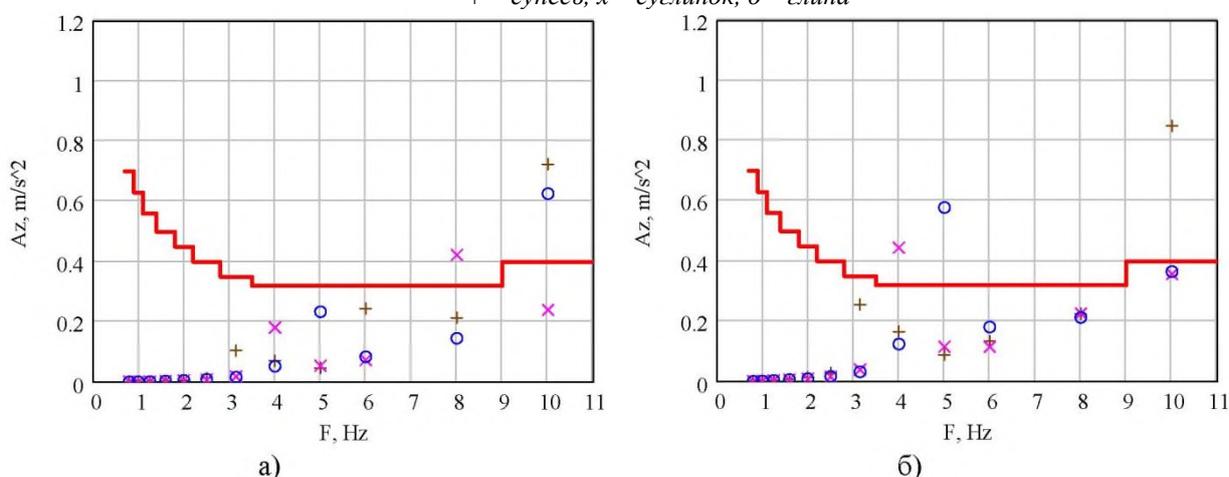


Рисунок 3 – Средние квадратические значения виброускорений на месте водителя при движении с различной скоростью: а) супесь, б) суглинок;

+ — I передача; x — II передача, o — III передача

Влияние массы водителя иллюстрирует рисунок 4 (движение трактора по суглинку-грунту средней жесткости). В большей части третьекватных полос разница в виброускорениях для водителей различной массы незначительна, что может свидетельствовать об оптимальной работе системы настройки сиденья. Однако в полосах с центральными частотами 4 и 5 Гц, где находятся максимумы спектра внешнего воздействия, наблюдается превышение санитарных норм и существенное (до 50 %) отличие вибрационной нагруженности водителей с различной массой тела. Наиболее высокая вибронгруженность соответствует массе 75 кг.

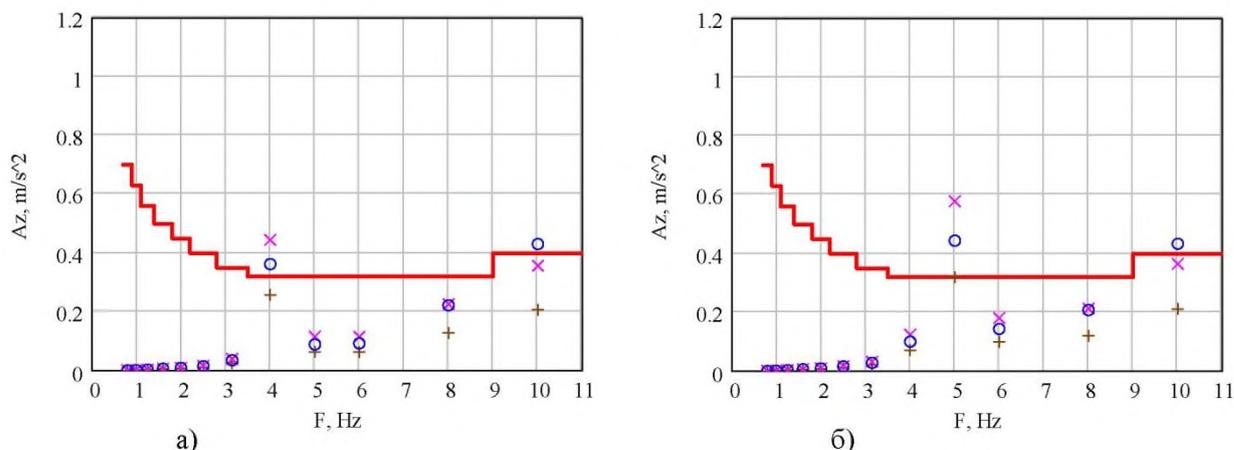


Рисунок 4 – Средние квадратические значения виброускорений на месте водителя для водителей различной массы: а) II передача, б) III передача;

+ — масса 52 кг; x — масса 73 кг, o — масса 118 кг

Как отмечалось ранее, результаты расчета виброускорений на месте водителя зависят от структуры использованной модели. На рисунке 5 представлены результаты расчета виброускорений на полу кабины и на подушке сиденья для двух вариантов модели динамической подсистемы «виброзащитное сиденье – водитель»: одномассовая модель и многомассовая модель (суглинок, движение на II передаче). Максимальное различие результатов по ускорениям на подушке сиденья достигает 30%. Таким образом, использование многомассовой модели необходимо не только для оценки вибронегруженности различных частей тела водителя, но и для адекватного расчета вибронегруженности рабочего места.

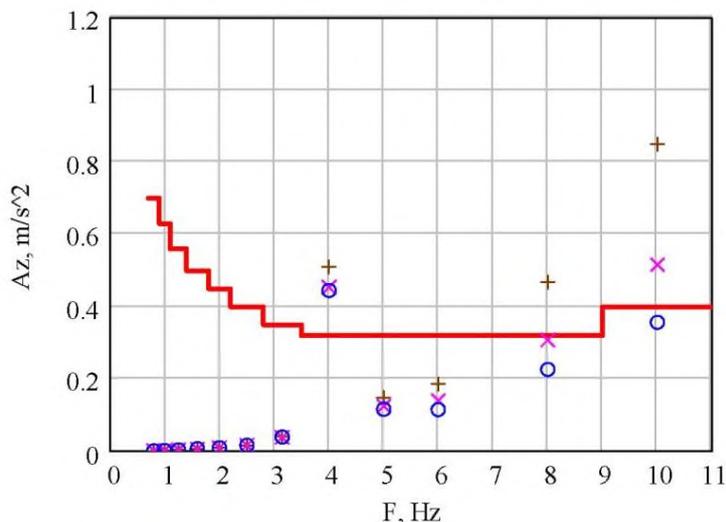


Рисунок 5 – Расчетные средние квадратические значения виброускорений при использовании различных моделей «сиденье-водитель»: + – ускорения на полу кабины, x – ускорения на рабочем месте (одномассовая модель), o – ускорения на рабочем месте (многомассовая модель)

Вибронегруженность различных частей тела водителя-оператора иллюстрирует рисунок 6 (движение по суглинку, II и III передачи). Эти результаты, а также результаты моделирования движения по другим грунтам и на других скоростях показывают, что виброускорения грудной клетки и головы могут превышать виброускорения на подушке сиденья на 10-25%. В связи с этим, по-видимому, наиболее адекватной оценкой вибронегруженности должны служить не виброускорения на подушке сиденья, а виброускорения части тела оператора, совершающей наиболее интенсивные колебания.

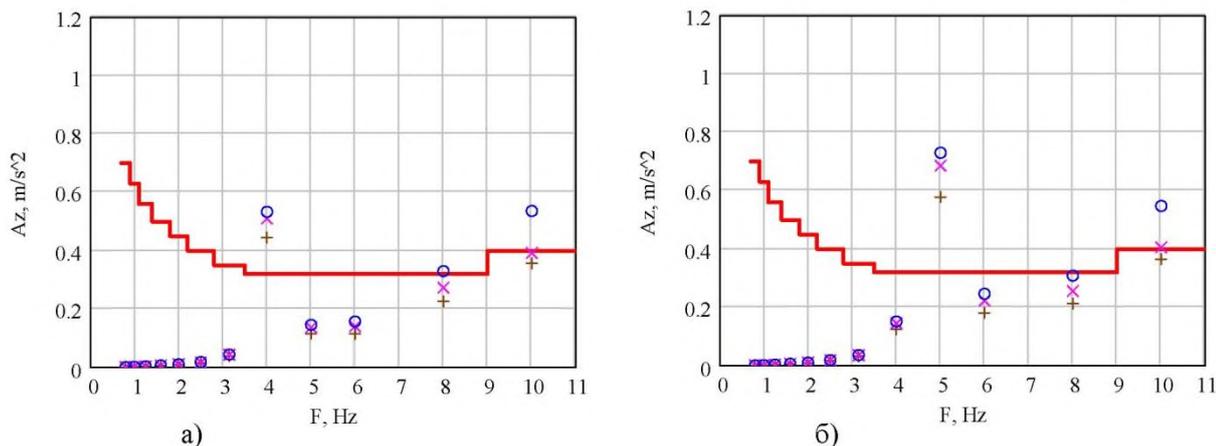


Рисунок 6 – Средние квадратические значения виброускорений в третьоктавных полосах: а) II передача, б) III передача; + – подушка сиденья, x – грудь, o – голова

#### 4. Рекомендации по совершенствованию системы виброзащиты оператора

Как показывает анализ результатов проведенных расчетов, виброускорения на месте водителя рассматриваемого трактора в ряде режимов движения превышают предельные уровни в полосах с центральными частотами 4-6 и 10 Гц. Эти результаты хорошо согласуются с экспериментальными и расчетными данными Ю.О.Прониной [8], Д.В. Хрипунова [10], а также с экспериментальными данными ЧТЗ. Повышенный уровень виброускорений на этих частотах объясняется следующим:

- В диапазоне 3-6 Гц находится максимум спектра внешнего воздействия, соответствующий «траковой» частоте

- В районе частоты 10 Гц находятся максимумы передаточных функций от внешнего воздействия  $\varphi_T(t)$  и  $z_T(t)$  к координате  $y_2$  (подушка сиденья),

Как показывает анализ динамической системы, максимум передаточной функции в районе 10 Гц вызван собственной частотой, соответствующей преимущественным колебаниям кабины. Для его уменьшения необходимо увеличить коэффициент вязкого трения системы поддрессоривания кабины. Виброизоляция в диапазоне 3-6 Гц осуществляется в основном за счет системы поддрессоривания сиденья. Поскольку низкочастотный резонанс сиденья находится в районе 1-2 Гц (в зависимости от настройки), диапазон 3-6 Гц для этой частоты является зарезонансным. Система поддрессоривания сиденья достаточно сильно задемпфирована, поэтому для снижения колебаний в зарезонансной зоне необходимо уменьшить коэффициент вязкого трения. Как показали расчеты, при этом амплитуда колебаний вблизи низкочастотного резонанса увеличивается незначительно.

Как показали результаты расчетов, для обеспечения выполнения санитарных норм необходимо увеличить коэффициент вязкого трения гидроопор кабины в 2,3 раза (за счет использования опор с другими характеристиками или дополнительных гидравлических амортизаторов), а также снизить коэффициент вязкого трения системы поддрессоривания сиденья на 60% (за счет использования гидравлического амортизатора с другой характеристикой). На рисунке 7 в качестве примера приведены средние квадратические значения виброускорений для движения трактора по суглинку на III передаче при исходных и скорректированных значениях параметров системы виброзащиты.

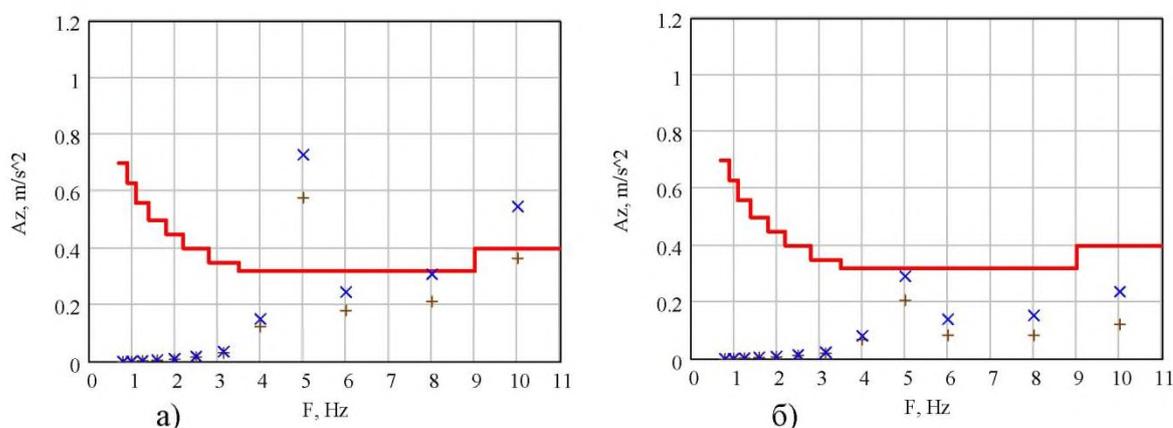


Рисунок 7 – Средние квадратические значения виброускорений:  
а) исходный вариант параметров виброизоляции,  
б) скорректированный вариант; + – подушка сиденья, x – грудь, o – голова

Предложенная корректировка обеспечивает выполнение санитарных норм в рассматриваемом диапазоне частот как на подушке сиденья, так и для различных частей тела водителя-оператора. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации существующих тракторов и учтены при разработке новой техники.

## Выводы

Для исключения превышения уровня санитарных норм по вибрациям на месте водителя предложено изменить параметры системы поддрессоривания кабины трактора и виброзащитного сиденья. Увеличение коэффициента демпфирования опор кабины в 2,3 раза позволяет снизить уровень вибраций в диапазоне 8-10 Гц. Снижение коэффициента демпфирования системы поддрессоривания кресла на 60 % снижает уровень вибраций в диапазоне 2-5 Гц. Эти изменения обеспечивают снижение виброускорений до уровней, не превышающих санитарные нормы. Изменения могут быть осуществлены за счет использования гидроопор кабины с другими характеристиками и изменения характеристик гидравлического амортизатора системы поддрессоривания сиденья.

Рецензент: Давлатшоев Р.А. — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ПИИУ им. акад. М.С.Осими.

## Литература

1. Абызов, А.А. Экспериментальные исследования и идентификация модели динамической системы «виброзащитное кресло – оператор» мобильной машины / А.А. Абызов, К.Дж. Мухиддинзода // Вестник Южно-Уральского государственного университета. серия: Машиностроение. – 2023. – т. 23. – №. 4. – с. 69-79.
2. Абызов, А.А. Моделирование динамики промышленного трактора при низкочастотном вибровозбуждении со стороны гусеничного движителя / А.А. Абызов, К.Дж. Мухиддинзода, С.Г. Некрасов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 63–72. DOI: 10.14529/engin230106

3. Березин И.Я. и др. Моделирование процесса формирования вибрационного нагружения рабочего места оператора промышленного трактора //Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – №. 8. – С. 14-18.
4. ГОСТ 27259–2006 (ИСО 7096:2000). Вибрация. Лабораторный метод оценки вибрации, передаваемой через сиденье оператора машины. М.: Стандартиформ, 2008. 19 с.
5. ГОСТ 31191.1–2004 (ИСО 2631–1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2008. – 43 с
6. Линник, Д.А. Повышение эффективности системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора / Д.А. Линник // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2020. – №. 2 (67). – С. 40–50.
7. Михайлов, В.Г. Исследование, аппроксимация характеристик подушек сидений и их влияние на вибронегруженность водителя ТС / В. Г. Михайлов //Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – №. 1. – С. 51–59.
8. Мухиддинзода, К.Дж. Экспериментальные исследования динамических характеристик системы "виброзащитное кресло – оператор промышленного трактора" с целью обеспечения санитарных норм на рабочем месте /К.Дж. Мухиддинзода// Материалы XVI международная научно–практическая конференция "Перспективные направления развития автотранспортного комплекса". МНИЦ ПГАУ, – 2022. С. 100 – 104.
9. Пронина Ю.О. и др. Совершенствование системы виброзащиты операторов промышленных тракторов //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2018. – Т. 18. – №. 3. – С. 13-20.
10. СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Федеральные санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». – Москва, 1997. – 20 с.
11. Светлицкий, В.А. Статистическая механика и теория надежности/ В.А. Светлицкий //. – М.: Изд–во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 504 с.
12. Хрипунов, Д.В. Методы оценки вибронегруженности промышленного трактора со стороны гусеничного движителя: автореферат дис. канд. техн. наук / Хрипунов Денис Вячеславович. – Челябинск, 2002. – 22с.

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

TJ	RU	EN
Абызов Алексей Александрович	Абызов Алексей Александрович	Abyzov Alekei Alexandrovich
д.т.н., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи давлатии Урали чанубӣ	Южно – Уральский государственный университет	South Ural State University
E-mail: <a href="mailto:abyzovaa@susu.ru">abyzovaa@susu.ru</a>		
TJ	RU	EN
Мухиддинзода Камолиддини Чамолиддин	Мухиддинзода Камолиддини Джамолиддин	Mukhiddinzoda Kamoliddin Jamoliddin
н.и.т.ассистент	к.т.н. ассистент	Candidate of Technical Sciences
Донишгоҳи техникии Тоҷикисон 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:kamoliddin.mukhiddinov@bk.ru">kamoliddin.mukhiddinov@bk.ru</a>		

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРСПЕКТИВНОГО ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ГОРНЫХ МАШИН С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Ш.З. Нажмудинов, Б.Н. Одиназода

Душанбинский филиал НИТУ МИСИС

Рассматривается вопрос возможности совершенствования конструкции приводов горных машин и оборудования на основе использования перспективных гидромеханических передач, позволяющих снижению энергозатратных операций и тем самым, приводящих повышению эффективности их эксплуатации, являющиеся в свою очередь актуальной научно-производственной задачей.

**Ключевые слова:** горные машины и оборудование, гидромеханический привод, буровые станки, трехзвенный дифференциал, регулирующий контур, кинематические и энергетические параметры, гидромашини.

## ТАҲҚИҚОТИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ҲАРАКАТДИҲАНДАИ ОЯНДАДОРИ ГИДРОМЕХАНИКИИ МОШИНҲОИ КЌҲҚОР

Ш.З. Нажмудинов, Б.Н. Одиназода

Дар мақола масъалаи имкониятҳои тақмилдиҳии конструкцияҳои ҳаракатдиҳандаҳои мошинҳои кўҳқор ва таҳизотҳо дар асоси истифодаи таҳвилдиҳандаҳои ояндадори гидромеханикӣ баррасӣ мешавад, ки онҳо имконияти амалҳои кории зиёднерусарфшавандаро кам намуда, бо ҳамин тариқ, самаранокии истифодаи онҳоро баланд менамоянд, ки ин масъала дар навбати худ ҳоло вазифа ва мақсадҳои мубрами илмӣ-истехсолӣ арзёбӣ мешавад.

**Важзаҳои калидӣ:** мошинҳо ва таҳизотҳои кўҳқан, ҳаракатдиҳандаи гидромеханикӣ, дастгоҳҳои пармакунанда, дифференциали сеқисма, ҳалқаи танзимкунанда, нишондиҳандаҳои кинематикӣ ва энергетикӣ, гидромашинҳо.

## INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF A PROMISING HYDROMECHANICAL DRIVE OF MINING MACHINES WITH A ROTARY WORKING BODY

Sh.Z. Nazhmudinov, B.N. Odiazoda

The issue of the possibility of improving the design of mining machinery and equipment drives based on the use of advanced hydromechanical gears, which reduce energy-consuming operations and thereby increase the efficiency of their operation, which in turn are an urgent scientific and production task, is considered.

**Keywords:** mining machinery and equipment, hydromechanical drive, drilling rigs, three-link differential, regulating circuit, kinematic and energy parameters, hydraulic machines.

Анализ тенденции совершенствования конструкций горных машин и оборудования, а также техники и технологии, предназначенные для добычи и последующие переработки разных горных пород, включая строительных материалов и первичных энергетических ресурсов, показывают, что в настоящее время в целом, во всем мире, направлены для решения весьма важной и современной задачи, заключающегося в снижении довольно ощутимых энергетических затрат сказывающихся на ценообразование выполняемых работ, что в свою очередь в настоящее время определяет степень конкурентоспособности горных машин и оборудования (ГМиО) [1, 2].

Известно, что буровые оборудования являются основой для начала практически любой добычи и исходя этого, создание и совершенствование гидрофицированных горных машин и в том, числе буровые станки и установки вращательного бурения являются актуальными темами исследований. На основе наших исследований и разработок [3, 4, 5] нами реализовано гидромеханическая передача (ГМП) на основе использования трехзвенного дифференциала типа

2К-Н, гидравлический регулирующий контур (ГРК) с двумя регулируемых насос-моторов (гидромашинами) с объемными постоянными  $q_1$  и  $q_2$ , образующие двухпоточную гидромеханическую трансмиссию (ГМТ), способное двумя потоками передать необходимые кинематические и энергетические параметры от приводного двигателя (далее-ПДв) к рабочему органу (РО), при замыкании ГРК на вал ПДв (Рис. 1).

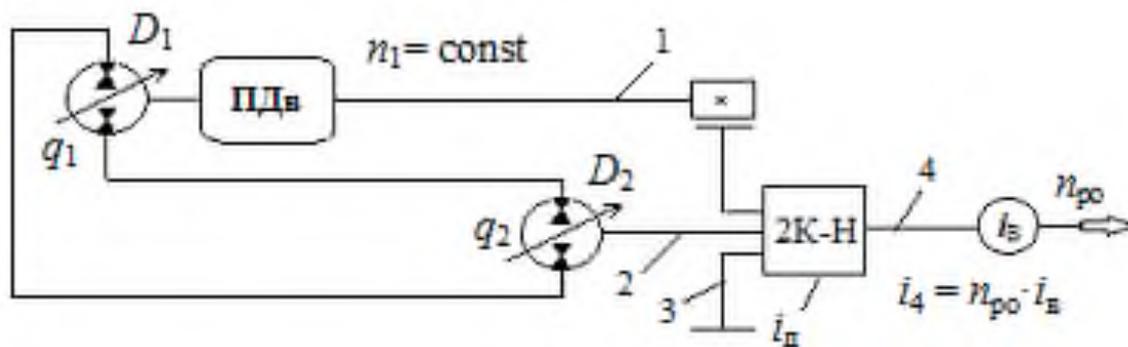


Рисунок 1 – Схема привода силовой установки с двухпоточной гидромеханической передачи (гидромеханическая трансмиссия-ГМТ).

Рабочий процесс схемы гидромеханической трансмиссии ГМТ, т.е. передачи мощности от ПДв к РО, полагаем целесообразным рассмотреть на примере функционирования силовой установки (СУ) механизма вращения долота бурового станка (Рис.1):

- при моторном режиме работы: число оборотов вала гидромашин  $n_2$  работающей в режимах передачи мощности от вала 1 к валу 2 и в обратном направлении, определяется зависимостью

$$n_2 = (K_v - 1) \cdot D_1 \cdot n_1 / D_2, \text{ при } [n_1] = n_1 = \text{const.} \quad (1)$$

В свою очередь:  $n_2 = Q_2 / q_2 \cdot D_2$ ;  $Q_2 = q_1 \cdot D_1 \cdot [n_1]$ ;  $K_v = 1 + q_1 \cdot q_2^{-1}$ ,

где  $Q_2$  – расход рабочей жидкости гидромашин 2, м<sup>3</sup>/мин;  $q_1, q_2$  – объемные постоянные гидромашин ГРК м<sup>3</sup>/мин;  $D_1, D_2$  – параметры регулирования объема рабочих камер, представляющие собой отношение текущего значения рабочего объема к его максимальному значению;  $[n_1]$  – допустимая частота вращения вала гидромашин 1, об/мин;  $K_v$  – коэффициент учета установленной мощности ГРК.

В первом случае гидромашин 2 работает в моторном режиме и направление вращения ее вала противоположно направлению действия момента сопротивления. Во втором случае – в насосном режиме, направление вращения вала 1 совпадает с направлением действия приложенного к нему момента. В режимах отсутствия передачи потока мощности от вала 1 к валу 2, гидромашин с  $q_2$  работает в тормозном режиме, а направление вращения вала 1 совпадает с направлением действия реактивного момента звена дифференциала, к которому присоединена означенная выше гидромашин.

Соответствие требуемым кинематическим и предельным нагрузочным характеристикам основных механизмов привода, проводим на основе исследования их зависимости от параметров гидромашин ГРК:

- угловые скорости звеньев дифференциала, связаны следующей зависимостью

$$n_4 \cdot i_d - n_3 \cdot (i_d - 1) - n_2 = 0. \quad (2)$$

Частота вращения звена 3 определяется из условия, когда  $D_1=0$  и  $n_4 = n_0 \cdot i_b$ , где  $n_0$  – частота вращения звена 4 дифференциала при нулевом расходе ГРК, об/мин;  $i_d$  – передаточное отношение дифференциального механизма от звена 2 к звену 4, при заторможенном звене 3;  $i_b$  – кинематическое передаточное отношение от выходного звена 4 к РО привода. В результате, частота вращения звена 3 дифференциала определится зависимостью  $n_3 = -n_1 \cdot i_{13}$ , где  $i_{13}$  – кинематическое передаточное отношение от вала 1 ПДв к звену 3 дифференциала определяемое выражением:

$$i_{13} = -2(i_d - 1) \cdot (2 - |R|), \quad (3)$$

здесь  $|R|$  – суммарный параметр регулирования частоты вращения РО. Относительное значение  $|R|$  принято: для механизма вращения бурового става, в режиме «вперед» от 0 до 1; в режиме «назад» (реверса) от 0 до -0,33; для механизма хода бурового станка (или гусеничного экскаватора) в режиме «вперед» от 0 до 1, а в режиме реверса от 0 до (-0,5).

Относительная скорость выходного звена 4 дифференциала с учетом зависимостей (2) и (3) и значения  $n_4$ , при нулевом расходе в ГРК, определяется зависимостью

$$n_4 / [n_4] = (K_v - 1) \cdot D_1 / D_2 + (2 - |R|) / 2. \quad (4)$$

С учетом вышеприведенных результатов достигнутые на основе аналитических исследований, схемы привода СУ механизма вращения РО буровых станков на основе применения двухпоточной ГМТ и сопровождении интерпретаций взаимосвязанных важных параметров как: допустимая частота вращения РО -  $[n]$ ; кинематическое передаточное отношение от вала 4 к звену 2 трехзвенного дифференциала -  $i_4$ ; модуля передаточного отношения ГМТ -  $i_d$ ; характерная точка означающая частоту вращения вала гидромашин с  $q_2$  (при нулевой частоте вращения РО) -  $|n^x|$ ; величина предельного параметра регулирования объема рабочих камер гидромашин, на границах диапазона регулирования частоты вращения РО -  $D_i^*$ , установлены зависимости кинематических и силовых параметров наиболее полноценно характеризующие эффективность работы гидромеханической трансмиссии СУ механизма вращения РО.

Общий КПД двухпоточной ГМТ СУ механизма вращения РО бурового станка, определяется выражением

$$\eta_{ГМТ} = [D_1(\eta^1 \cdot \eta_n)^2 \eta_{д24}^3 / (D_1 + 1)] + [\eta^1 \eta_{д34}^2 / (D_1 + 1)]. \quad (5)$$

где  $\eta^1 = 0,98$  КПД пары колес с наружным зацеплением в дифференциале 2К-Н (солнечная шестерня на валу 2);  $\eta_n$  – гидромеханический КПД гидромашин работающий в режиме насоса;  $\eta_{д24}^3$  – КПД передачи мощности от звена 2 дифференциала к выходному звену 4, при заторможенной коронном колесе (звене) 3;  $\eta_{д34}^2$  – КПД передачи мощности от звена 3 дифференциала к выходному звену 4, при заторможенной солнечной шестерне 2.

Графическая интерпретация зависимостей частот вращения валов двухпоточной ГМТ от  $D_1, D_2$  и изменение  $D_1, D_2$  в функции относительной частоты вращения выходного вала приведена на рис. 2.

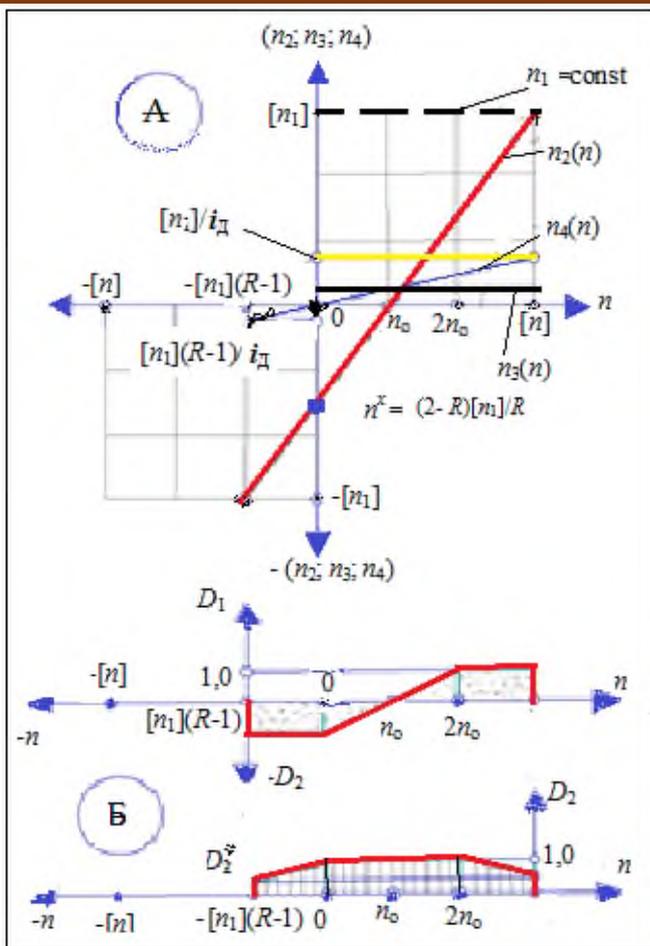


Рисунок 2 – А - Зависимость частот вращения валов двухпоточной ГМТ от параметров регулирования объема рабочих камер гидромашин ГРК; Б - Изменение значения параметров регулирования ( $D_1$  и  $D_2$ ) объема рабочих камер гидромашин ГРК в функции относительной частоты вращения выходного вала ГМТ. Зависимость параметров ГМТ:

$$i_d = [n_1]/[n] \cdot i_6;$$

$$i_d = |[n_1]/i_6 ([n] - n_0)|;$$

$$|n^x| = (2-|R|)[n_1]/|R|;$$

$$D_2^* = (2-|R|)/|R| = 0,5.$$

Анализ результатов установленных зависимостей и графическая их интерпретация показывает, что: а) в процессе работы привода с ГМТ рабочий орган СУ во всем своем диапазоне частоты вращения ( $|R|=1,33$ ) имеет характерные точки ( $n=0$  и  $n=n_0$ ) при которых, расход в ГРК равен нулю;

б) Абсолютный минимум расхода РЖ в ГРК имеет место в характерной точке  $n_0 = (2-|R|) \cdot [n]/2$ , а в характерных точках ( $n=0$  и  $n = n_0$ ) мощность от приводного двигателя передается РО только механическим путем, с повышенным КПД;

в) Амплитуда расхода РЖ, симметрична относительно середины значения  $|R|$ .

Отмеченные характеристики ГМТ **способствуют упрощению**: предохранения от перегрузок; возможности автоматизации выбора избыточного момента позволяющего сокращению времени протекания пускового тока по обмоткам приводного двигателя, что улучшает энергетический баланс привода и в итоге увеличивает его долговечность в целом; регулирования выбора оптимального КПД.

### Заключение

Обозначенные выше преимущества ГМТ, способствуют расширению диапазона достоинств ГМТ на основе повышения уровня удовлетворения требований к СУ в зависимости от нагрузочных характеристик РО, что в свою очередь улучшает технические и эксплуатационные параметры горного оборудования, в частности буровых станков и подобных горных машин с вращательным рабочим органом для бурения горных пород, в том числе: нет необходимости скорости реверсирования РО более чем 1/3 от максимальной (такое требование легко и только в ГМП обеспечивается, имеющий дифференциал между выходным валом и РО). Замечательная точка характеристики ГМП, это когда вал гидромашин с  $q_2$  (2-я поз. Рис. 1) не вращается, а скорость вращения РО (например долото) не равна нулю и т.п.

В целом, сравнительный анализ характеристик на примере буровых машин и установок имеющие гидромеханический привод и с вариантом снабженные гидрообъемные привода вращателя РО, показывает, что:

- КПД привода СУ буровых машин снабженные ГМП по сравнению с приводами СУ буровых машин, снабженные гидрообъемными приводами более чем на 10-15% выше, поскольку передача мощности РО (или другим исполнительным механизмам) происходит как по гидравлическим каналам, так и через механические передачи;

- использовать гидромашину ГМП СУ, в качестве дополнительного насоса в несовместных с бурением режимах (например, как переезд станка, горизонтирование и подъем мачты);

- возможно уменьшение номинальной установленной мощности первичного двигателя и весьма существенно улучшить эффективность ее реализации по сравнению с гидрообъемным приводом и т.п.

С учетом вышеприведенных анализов и сравнительных характеристик на основе гидромеханических передач, позволяет обеспечить создание и производство горных машин и оборудования с относительно высокими показателями эффективности эксплуатации, что в свою очередь обеспечивает снижение показателя энергозатрат при эксплуатации горных машин и тем самым обеспечивается снижение стоимости как производимых работ, так и единица горной продукции сделав их конкурентноспособными на рынках горной продукции обеспечивая приемлемые ценообразование.

*Рецензент: Давлатшоев Р.А. — к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ТИПУ им. акад. М.С.Осими.*

### Литература

1. Федотов П. К. Современные способы дезинтеграции руды для золотодобывающих предприятий. Тезисы научно-практической конференции «Горнодобывающая промышленность: Перспективы Развития» (24-25 апреля 2012 Россия•Москва• Крокус Экспо). – С. 63-66.

2. Подэрни Р.Ю., Хромой М.Р., Сандалов В.Ф. Основные концепции создания универсального бурового станка нового технического уровня. Сборник тезисов Международной конференции – Машины и оборудование для открытых горных работ (26 апреля 2017 Москва, Крокус Экспо). - С. 4-7.

3. Подэрни Р.Ю., Хромой М.Р., Сайдаминов И.А., Нажмуудинов Ш.З. Патент РФ, № 2052096, Б.И., №2 от10.01. 1996г. Приоритет от 09.07.1993г. Гидропривод бурильной установки.

4. Нажмуудинов Ш.З. Анализ параметров рабочего процесса двухпоточной гидромеханической трансмиссии. Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал УГОЛЬ, № 6 – 2014 г. – С. 34-37.

5. Нажмуудинов Ш.З. Эффективность одно- и двухпоточной трансмиссий в сопоставимом спектре частот вращения выходного вала. Ежемесячный научно-технический и производственно-экономический журнал УГОЛЬ, № 9 –2014г.-С. 54-57.

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

TJ	RU	EN
Нажмуудинов Шарофидин Зоирович	Нажмуудинов Шарофидин Зоирович	Nazhmudinov Sharofidin Zoirovich
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of Technical Sciences
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ "МИСиС" дар шаҳри Душанбе	Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в городе Душанбе	Branch of the National Research Technological University "MISIS" in Dushanbe
e-mail: <a href="mailto:Najmiddinovsh2018@mail.ru">Najmiddinovsh2018@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Бозорали Неъмат Одиназода	Бозорали Неъмат Одиназода	Bozorali Nemat Odinzoda
н.и.т.	к.т.н.	Candidate of Technical Sciences
Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологӣ "МИСиС" дар шаҳри Душанбе	Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в городе Душанбе	Branch of the National Research Technological University "MISIS" in Dushanbe
e-mail: <a href="mailto:bnodinazoda@gmail.com">bnodinazoda@gmail.com</a> .		

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.М. Умирзоков

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Работа посвящена оценке и обоснованию влияния различных факторов формирования эффективности функционирования автомобиля в горных условиях. Разработана и предложена математическая модель для определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания автомобиля с учетом горных условий эксплуатации. Обоснованы и определены пределы варьирования эксплуатационных факторов, влияющих на эффективную мощность двигателя. На основе математической модели для определения эффективной мощности двигателя, предложенной академиком В.Н. Болтинским и уточненной профессорами Ю.К. Киртбая и С.А. Иофиновым, выдвинута формула для определения эффективной мощности двигателя, учитывающая особенности эксплуатации автомобилей в горных условиях. Предложенная модель может быть применена для расчета эффективности функционирования автомобиля по основным технико-экономическим показателям: производительности, удельного или линейного расхода топлива, удельных затрат рабочего времени и денежных средств на единицу наработки.

**Ключевые слова:** автомобиль, эффективная мощность, крутящий момент, коэффициент вариации, эксплуатационные факторы, выходные параметры, неустойчивый режим, вероятностный коэффициент.

## БАҲОДИҶИИ САМАРАНОКИИ КОРИ АВТОМОБИЛ ДАР ШАРОИТИ КӢҲСОРИ ИСТИФОДАБАРӢ

А.М. Умирзоков

Мақолаи мазкур ба масъалаи баҳодиҳӣ ва асосноккунии таъсири омилҳои гуногун ба ташаккулёбии самаранокии кори автомобил дар шароити кӯҳсор бахшида шудааст. Модели математикӣ барои муайян намудани тавоноии самараноки муҳаррикӣ дарунсуз бо назардошти шароити истифодабарӣ дар кӯҳсор коркард ва пешниҳод гардидааст. Худудҳои тағйирёбии омилҳои истифодабарӣ, ки ба тавоноии самараноки муҳаррикӣ таъсир мерасонад, муайян ва асоснок карда шудааст. Дар асоси модели математикӣ барои муайян намудани тавоноии самараноки муҳаррикӣ, ки аз тарафи академик В.Н. Болтинский пешниҳод гардидааст ва аз тарафи профессорон Ю.К. Киртбая ва С.А. Иофинов аниқӣ дароварда шудааст, формула барои муайян намудани тавоноии самараноки муҳаррикӣ бо назардошти хусусиятҳои истифодабарӣ дар шароити кӯҳсор пешниҳод гардидааст. Модели пешниҳодгардида метавонад барои ҳисоби самаранокии кори автомобил аз руи нишондиҳандаҳои техникӣ-иқтисодии асосӣ, ба монанди маҳсулнокии қор, сарфи ҳос ва хаттии сузишворӣ, харочоти ҳоси вақти қорӣ ва маблағ ба воҳиди ҳаҷми қор истифода шавад.

**Калимаҳои калидӣ:** автомобил, тавоноии самаранок, моменти даврзанӣ, коэффициентҳои вариатсия, омилҳои истифодабарӣ, тағйирёбандаҳои баромад, режими номуқаррар, коэффициентҳои эҳтимолиӣ.

## EVALUATION OF VEHICLE PERFORMANCE EFFICIENCY IN MOUNTAINOUS OPERATING CONDITIONS

A.M. Umirzokov

The work is devoted to estimation and substantiation of influence of various factors in shaping the efficiency of automobile functioning in mountainous conditions. A mathematical model for determining the effective power of the internal combustion engine of a car taking into account mountainous operating conditions has been developed and proposed. The limits of variation of operational factors affecting the effective power of the engine have been substantiated and determined. On the basis of the mathematical model for determining the effective engine power proposed by Academician V.N. Boltinsky and refined by Professors Y.K. Kirtbay and S.A. Iofinov, a formula for determining the effective engine power is put forward, taking into account the peculiarities of car operation in mountainous conditions. The proposed model can be applied to calculate the efficiency of car operation by the main technical and economic indicators: productivity, specific or linear fuel consumption, specific costs of working time and money per unit of operation.

**Keywords:** automobile, effective power, torque, coefficient of variation, operating factors, output parameters, unsteady mode, probability coefficient

### Введение

Вопросы, связанные с оценкой эффективности автомобильных перевозок, относятся к весьма актуальным, так как они находятся на низком уровне. В горных условиях эксплуатации этот показатель находится на очень низком уровне. Это обусловлено сложными дорожно-климатическими условиями, отрицательно влияющими на надежность водителя. Все это объединяется в единое целое «условие эксплуатации». Повышение же эффективности автомобильных перевозок вопрос сложный и неоднозначный. Как бы там ни было, для того чтобы повышать ее, необходимо дать ей адекватную оценку с учетом всех факторов, значимо участвующих в формировании эффективности.

### Материалы и методы исследования

Из всего многообразия процессов и факторов, обуславливающих эксплуатационные параметры тракторов, автомобилей и их двигателей, принято выделить динамичность нагрузок или их неустойчивый характер, определяемый, как правило, степенью неравномерности внешних воздействий, продолжительностью их эксплуатации, вероятностным характером внешних воздействий и эксплуатационными условиями.

Эффективность функционирования системы ВАДС можно оценить по производительности автомобиля, расходу топлива, энергетическим, трудовым и материальным затратам, а также по надежности системы ВАДС, экономическим, экологическим и другим показателям. Из всего многообразия

перечисленных показателей производительность перевозочных процессов является наиболее важным технико-экономическим показателем оценки эффективности функционирования системы ВАДС.

Производительность можно выразить через мощность машины, так как эти оба показателя по своей сути выражают удельную работу, отнесенную на единицу времени. Иначе они характеризуют скорость или быстроту выполнения работы. Исходя из сказанного можно предполагать, что между этими двумя показателями существует тесная корреляционная связь. Несмотря на это, производительность и мощность выражаются в различных единицах измерения. Для того, чтобы производительность выразить через мощность необходимо пользоваться переводным коэффициентом. Для выражения производительности грузового автомобиля через его эксплуатационную мощность можно пользоваться формулой

$$W_{ткм} = C_{ткм} \cdot N_{э}, \text{ ткм/ч} \quad (1)$$

где  $C_{ткм}$  – по сути своей, это удельный грузооборот транспортного средства, отнесенный к единице затраченной энергии или выполненной работе, ткм/(кВт·ч);  $N_{э}$  – эксплуатационная мощность ДВС, кВт.

Удельный грузооборот транспортного средства  $C_{ткм}$  для различных транспортных средств и технологических машин выражается различным образом. Для грузовых автомобилей он равняется

$$C_{ткм} = 3,6 \cdot \eta_m \cdot \tau_{см} \cdot \gamma_{\delta} \cdot \beta \cdot l_{ер} \cdot f_k^{-1} \cdot (l_{ер} + \beta \cdot V_T \cdot t_{пр})^{-1} = \\ = 3,6 \cdot \eta_m \cdot \tau_{см} \cdot \gamma_{\delta} \cdot \beta \cdot l_{ер} \cdot [f \cdot (l_{ер} + \beta \cdot V_T \cdot t_{пр})]^{-1}, \text{ ткм/(кВт·ч)} \quad (2)$$

где 3,6 – переводной коэффициент единиц измерения скорости движения – м/с в км/ч;  $\eta_m$  – тяговый КПД автомобиля;  $\gamma_{\delta}$  – динамический коэффициент грузоподъемности, т.е. отношение фактических тонно-километров на возможные тонно-километры при полном использовании грузоподъемности (тонно-километр является единицей измерения грузооборота транспорта);  $\beta$  – коэффициент использования пробега, т.е. отношение производительного пробега (пробега с грузом) к общему пробегу автомобиля;  $l_{ер}$  – средняя длина ездки с грузом, км;  $f_k$  – коэффициент сопротивления качению;  $V_T$  – техническая скорость движения автомобиля, км/ч;  $t_{пр}$  – время простоя транспортного средства под погрузкой и выгрузкой или время простоя под грузовыми операциями, ч.

Техническая скорость движения автомобиля выражается как отношение общего пробега  $L_{общ}$  ко времени автомобиля в движении  $t_{\deltaв}$ , т.е.

$$V_T = L_{общ} / t_{\deltaв} = (L_{сп} + L_n + L_o), \quad (3)$$

где  $L_{сп}$ ,  $L_n$ ,  $L_o$  – соответственно, расстояния пробега с грузом, без груза (порожнего автомобиля) и нулевой пробег, т.е. расстояние пробега до места работы и возврата автомобиля в гараж после работы, км.

Для определения мощности автомобиля в эксплуатационных условиях  $N_{э}$  можно применить формулу, предложенную профессором С.И. Иофиновым[3]:

$$N_{э} = N_e \cdot \lambda_d \cdot \lambda_t \cdot \lambda_v, \text{ кВт} \quad (4)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность ДВС по стендовой (детерминированной) характеристике;  $\lambda_d$  – динамический коэффициент (предложен академиком В.Н. Болтинским), который учитывает снижение мощности автомобиля при неустановившихся нагрузках;  $\lambda_t$  – временной коэффициент (предложен профессором Ю.К. Киртбая), который учитывает снижение мощности двигателя (автомобиля), вызванное износом, регулировками и старением;  $\lambda_v$  – вероятностный коэффициент (предложен профессором С.А. Иофиновым), который учитывает изменение мощности двигателя, вызванное вероятностным характером внешних факторов, действующих на автомобиль.

Кроме указанных коэффициентов, немаловажным фактором, значимо влияющим на формирование эксплуатационной мощности ДВС в горных и высокогорных условиях, является высота н.у.м., влияние которой в формуле (4) не принимается во внимание. Для учета ухудшения основных технико-экономических показателей ДВС (снижения мощности, повышения расхода топлива и др.), эксплуатируемых в горных и высокогорных условиях, предлагается ввести коэффициент  $\lambda_h$ , учитывающий влияние высоты н.у.м. на снижение эксплуатационной мощности.

## Результаты исследования

Для учета зависимости мощности ДВС от высоты н.у.м. формулу (4) можно переписать в виде

$$N_{э} = N_e \cdot \lambda_d \cdot \lambda_t \cdot \lambda_v \cdot \lambda_h, \text{ кВт} \quad (5)$$

где  $\lambda_h$  – коэффициент, учитывающий снижение мощности от высоты н.у.м.

Для горных условий влияние неустановившегося режима работы на снижение мощности ДВС можно определить из выражения

$$\lambda_d = (1 - 0,75\delta_m), \quad (6)$$

где  $\delta_m = 2A_m / M_{ср}$  – степень неравномерности момента сопротивления на валу двигателя, значение которой в суровых горных и высокогорных условиях эксплуатации при строительстве гидротехнических сооружений (ГТС) может достигать до 0,25.

Среднее значение момента сопротивления на валу двигателя определяется как

$$M_{cp} = (M_{max} + M_{min})/2, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (7)$$

где  $M_{max}$  и  $M_{min}$  – максимальное и минимальное значения момента сопротивления на валу двигателя, Н·м.

График зависимости эксплуатационной мощности ДВС и линейного расхода топлива от степени неравномерности момента сопротивления на коленчатом валу ДВС представлен на рис. 1.

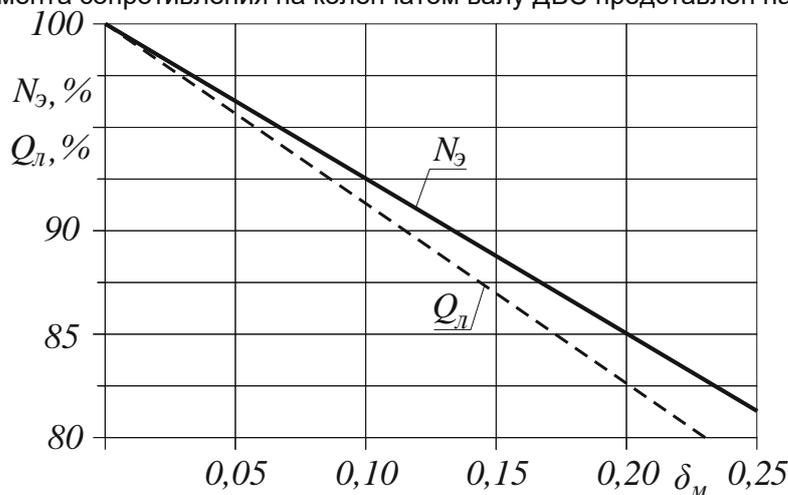


Рисунок 1 – График зависимости эксплуатационной мощности ДВС и линейного расхода топлива от степени неравномерности момента сопротивления на коленчатом валу ДВС

Временной коэффициент  $\lambda_t$ , предложенный профессором Ю.К. Киртбая, учитывает снижение мощности двигателя, вызванное износом, разрегулировками и старением машин. Значение временного коэффициента может быть определено из выражения

$$\lambda_t = (1 - 0,75t), \quad (8)$$

где  $t$  – продолжительность эксплуатации (срок службы) объекта, для автомобилей и его агрегатов и узлов в годах.

Рациональный срок службы для автомобилей установлен в пределах 6-7 лет.

Зависимость временного коэффициента, учитывающего снижение мощности двигателя (автомобиля, трактора), вызванное износом, разрегулировками и старением от срока службы  $t$ ;  $t_n$  – продолжительность приработки (обкатки);  $t_{nno}$  – продолжительность предпродажного обслуживания, представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Зависимость временного коэффициента, учитывающего снижение мощности двигателя (автомобиля, трактора), вызванное износом, разрегулировками и старением от срока службы  $t$ ;  $t_n$  – продолжительность приработки (обкатки);  $t_{nno}$  – продолжительность предпродажного обслуживания

Влияние вероятностного характера внешних воздействий на снижение мощности ДВС грузового автомобиля можно определить из выражения

$$\lambda_v = (1 - 0,65 v), \quad (9)$$

где  $v$  – коэффициент вариации внешних воздействий на ДВС в относительных единицах. Установлено, что влияние внешних нагрузок на показатели работы ДВС распределяется по нормальному закону (закону Гаусса), значение которого при эксплуатации грузовых автомобилей может изменяться от 0,07 до 0,15 и более в горных карьерных условиях при строительстве ГТС.

График зависимости эксплуатационной мощности ДВС от коэффициента вариации внешней нагрузки представлен на рис. 3.

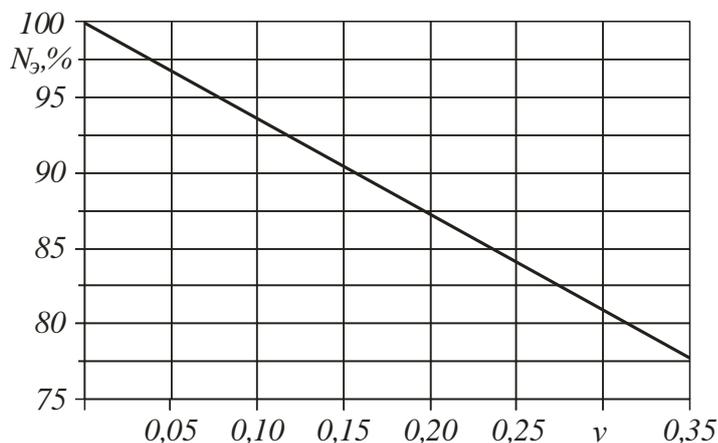


Рисунок 3 – График зависимости эксплуатационной мощности от коэффициента вариации внешней нагрузки

Установлено, что с увеличением высоты н.у.м. на каждые 1000 м мощность ДВС снижается от 10 до 14% [13]. Такой размах варьирования снижения мощности связано, в основном, конструктивными особенностями ДВС. С учетом среднего значения снижения мощности ДВС от высоты н.у.м. значение коэффициента  $\lambda_h$  можно определить из выражения

$$\lambda_h = (1 - 0,12h), \quad (10)$$

где  $h$  – высота н.у.м., м. В условиях Республики Таджикистан высота н.у.м. варьирует в пределах от 300 м в низовьях Амударьи до 4655 м на седле перевала Акбайтал на Памирском тракте.

График зависимости эксплуатационной мощности ДВС от высоты н.у.м. представлен на рис. 4.

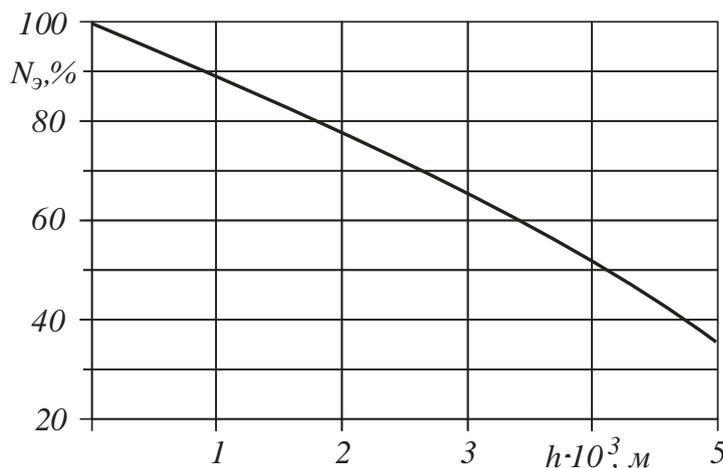


Рисунок 4 – График зависимости эксплуатационной мощности ДВС от высоты н.у.м.

Для большей наглядности графики (1-4) зависимости коэффициентов, учитывающих снижение производительности автомобиля при эксплуатации в горных и высокогорных условиях, объединены в виде общего графика зависимости динамического, временного, вероятностного и высотного коэффициентов. Названные коэффициенты учитывают снижение эксплуатационной мощности от срока службы автомобиля, степени неравномерности момента сопротивления на валу двигателя, коэффициента вариации внешних воздействий и высоты н.у.м. (рис.5).

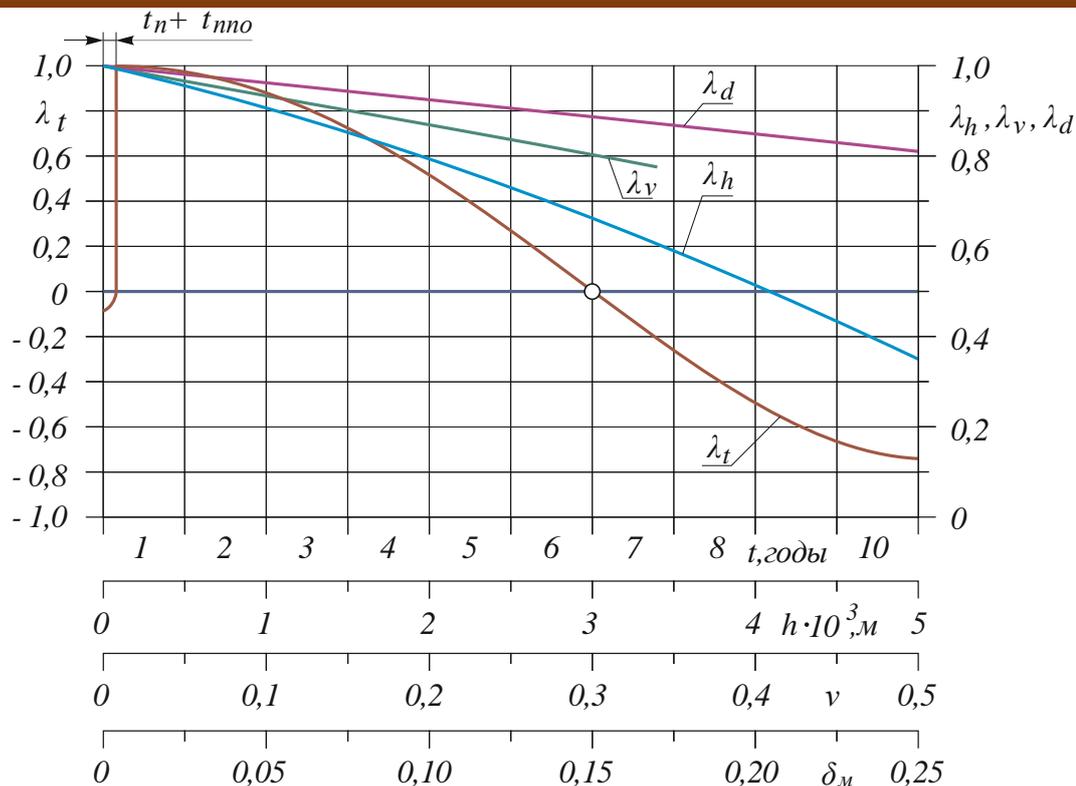


Рисунок 5 – График зависимости динамического ( $\lambda_d$ ), временного ( $\lambda_v$ ), вероятностного ( $\lambda_v$ ) и высотного ( $\lambda_h$ ) коэффициентов, учитывающих снижение мощности от срока службы ( $t$ ), степени неравномерности момента сопротивления на валу двигателя ( $\delta_m$ ), срока службы машины ( $t$ ), коэффициента вариации внешних воздействий ( $v$ ) и высоты н.у.м. ( $h$ )

## Выводы

1. Дана оценка эффективности функционирования системы ВАДС по производительности автомобиля, которая выражена через мощность ДВС с учетом того, что эти оба показателя по своей сути выражают удельную работу, отнесенную на единицу времени.
2. Обоснован переводной коэффициент для выражения производительности транспортных процессов через мощность ДВС.
3. На основе математической модели для определения эффективной мощности ДВС с учетом неустановившегося режима движения, предложенной академиком В.Н. Болтинским и уточненной профессорами Ю.К. Киртбая и С.А. Иофиновым с учетом срока службы машины и вероятностного характера нагрузки, предложено дополнительное уточнение с введением коэффициента влияния высоты н.у.м. для применения в горных и высокогорных условиях эксплуатации.
4. Обоснованы значения входящих коэффициентов в предложенную формулу для определения эксплуатационной мощности ДВС с учетом горных и высокогорных условий эксплуатации.
5. При моделировании влияния факторов на эффективность грузоперевозок в качестве оценочного показателя можно использовать крутящий момент на полуосях автомобиля (мощность автомобиля в эксплуатационных условиях).

*Рецензент: Ахунов Ш.М. — д.т.н., профессор кафедры «Машины и оборудования технологических процессов в агроинженерии» ПГАУ имени Ш. Шохтемур.*

## Литература

1. Агеев, Л. Е., Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторного агрегата/Л.Е. Агеев. -Л.: Колос, 1978. - 295 с.
2. Агеев, Л. Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. -М.: Агропромиздат, 1991. - 271 с.
3. Антишев, В.Н. О методологии исследований В.Н. Болтинского /В.Н.Антишев//«Тракторы и сельскохозяйственные машины». -2004. -№1. - С.7-9.
4. Болтинский, В.Н. Мощность тракторного двигателя с неустановившейся нагрузкой и ее определение /В.Н. Болтинский//Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. -1952. -N 2. - С.18-21.
5. Болтинский, В. Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке /В. Н. Болтинский//Моск. ин-т механизации и электрификации сельского хозяйства им В. М. Молотова. -М.: Сельхозгиз, 1949. - 216 с.

6. Болтинский, В.Н. Разгон МТА на повышенных скоростях/В.Н. Болтинский// Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. -1961.-№ 3.-С.1-8.
7. Вайнштейн, Г.Я. Влияние колебательных воздействий нагрузки на показатели работы тракторных дизелей и способы их улучшения. Автореф. дис. канд. техн. наук. - Л., 1984. - 16 с.
8. Габдрафиков, Ф.З. Динамическая модель переходного процесса работы дизельного двигателя/Ф.З. Габдрафиков, С.Б.Шамукаев//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – №9. – С. 22-24.
9. Габдрафиков, Ф.З. Повышение эффективности работы дизелей на неустановившихся режимах электронным регулированием топливоподачи/Ф.З. Габдрафиков, С.Б. Шамукаев, Е.П. Мехоношин//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 7. – С. 19-22.
10. Иофинов, С.А.Определение эксплуатационных параметров и показателей работы агрегатов при вероятностном характере исследуемых величин/ С.А. Иофинов, Б.Л. Минцберг//Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – №12. – С. 42-46.
11. Киртбая, Ю.К. Элементы теории оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных агрегатов/ Ю.К. Киртбая //Журнал “Тракторы и сельхозмашины. – 1966. – №12. – С. 19-22.
12. Кутьков, Г.М.Вклад Болтинского в науку и практику/Г.М. Кутьков//«Тракторы и сельскохозяйственные машины». –2004. – №1. – С. 2-7.
13. Саидов, Ш.В. Повышение эффективности энергетических установок с воздушным охлаждением на мобильных хлопководческих агрегатах обеспечением рациональных показателей надежности, топливной экономичности и уровня эксплуатации : автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н /Ш.В.Саидов//Ленингр. с.-х. ин-т. - Ленинград: Пушкин, 1990. - 39 с.
14. Халиуллин, Ф.Х. Математическая модель определения эксплуатационных показателей энергетических установок мобильных машин в неустановившихся режимах работы/Ф.Х. Халиуллин, В.М. Медведев, Р.Р. Ширязданов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. –Т.10. – № 1 (35). –С. 71-74.
15. Халиуллин, Ф.Х. Учет условий эксплуатации автотранспортных средств при определении нормативов технической эксплуатации/Ф.Х. Халиуллин, И.Г. Галиев// Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – Т.6. – № 2 (20). –С. 106-108.
16. Khaliullin, F.K., Approaches for numerical simulation of mobile machines in actual operating conditions/F.K.Khaliullin, R.R. Shiryazdanov, I.R. Ahmetzyanov, V.M. Medvedev/ International Conference «Global Science and Innovation». - USA. Chicago, may 21-22, 2014. «Тракторы и сельскохозяйственные машины». –2004. – №1. – С. 7-9.
17. Юлдашев, А.К. Пути повышения эффективности использования двигателей внутреннего сгорания автомобилей и машинно-тракторных агрегатов в условиях эксплуатации. /А.К. Юлдашев, В.М. Медведев, С.А. Сеницкий, К.М. Латыпов // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. - 2007.- № 1 (21).- С.21-27.
18. Щитов, С.В. Влияние неустановившегося характера нагрузки на тягово-сцепные и эксплуатационные показатели энергетического средства: монография / С.В. Щитов, В.А. Сенников, Н.В. Спириданчук. – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 175 с.

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

TJ	RU	EN
Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Umirzokov Ahmad Mallaboevich
Н.и.т., дотсенти кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ»	К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»	Candidate of Technical Sciences, Senior teacher of the Department "Operation of Road Transport"
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:ahmad.umirzokov@mail.ru">ahmad.umirzokov@mail.ru</a> .		

## АСОСНОКГАРДОНИИ СИСТЕМАИ НИШОНДИҲАНДАҲОИ ЧУЗӢЙ (ҒАЙРИМАЪМУЛ)-И БАҲОДИҲИИ РУШДИ ИЛМИЮ ТЕХНИКӢ ДАР НАҚЛИЁТИ АВТОМОБИЛИИ МУСОФИРБАР

Ф.М. Юнусов, А.А. Рачабов

Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкори Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур мақсаде гузошта шудааст, системаи нишондиҳандаҳои чузъии баҳодихии рушди илмию техникӣ дар нақлиёти автомобилии мусофирбар ва роҳҳои асоснок гардонидани он тадқиқ карда шавад. Муассисаҳои нақлиёти автомобилии мусофирбар бо иҷрои ҳаҷми муайяни мусофирбарӣ баъзан шароитҳои нисбатан мураккаби фаъолиятро аз сар мегузаронанд, ки барои асоснок кардани системаи нишондиҳандаҳои чузъӣ зарурат пеш меояд. Рушди илмию техникӣ ва бо замони муосир баробар қадам задан аксари мушкилотро ҳал карда метавонад.

*Калимаҳои калидӣ:* система, нишондиҳанда, баҳодихӣ, нақлиёт, мусофир, автомобил.

## ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЧАСТИЧНЫХ (НЕПОПУЛЯРНЫХ) ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НА ПАССАЖИРСКОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Ф.М. Юнусов, А.А. Раджабов

Целью данной статьи является исследование системы частных показателей оценки научно-технического развития автотранспорта и способов ее обоснования. Объекты пассажирского автомобильного транспорта с определенным объемом пассажиропотока иногда испытывают относительно сложные условия эксплуатации, что обуславливает необходимость обоснования системы составных показателей. Научно-техническое развитие и идти шаг за шагом, со временем позволяют решить большинство проблем.

*Ключевые слова:* система, показатель, оценка, транспорт, пассажир, автомобиль.

## JUSTIFICATION OF THE SYSTEM OF PARTIAL (UNPOPULAR) INDICATORS FOR ASSESSING SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENT IN PASSENGER ROAD TRANSPORT

F.M. Yunusov, A.A. Radjabov

The purpose of this article is to study the system of partial indicators for assessing scientific and technical development of motor transport and methods for justifying it. Passenger motor transport facilities with a certain volume of passenger traffic sometimes experience relatively difficult operating conditions, which necessitates the justification of a system of composite indicators. Scientific and technical development and going step by step, over time allow solving most of the problems.

*Keywords:* system, indicator, assessment, transport, passenger, car.

### Муқаддима

Нақлиёти автомобилии мусофирбар аз намудҳои ба таври васеъ истифодашавандаи намудҳои нақлиёт ба шумор рафта, доираи истифодаи он ниҳоят фароҳ аст. Гуногуннамудии ин намуди нақлиёт масъалаи дигари бартарияти нақлиёти мусофирбар мебошад. Тамоми соҳаҳои истеҳсоли ва хизматрасонӣ аз нақлиёти автомобилии мусофирбар вобастагии зиҷ дорад.

Муассисаҳои нақлиёти автомобилии мусофирбар (МНАМ), автовокзалҳо (АВ), автостансияҳо (АС) ва ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар чун системаи иқтисодӣ дар асоси қонуниятҳои иқтисоди бозоргонӣ рушд менамоянд.

Раванди бетанаффуси истеҳсолот яке аз аломатҳои фарқкунандаи муассисаҳои истеҳсолии иқтисоди бозоргонӣ ба шумор меравад, ки аз раванди бетанаффуси талаботи маҳсулот бармеояд. Афзоиши талабот дар умум водор месозад, ки истеҳсолот рушд карда, ба инкишофи дигар соҳаҳо мусоидат намояд. Шартҳои зарурии ин ҳолат мувофиқан рушд ёфтани МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар аст, ки бо афзоиши ҳаҷми мусофирбарӣ раванди фаъолияти онҳо вобаста ва ба роҳ монда мешавад [2].

Омили муҳими рушди ояндаи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар рушди илмию техникӣ (РИТ) аст. Дар натиҷаи татбиқи он воситаҳо ва вақти корӣ барои иҷрои воҳиди маҳсулоти нақлиётӣ сарфа мегардад. Бо назардошти он ки РИТ мақсади ягона нест, вале аз як тараф ҳамчун воситаи баланд бардоштани самаранокии кори МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар аст, аз тарафи дигар ба самти қонеъгардонии саривақтӣ, пурра ва босифати талаботи аҳоли нисбат ба интиқол нигаронида шудааст. Вобаста ба ин зарурати интиҳоби системаи нишондиҳандаҳои чузъии тавсифдиҳандаи ҳамачонибаи РИТ дар нақлиёти автомобилии мусофирбар ба миён меояд. Ин, дар навбати худ, ба муайяннамоии таъсири самтҳои алоҳидаи РИТ ба натиҷаҳои ниҳонии кори МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар мусоидат карда, инчунин имкон медиҳад, ки захираҳои баландбардории ояндаи самаранокии истеҳсолоти ҷамъиятӣ ошкор карда шавад.

Ҳангоми интиҳоби нишондиҳандаҳои чузъии тавсифдиҳандаи РИТ дар нақлиёти автомобилии мусофирбар ба ҳисоб гирифтани зарур аст, ки рушди ояндаи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар бояд характери интенсифициро гирад ва ба самти сарфаи вақти мусофир ҳангоми ҷойивазкунӣ (сафар), бехтаргардонии иқтисодии МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва

калони хусусии нақлиёти мусофирбар, баланд бардоштани сифат ва фарҳанги хизматрасонӣ ба мусофирон ҳам дар АВ ва АС-ҳо ва ҳам дар роҳи сафар ва ғайраҳо нигаронида шавад.

Нишондиҳандаи муҳимтарини тавсифдиҳандаи таъсири РИТ дар фаъолияти МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар ба назари мо коэффитсиенти интенсификатсияи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар ( $K_{инт}$ ) аст.

Агар интенсификатсияи фаъолияти МНАМ бо таъмини АВ ва АС тариқи автобусҳои ғунҷошашон зарурӣ вобаста бошад, пас интенсификатсияи АВ АС-ҳо ба самти нисбатан пурраи истифодаи онҳо ҳангоми пешниҳоди шароити бароҳат, қулай ва зарурии нақлиётӣ ба мусофирон нигаронида шудааст.

Ҳамин тариқ, коэффитсиенти интенсификатсияи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар чунин муайян карда мешавад [1]:

$$K_{инт} = \sqrt{K'_{инт} * K''_{инт}}, \quad (1)$$

дар ин ҷо

$K'_{инт}$  – коэффитсиенти интенсификатсияи фаъолияти МНА-и мусофирбар;

$K''_{инт}$  – коэффитсиенти интенсификатсияи фаъолияти АВ ва АС мусофирбар.

Дар навбати худ  $K''_{инт}$  ба тарзи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$K'_{инт} = \sqrt{\alpha_B * \varepsilon} = \sqrt{\alpha_B * \gamma * \beta}; \quad (2)$$

дар ин ҷо

$\varepsilon$  – коэффитсиенти истифодабарии мусофиркилометр;

$\alpha_B$  – коэффитсиенти истифодабарии парки автобусҳо;

$\gamma$  – коэффитсиенти истифодабарии ғунҷош (коэффитсиенти пуршавӣ);

$\beta$  – коэффитсиенти истифодаи гашт.

Коэффитсиенти интенсификатсияи АВ ва АС-ҳо пас аз гузариш ба шароити нави иқтисоди бозорӣ, ба андешаи мо чунин муайян карда мешавад:

$$K''_{инт} = \sqrt{\frac{z_{\phi}}{z_{пл}} * \frac{Q_{\phi}}{Q_{пл}}}, \quad (3)$$

дар ин ҷо

$z_{\phi}$  – иҷрои воқеии шумораи раҳ (рейс)-ҳо (аз рӯйи график);

$z_{пл}$  – шумораи раҳҳои ба нақша гирифташуда;

$Q_{\phi}$  – шумораи мусофирони бурдашуда бо риояи ҷадвали ҳаракат;

$Q_{пл}$  – шумораи нақшавии мусофирони бурдашаванда.

Дар ин ҳол қайд кардан бамаврид аст, ки агар шумораи иҷрои раҳҳои ба нақша нагирифта ва раҳҳои иҷрошуда бо риоя нагардидани ҷадвали ҳаракатро ба ҳисоб гирем (инчунин дар ин маврид шумораи мусофирони интиқолшударо ба ҳисоб гирем), пас қимати  $K''_{инт}$  мумкин метавонад аз 1,0 зиёдтар шавад. Аммо, бо назардошти он ки ҷадвали ҳаракати автобусҳо дар АВ, АС (МНАМ) бо баҳисобгирии тағйирёбии селайи мусофирон ҳамчун аз рӯйи соатҳои шабонарӯз, рӯзҳои ҳафта ва давраҳои сол тартиб дода шудааст, пас хулоса баровардан мумкин аст, ки қимати  $K''_{инт}$  максимум ба 1,0 баробар мешавад.

Интенсификатсияи баъдинаи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар дар қатори беҳтаргардонии вазъи иқтисодии муассисаи нақлиёти мусофирбар бояд ба самти баландбардорӣ сифати хизматрасонии мусофирон равона гардад.

Сифати хизматрасонии мусофирон бо якчанд нишондиҳандаҳо дар сатҳи муайяни тавсифдиҳандаи сифати хизматрасонии нақлиётӣ ҳамаҷониба тавсиф дода мешавад.

Мавқеи муҳимтаринро дар ин маврид ба даст овардани бузургии интегралӣ сифати хизматрасонии мусофирон ишғол менамояд. Масалан, дар кори илмӣ [1] коэффитсиенти сифати хизматрасонӣ чунин муайян карда мешавад:

$$K_{кач} = K_{\gamma} * K_{t} * K_{p} * K_{\phi}, \quad (4)$$

дар ин ҷо

$K_{\gamma}$  – коэффитсиенти пуршавии нисбии автобус;

$K_{t}$  – коэффитсиенти сарфи нисбии вақт барои ҷойивазнамоии мусофирон;

$K_{p}$  – коэффитсиенти мунтазамии ҳаракат;

$K_{\phi}$  – коэффитсиенти тағйирёбии динамикии сатҳи ҳолатҳои роҳу нақлиёт (ХРН).

Вобаста ба он меъёри коэффитсиентҳои сифати мусофирбарӣ истифода мегарданд, ки дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1 – Меъёри коэффитсиентҳои сифати мусофирбарӣ

Сатҳи хизматрасонӣ	Меъёри коэффитсиентҳои сифат				Коэффитсиенти интегралӣ сифати мусофирбарӣ
	$K_\gamma$	$K_t$	$K_p$	$K_{бд}$	
Намунавӣ	1,0	1,0	0,98	0,98	0,96
Хуб	0,88-0,94	0,92	0,95	0,85	0,65-0,69
Қаноатбахш	0,78	0,75	0,93	0,7	0,38
Ғайриқаноатбахш	пасттар аз 0,78	пасттар аз 0,75	пасттар аз 0,93	пасттар аз 0,7	пасттар аз 0,38

Аз рӯи пурсишҳои экспертии гузаронидаи Ташкилоти байналмилалӣ нақлиёти ҷамъиятӣ дар байни мутахассисони давлатҳои хориҷӣ, инчунин мутахассисони ватанӣ қиматҳои зерини коэффитсиентҳои ҳиссаӣ муқаррар гардиданд: пуршавии нисбии автобусҳо – 0,40; сарфи нисбии вақт барои сафар – 0,30; мунтазамии ҳаракат – 0,20 ва тағйирёбии динамикии сатҳи ҶРН – 0,10.

Ҳамин тариқ, сифати хизматрасонии мусофирон метавонад, ки бо ифодаи зерин навишта шавад:

$$K_{\text{кач}} = 0,40K_\gamma + 0,30K_t + 0,20K_p + 0,10K_{бд}, \quad (5)$$

Нишондиҳандаҳои интегралӣ дар боло овардашудаи сифати хизматрасонии мусофирон метавонад, ки бомуваффақият барои муайян намудани сифати мусофирбарӣ дар шаҳрҳо, инчунин робитаҳои наздишаҳрӣ, дар мавриде ки автобусҳо ба АВ ё АС вобаста карда нашудаанд, истифода гарданд. Агар нуқтаи ибтидоӣ (интиҳой)-и хатсайр ба АВ ё АС вобаста гардида бошад, пас сифати хизматрасонии мусофирон бояд дар АВ ё АС муайян карда шавад, инчунин коэффитсиенти сарфи нисбии вақт барои ҷойивазкунии мусофирон  $K_t$  бояд сарфи вақти мусофиронро барои ба даст овардани чиптаи сафар ва дар шароити имрӯзаи мусофирбарии ҷамъиятии шаҳри Душанбе вақти пур кардани тавозуни кортҳои нақлиётии мусофиронро дар нуқтаҳои терминалӣ дар бар гирад ва ғ.

Дар ин кор дар асоси таҳлили усулҳои муайяннамоии нишондиҳандаҳои интегралӣ (комплексӣ) пешниҳод мегардад, ки бузургии миёнаи геометрии нишондиҳандаҳои ҷузъӣ нисбатан мақсаднок аст.

Нишондиҳандаи сифати хизматрасонии мусофиронро метавон бо формулаи зерин ҳисоб кард:

$$K_{\text{кач}} = \sqrt{K_p * K_{кб} * K_t * K_\gamma * K_{бд}}, \quad (6)$$

дар ин ҷо

$$K_p - \text{коэффитсиенти мунтазамии ҳаракат, } K_p = \sum \frac{z_p^\phi}{z_p^{\text{пл}}},$$

$\sum z_p^\phi$  – иҷрои воқеии шумораи раҳ (рейс)-ҳо аз рӯи ҷадвал дар тамоми нуқтаҳои назоратӣ;

$\sum z_p^{\text{пл}}$  – шумораи раҳҳо аз рӯи ҷадвал;

$K_{кб}$  – коэффитсиенти баҳисобгирандаи хизматрасонии маданӣ-маишии мусофирон дар АВ ё АС,

$$K_{кб} = \sum \frac{K_{кб}^\phi}{K_{кб}^H};$$

$\sum K_{кб}^\phi$  – шумораи воқеии хизматҳои маданӣ-маишии ба мусофирон пешниҳодгардида дар АВ ё АС;

$\sum K_{кб}^H$  – шумораи меъёри хизматҳои маданӣ-маишии ба мусофирон пешниҳодгардида дар АВ ё АС мувофиқи раванди намунавии технологӣ;

$K_t$  – коэффитсиенти сарфи нисбии вақт барои ҷойивазнамоии мусофирон бо назардошти вақт барои ба даст овардани чиптаи сафар ва вақти пур кардани тавозуни кортҳои нақлиётии мусофирон дар нуқтаҳои терминалӣ дар АВ ё АС,  $K_t = \sum \frac{t^H + t_{пб}^H}{t^\phi + t_{пб}^\phi},$

$t_{пб}^H$  – сарфи меъёри вақт барои ба даст овардани чиптаи сафар ва вақти пур кардани тавозуни кортҳои нақлиётии мусофирон дар нуқтаҳои терминалӣ;

$t_{пб}^\phi$  – сарфи воқеии вақт барои ба даст овардани чиптаи сафар ва вақти пур кардани тавозуни кортҳои нақлиётии мусофирон дар нуқтаҳои терминалӣ;

$K_\gamma$  – коэффитсиенти пуршавии нисбии автобус;

$K_{бд}$  – коэффитсиенти тағйирёбии динамикии сатҳи ҳолатҳои роҳу нақлиёт,  $K_{бд} = 1 - \frac{z_{дтп}}{z_p^\phi},$

$z_{дтп}$  – шумораи раҳҳои иҷрошуда бо ҶРН;

$z_p^\phi$  – шумораи умумии роҳҳои иҷрогардида.

Алоқаи байни параметрҳои “воридшавӣ”, “раванд” ва “хориҷшавӣ”-и системаи интиқоли автомобилии мусофирон дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Ҷадвали 2 – Алокаи байни параметрҳои “воридшавӣ”, “раванд” ва “хориҷшавӣ”-и объекти системавии тадқиқот, интиқоли автомобилии мусофирон

Параметрҳои система	Ишораҳои шартӣ	Воҳиди ченак	Показатели
Воридшавӣ	X <sub>1</sub>	сомонӣ/ҳаз. мус. фирист	Таносуби фонди музди меҳнати МНАМ, АВ, АС, ки ба ҳаз.мусоф.фирист рост меояд.
	X <sub>2</sub>	сомонӣ/ҳаз. мус. фирист	Сармоягузори хоси МНАМ, АВ, АС, ки ба ҳаз.мусоф.фирист рост меояд.
	X <sub>3</sub>	ҳаз. мусоф.	Талаботи воқеии аҳоли нисбат ба интиқоли автомобилии мусофирон.
	X <sub>4</sub>	воҳид (ҳаз. сомонӣ)	Шумораи талаботии автобусҳои қонегардонандаи воқеии талаботи аҳоли нисбат ба интиқол.
Раванд	X <sub>5</sub>	-	Коеффитсиенти интенсификатсияи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар
	X <sub>6</sub>	-	Коеффитсиенти сифат ва маданияти хизматрасонии мусофирон дар АВ, АС ва хатсайр.
Хориҷшавӣ	X <sub>7</sub>	сомонӣ/нафар	Маҳсулнокии меҳнати кормандони МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар.

Чӣ тавре ки аз ҷадвал дида мешавад, нишондиҳандаҳои “воридшавӣ” тамоми элементҳои раванди истеҳсолот, яъне мусофирбариро тавассути нақлиёти автомобилӣ бо назардошти фаъолияти АВ ё АС тавсиф медиҳад.

Дар ин маврид қайд кардан зарур аст, талаботи воқеии аҳоли нисбат ба интиқол ба ҳисоб гирифта мешавад. Қимати ин нишондиҳанда дар натиҷаи гузаронидани тадқиқи селайи мусофирон бо сохтани муодилаи талабот нисбат ба интиқол муайян карда шуд. Фондҳои истеҳсолии МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар ба ҳисоб гирифта мешавад, агар шумораи автобусҳо дар ифодаи натуралӣ қисмати фаъоли фондҳои асосиро тавсиф диҳад, пас сармоягузори хоси МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар, ки ба ҳаз.мусоф.фирист рост меояд, фондҳои истеҳсолии боқимондари нишон медиҳад [3,5,6,7].

Қувваи қорӣ дар қори иҷрогардида бо ифодаи пулӣ, яъне тавассути фонди музди меҳнат ба ҳисоб гирифта мешавад. Пас аз гузариши МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар ба шароити нави хоҷагидорӣ иқтисодӣ бозоргонӣ дар назди онҳо роҳҳо ва имкониятҳои зиёд барои тағйир додани контингенти кормандон ва ихтисор намудани онҳо бо роҳи гузаштани вазифаҳои кормандони азқоррафта ба уҳдаи кормандони воқеӣ ва ҳавасмандгардонии моддӣ онҳо кушода шудааст. Аз ин рӯ, шумораи кормандон метавонад, ки вобаста аз рушди маҳсулнокии меҳнати инфиродӣ тағйир ёбад.

Раванди мусофирбарӣ бо нақлиёти автомобилӣ бо коеффитсиенти интенсификатсияи МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар, инчунин баланд бардоштани сифат ва маданияти хизматрасонии мусофирон аз ҷониби АВ ё АС-ҳо ва дар хатсайрҳо тавсиф дода мешавад. Аз ин ҷо, агар интенсификатсияи фаъолияти МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар ба самти баланд бардоштани самаранокии қори нақлиёти автомобилии мусофирбар нигаронида шуда бошад, пас нишондиҳандаи баланд бардоштани сифат ва маданияти хизматрасонии мусофирон хусусияти иҷтимоӣ-иқтисодӣ мегирад ва ба самти ба мусофирон пешниҳод намудани шароити қулай ва муносиб ҳангоми мусофирбарӣ аз ҷониби МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар нигаронида мешавад [8].

Бо назардошти он ки нишондиҳандаи маҳсулнокии меҳнат ҳамчун нишондиҳандаи маҷмӯавӣ дар худ як қатор нишондиҳандаҳои техникаӣ иқтисодӣ ва истифодабариро ҷамъбаст месозад ва дар алоҳидагӣ метавонанд ҳамчун натиҷаи ниҳии қори МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар доништа шаванд, ба сифати хориҷшавӣ маҳсулнокии меҳнати кормандони ин гуна муассисаҳо баромад менамояд. Инро метавон дар мисоли зерин инъикос намуд:

$$ПТ = \frac{D}{N_p} = \frac{Q \cdot Ц_6}{N_p}; \quad (7)$$

$$ПТ = \frac{P_{пкм} \cdot d_{ст}}{N_p} \text{ ё } ПТ = \frac{Q \cdot l_{ср} \cdot T}{N_p}; \quad (8)$$

$$ПТ = \frac{P_{пкм} \cdot T}{N_p}; \quad (9)$$

дар ин ҷо

Q – ҳаҷми мусофирбарӣ;

P<sub>пкм</sub> – гардиши мусофирон;

Ц<sub>6</sub> – арзиши сафар (чипта, қорти нақлиётӣ);

$I_{cp}$  – масофаи миёнаи мусофирбарӣ;  
 $T$  – тарифи мусофирбарӣ;  
 $D$  – дармаднокии МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар;  
 $N_p$  – шумораи кормандони МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар.

Маҳсулнокии меҳнат сатҳи истифодаи қувваи кориро дар МНАМ, АВ, АС, ширкатҳои хурду миёна ва калони хусусии нақлиёти мусофирбар тавсиф дода, натиҷаҳои ниҳии фаъолияти нақлиёти автомобилӣ мусофирбарро ба ҳисоб мегирад.

### Хулоса

Рушди илмию техникӣ барои ҳама соҳаҳо зарур аст ва соҳаи нақлиёт низ аз он баҳраманд мегардад. Асоснок гардонидани системаи нишондиҳандаҳои чузъӣ (ғайримаъмул)-и баҳодихӣ дар нақлиёти автомобилӣ мусофирбар бо истифода аз татбиқи натиҷаҳои рушди илмию техникӣ ва роҳҳои пешниҳодгардидаи мақолаи мазкур ба даст меояд. Такмил додани мусофирбарӣ ва баланд бардоштани сифати хизматрасонӣ, ки барои системаи нақлиёти автомобилӣ мусофирбар зарур аст, раванди фаъолияти муассисаҳои нақлиётро ба талаботи муосир мувофиқ мегардонад.

*Муқаррир:* Сайдализода Я.С. – д.т.н., профессор, сардори маркази тақмили ихтисоси ДҶИТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

### Адабиёт

1. Большаков А.М., Кравченко Н.А., Черникова С.Л. Повышения качества обслуживания пассажиров и эффективность работы автобусов. М. Транспорт, 1982. – 106 с.
2. Бронштейн Я.Т. Перспективы развития транспорта Таджикской ССР. Душанбе, Ирфон, 1973. – 210 с.
3. Вайншток И.М. Организация автобусных перевозок. М. Транспорт, 1982.
4. Макконнелл, К.Р. Экономика: принципы, проблемы и политика / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю. – В 2 т.: пер. с англ. – Т. 1. – М., 1996. – 974 с. 4.
5. Раджабов Р.К., Аликариев С.А. Рациональное размещение предприятий пассажирского автобусного транспорта в Таджикистане. Обзор инф. Душанбе, 1986. – 35 с.
6. Сангинов О.К. Проблема развития пассажирского автомобильного транспорта в горных районах Республики Таджикистан// Актуальные проблемы современной науки – М.: 2002. -С.407- 409.
7. Условия открытия городских, пригородных и междугородных автобусных маршрутов. Душанбе. Минавтотрансдорхоз. Тадж. ССР, 1977.
8. Юнусов Ф.М. Муносибати системаи дар омӯзиш ва баланд бардоштани самаранокии кори нақлиёти автомобилӣ мусофирбар//Паёми политехникӣ. Баҳши Таҳқиқоти муҳандисӣ. №1 (61), 2023. – Душанбе: ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2023. – С. 162-167.

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

TJ	RU	EN
Юнусов Фаридун Маъруфович	Юнусов Фаридун Маъруфович	Yunusov Faridun Marufovich
Номзади илмҳои иқтисодӣ	Кандидат экономических наук	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон	Международный университет туризма и предпринимательство Таджикистана	International University of tourism and entrepreneurship of Tajikistan
e-mail: <a href="mailto:fariduny@mail.ru">fariduny@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Рачабов Абдуҳалим Абдурахимович	Раджабов Абдуҳалим Абдурахимович	Radjabov Abduhalim Abdurahimovich
Номзади илмҳои иқтисодӣ	Кандидат экономических наук	Candidate of Economical Sciences
Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон	Международный университет туризма и предпринимательство Таджикистана	International University of tourism and entrepreneurship of Tajikistan
e-mail: <a href="mailto:raa_16.12.1978@mail.ru">raa_16.12.1978@mail.ru</a>		

УДК 536.21.24.01

## УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ДОБАВКАХ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

Б.И.Махсуд, Шарофи З.Ш.

Таджикский национальный университет

Развитие транспортной инфраструктуры и ее все более значимая роль в жизни общества негативно влияют на здоровье человека и состояние окружающей среды. Неконтролируемый рост количества транспортных средств и их влияние на экологию ставят под угрозу благополучие людей и экологическое состояние окружающей среды. В данной работе изучено влияние биологических добавок на процентное содержание вредных газовых выбросов при использовании углеводородного дизельного топлива, обсуждение ведется на примере бинарных систем керосина и отходов растительного масла.

**Ключевые слова:** биотопливо, растворы, горение, экологические параметры, бинарные.

### БЕҶТАР ШУДАНИ ТАРКИБИ ГАЗҶОИ ХОРИҶШУДА ҲАНГОМИ ИЛОВА НАМУДАНИ ПАРТОВҶОИ РАВҒАНИ РАСТАНӢ БА СӢЗИШВОРИИ ДИЗЕЛӢ

Б.И.Махсуд, Шарофӣ З.Ш

Рушди инфрасохтори нақлиёт ва нақши рӯзафзунӣ он дар ҳаёти ҷомеа ба саломатии инсон ва вазъи муҳити зист таъсири манфӣ мерасонад. Афзоиши беназорати шумораи воситаҳои нақлиёт ва таъсири онҳо ба муҳити зист ба неқӯаҳволии одамон ва ҳолати экологии муҳити зист таҳдид мекунад. Дар ин кор таъсири иловаҳои биологӣ ба фоизи партовҳои газҳои зараровар ҳангоми истифодаи сӯзишвориҳои дизелии карбогидридӣ бо мисоли системаҳои бинарии керосин ва партовҳои равғани растанӣ баррасӣ карда мешавад.

**Калидвожаҳо:** сӯзишвориҳои биологӣ, омехтаҳо, сӯзиш, параметрҳои экологӣ, системаи дучанда.

### IMPROVING THE QUALITY OF GAS EMISSIONS BY ADDING WASTE VEGETABLE OILS TO DIESEL DING VEGETABLE OILS AND FOOD WASTE TO DIESEL FUEL

B.I. Makhsud, Sharofi Z.Sh.

The development of transport infrastructure and its increasingly significant role in the life of society negatively affects human health and the state of the environment. Uncontrolled growth in the number of vehicles and their impact on the environment threatens the well-being of people and the environmental condition of the environment. In this work, the influence of biological additives on the percentage of harmful gas emissions when using hydrocarbon diesel fuel is studied, the discussion is carried out using the example of binary systems of kerosene and waste vegetable oil.

**Keywords:** biofuels, solutions, combustion, environmental parameters, binary.

#### Введение

Стремительное развитие транспортной системы и её возрастающая значимость в жизни людей не остаются без последствий для окружающей среды. Главным образом транспорт негативно влияет на окружающую среду, выбрасывая в атмосферу вредные газы, которые, в свою очередь, приводят к изменению климата и загрязнению воздуха. Из-за своей технологичности эти выбросы с достаточно большой скоростью оседают и распространяются в атмосфере, делая проблему защиты окружающей среды от транспортной деятельности актуальной в городах [1-6].

Применение биотоплива - один из перспективных способов борьбы с этими экологическими проблемами. Биотопливо - это топливо, полученное из различных биологических объектов, в том числе из переработанного сырого биотоплива, то есть из специально модифицированных растительных масел, производимых из семян хлопка, сои, кукурузы и других масличных культур [7]. В данной работе были исследованы пищевые отходы (отходы эфирного масла) местного фастфуда. Следовательно, отходы бытового фастфуда, которые приводят к потреблению нездоровой пищи и подвергают людей риску смертельных заболеваний, употребление которых не рекомендовано медицинской наукой (17.03.2020 нездоровое питание, выступление Сафина Т.В., академика Академии медицинских наук Г. Мироджова).

Добавление даже небольшого количества пищевых отходов, в том числе растительного масла в керосин значительно снижает количество вредных выбросов и оказывает положительное влияние на окружающую среду.

#### Эксперимент

В целях определения влияния добавки пищевых отходов на проблему охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда и оптимизации технологических процессов был использован серийный универсальный газоанализатор Ганк-4. Он позволяет автоматически измерять концентрацию смеси вредных веществ и показатели выхода газов (физических факторов) в атмосферу, в воздух рабочей зоны, производственные отходы и технологические процессы. В нормальных условиях прибор поглощает 1,8 л O<sub>2</sub> (кислорода) в минуту и отображает на своей панели результаты экспериментальных данных.

Маркировка лицевой части прибора представлена на рисунке 1.



Рисунок 1- Вид спереди

1-окно для просмотра ЖКИ; 2-значок визуальной сигнализации; 3-ограничения во время работы; 4-товарный знак; 5-название прибора и его модификация; 6-кнопки управления, 7-замок для закрытия крышки корпуса прибора.  
Примечание: Во взрывобезопасном исполнении кнопки «стрелка вверх» и «стрелка вниз» не используются.

Левая боковая часть прибора показана на рисунке 2.

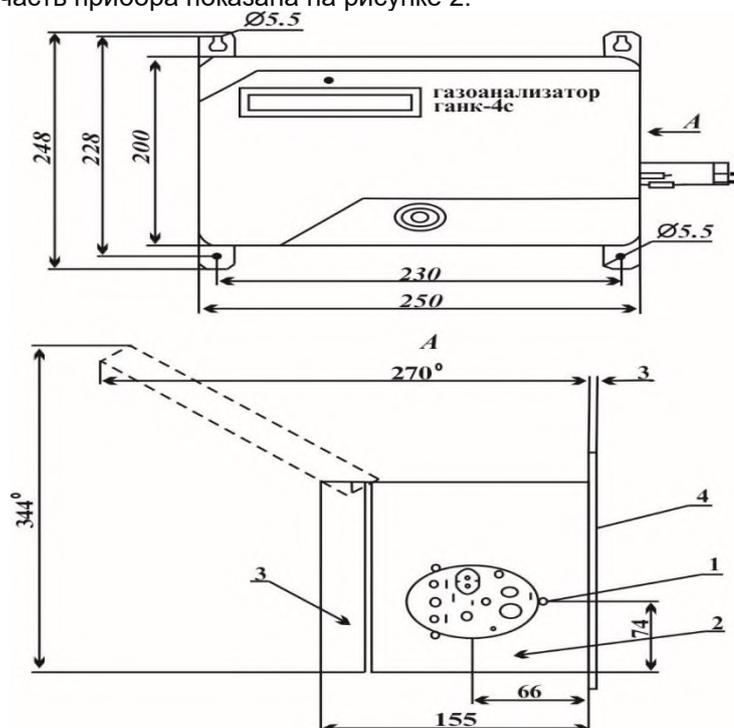


Рисунок 2-Габаритный чертеж ГАНК-4С

1-чашка для соединения трубок пневмоторакса и электрических разъемов; 2-пластиковый корпус; 3-откидная пластиковая крышка; 4-кронштейн для установки прибора на вертикальную стенку.

Принцип работы прибора основан на следующих методах определения массовой концентрации веществ в зависимости от класса контролируемого вещества:

- оптронный спектрофотометр, где измерения проводятся с использованием сменных химических кассет;

- кассеты электрохимические, полупроводниковые, термокаталитические.

В этом случае измерения производятся с помощью соответствующих встроенных датчиков.

Он основан на измерении скорости изменения оптической плотности (скорости потемнения) реактивной ленты, пропорциональной концентрации вещества, определяемой оптронно-спектрофотометрическим методом.

Формула расчета значения выходного тока ( $I$ , mA) для измеряемого значения массовой концентрации загрязняющих химических веществ (ЗХВ) (Стек,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) приведена ниже:

$$I = \frac{C_{\text{тек}} - C_{\text{min}}}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}} \cdot 16 + 4,$$

где  $C_{\text{max}}$  и  $C_{\text{min}}$  - верхний и нижний пределы измерения загрязнения воздуха, соответственно.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные влияния добавок отходов растительного масла на снижение токсичных выбросов бинарных систем авиационный керосин + отходы растительного масла.

Таблица 1 - Экспериментальные данные влияния добавок отходов растительного масла на снижение токсичных выбросов бинарных систем авиационный керосин + отходы растительного масла (мг/м<sup>3</sup>)

	CH <sub>5</sub> H <sub>6</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO
A	61,52623	18,48341	31,79487	7,269155	19,41341
B	67,56757	9,478673	43,7265	23,85069	41,95531
C	73,73609	5,687204	55,65812	40,43222	54,72067
D	79,84102	3,791469	67,58974	57,01375	67,468
E	85,9459	0,47393	79,5214	73,5953	80,2514

Образец:

A: 90% авиационный керосин + 10% отходы растительного масла;

B: 92% авиационный керосин + 8% отходы растительного масла;

C: 94% авиационный керосин + 6% отходы растительного масла;

D: 96% авиационный керосин + 4% отходы растительного масла;

E: 98% авиационный керосин + 2% отходы растительного масла;

Анализ состава выхлопных газов, полученных при сжигании биотоплива из растительного сырья, показал, что содержание углеводородов в них значительно ниже, чем в керосине, произведенном из сырой нефти (см. таблицу).

Данные рисунка 3 также свидетельствуют о снижении выбросов диоксида азота и серы при использовании биотоплива. Это связано с низким содержанием азота и серы в биотопливе по сравнению с традиционным топливом.

Результат экспериментов показал, что с увеличением концентрации растворителя (пищевых отходов) выбросы оксидов, за исключением оксида углерода (угарного газа, который увеличивается по линейному закону), уменьшаются по линейному закону. Эти данные согласуются с результатами, полученными в других работах [8].

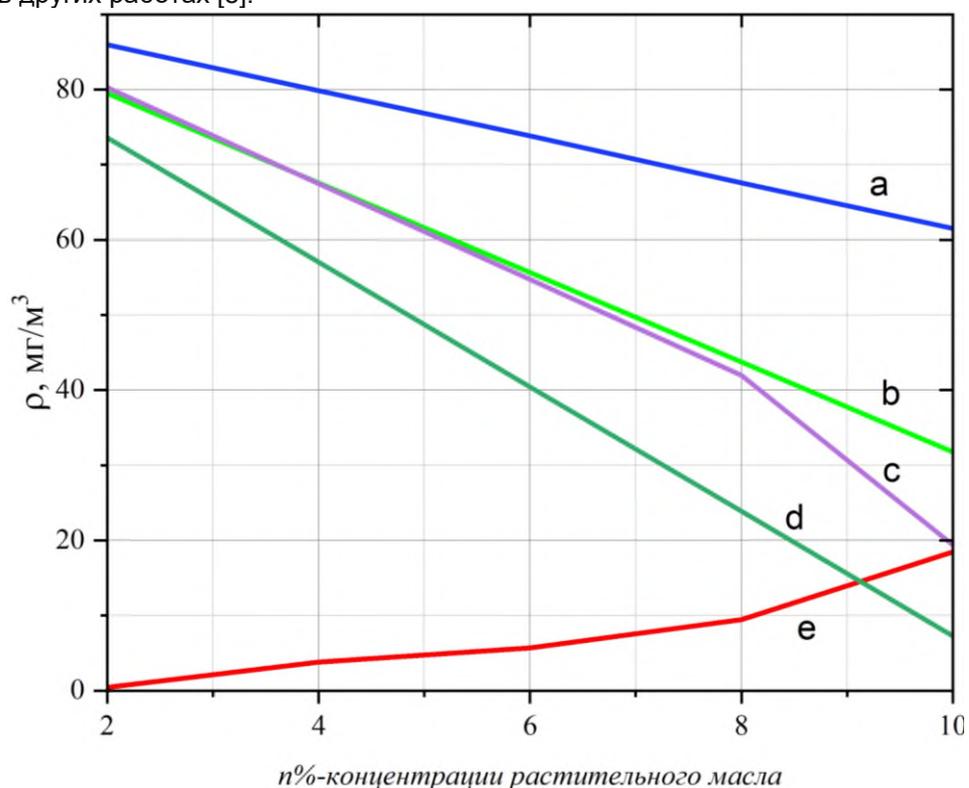


Рисунок 3 - Зависимость количества выбросов газов от концентрации системы авиационный керосин + отходы растительного масла в зависимости от концентрации растительного масла: а) CH<sub>5</sub>H<sub>6</sub>; б) SO<sub>2</sub>; в) NO; д) NO<sub>2</sub>; е) CO.

Следует заметить, что в работах [7,9] было обнаружено, что при увеличении концентрации растворителя (растительного масла) теплоемкость смеси уменьшается линейно.

### Обсуждение

В этом исследовании изучено влияние биологических добавок на содержание вредных газов в выхлопных газах при использовании углеводородного дизельного топлива на примере бинарных смесей керосина и отходов растительного масла. Установлено, что сжигание отходов растительных масел приводит к значительно меньшему образованию токсичных газов по сравнению с обычным углеводородным топливом. Это свойство может быть использовано для снижения выбросов вредных веществ при работе двигателей транспорта. С другой стороны, биотопливо, содержащее отходы растительных масел из пищевой промышленности, при попадании в окружающую среду может нанести ей значительный ущерб. В ходе эксперимента было продемонстрировано, что добавление отходов растительного масла в бинарную смесь керосина и отходов растительного масла оказывает положительный эффект и приводит к снижению количества токсичных отходов. Показано, что, используя этот метод, можно выбрать оптимальное процентное соотношение растительного масла в дизельном топливе для снижения вредных газовых выбросов, в зависимости от поставленной задачи. Были получены экспериментальные данные, подтверждающие улучшение экологических показателей системы керосин + отходы растительного масла в зависимости от концентрации растительного масла (от 10% до 90%).

Оптимальным путём решения этих экологических проблем является использование биодизельного топлива в виде добавок к традиционным дизельным топливам. Небольшое количество добавки масла растительного происхождения в авиационный керосин существенно уменьшает количество вредных выбросов различных продуктов сгорания и повышает долговечность двигателя. Экспериментальные данные по измерению количества токсичных выхлопных газов при работе авиационного двигателя показывают, что биодизельное топливо из растительных масел содержит меньше углерода, по сравнению с авиационным керосином, полученным из традиционного сырья. В связи с тем, что количество азота и серы в биодизельном топливе существенно ниже по сравнению с обычным топливом, их количество в составе выхлопных газов тоже уменьшится [6, 10].

Добавление биодизельного топлива положительно сказывается на долговечности двигателя, что является важным фактором для авиационной техники. Однако, как правило, биодизель имеет несколько меньшую энергетическую плотность, чем традиционное дизельное топливо. Это может потенциально привести к незначительному снижению мощности. Но современные технологии и добавки могут минимизировать этот эффект. Экономичность может варьироваться. Из-за меньшей энергетической плотности биодизеля может наблюдаться незначительное увеличение расхода топлива. Однако, улучшенное сгорание может компенсировать этот эффект. Это говорит о потенциальном снижении износа. Смазывающие свойства биодизеля могут способствовать уменьшению трения и износа деталей двигателя. Однако биодизель обладает большей гигроскопичностью, и это может привести к коррозии топливной системы, если не принять меры [6, 10, 11].

Необходимо проводить дальнейшие исследования для оптимизации пропорций смешивания биодизельного топлива с традиционным топливом. Следует развивать технологии производства биодизельного топлива из различных видов растительных масел, а также из отходов растительного происхождения. Использование биодизельного топлива может быть эффективно использовано не только в авиации, но и в других видах двигателей [12].

*Рецензент: Негматов Я. — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ИТГУ имени С. Айни.*

### Литература

1. А. Е. Ашихмин, М. В. Пискунов, П. А. Стрижак. Мультикритериальный анализ характеристик изготовленного в наномембранном реакторе биотоплива // Инженерно-физический журнал. ТОМ 98, №1 (2025). С. 163.
2. Способ производства биодизельного топлива из микроводорослей *Chlorella Kessleri*. Номер патента: RU 2819912. МПК C10L1/08.-28 мая 2024 г.
3. Sultanbekov R., Nazarova M. The influence of total sediment of petroleum products on the corrosiveness of the metal of the tanks during storage // I International Conference «Corrosion in the Oil and Gas Industry», 22-24 May 2019, Saint Petersburg, Russia. E3S Web of Conferences. 2019. № 01015. DOI: [10.1051/e3sconf/201912101015](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912101015)
4. Коршунов Г.И., Еремеева А.М., Дребенштедт К. Обоснование использования растительных добавок в дизельном топливе как способ защиты подземного персонала угольных шахт от влияния вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 39-47. DOI: [10.31897/PMI.2021.1.5](https://doi.org/10.31897/PMI.2021.1.5)
5. Е. М. Красникова, Н. В. Моисеенко, В. В. Гончаров. Об использовании отходов агропромышленного комплекса и деревообрабатывающей промышленности для получения высокоэнергетического топлива и углеродных адсорбентов. // Журнал физической химии -Том 97, Номер 4, 2023, стр 575-579.
6. В. В. Дорохов, Д. С. Романов, П. А. Стрижак. Композиционные жидкие топлива: экологические, энергетические, технико-экономические аспекты // Инженерно-физический журнал. ТОМ 98, №1 (2025). С. 126.

7. Асомиддинов З.Ш. Влияние добавок некоторых масел и гексана на теплофизические свойства авиационного керосина // Дис... канд. техн. наук. -Душанбе, -2021.-С.103.

8. Бердиев, Н.Ш., Зиявитдинов Ж.Ф., Фазлиддинов Ш.Ж., Саъдуллаев Ш.Т.У., Шеримбетов С.Г. Биодизель-альтернативный источник энергии. // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн., 2019. – № 6 (60). – С. 21-26.

9. Махсудов Б.И., Джураев Х.Ш., Асомиддинов З.Ш. Экологические аспекты влияния добавки некоторых растительных масел на термодинамические свойства углеводородсодержащих жидкостей // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2018. -№4.-С.98-103.

10. Махсуд Б.И., Асомиддинов З.Ш. Изменение химического состава вредных газовых выбросов при использовании растительных масел пищевых отходов в составе авиационного керосина //Материалы 14-Международная теплофизическая школа (МЕФШ-14) «ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА» Душанбе-Тамбов-Казань 09-10 декабря 2024 года. С.231-235.

11. Г. Я. Герасимов, В. Ю. Левашов. Кинетические модели горения керосина. // Инженерно-физический журнал. ТОМ 97, №2 (2024). С. 515.

12. Н.К. Досказиева, Л.И. Байтлесова. Использование отходов производства растительных масел для получения компонентов биодизеля. // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14. – № 1. – С. 254-257.

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

TJ	RU	EN
Махсуд Барот Исломзода	Махсуд Барот Исломзода	Mahsud Barot Islamzoda
Доктори илмҳои физика-математика, мудири кафедраи физикаи ҳаста	доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ядерной физики	Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Nuclear Physics
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: <a href="mailto:Maksudov_barot@mail.ru">Maksudov_barot@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Шарофӣ Зайниддин Шарофзода	Шарофи Зайниддин Шарофзода	Sharofi Zainiddin Sharafzoda
муаллими калони кафедраи мошинҳои ҳисоббарор, системаҳо ва шабакаҳо	старший преподаватель кафедры вычислительных машин, систем и сетей	Senior Lecturer, Department of Computers, Systems and Networks
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон	Таджикский национальный университет	Tajik National University
E-mail: <a href="mailto:asomiddinov_zainiddin@mail.com">asomiddinov_zainiddin@mail.com</a>		

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Р.А. Давлатшоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье рассматриваются особенности термонагруженности тормозных механизмов автотранспортных средств при эксплуатации в горных условиях. Приведены основные факторы, влияющие на тепловую нагрузку, и предложены методы её снижения для обеспечения безопасности движения. Анализируются последствия перегрева тормозных механизмов, а также представляются рекомендации по повышению их термостойкости и надежности.

**Ключевые слова:** тормозные системы, термонагруженность, эффективность торможения, уклон дороги, коэффициент трения, тормозной путь.

## ТАЪСИРИ ШИДДАТИ ГАРМӢ БА САМАРАНОКИИ СИСТЕМАҶОИ БОЗДОРӢ ДАР ШАРОИТИ КӢҲСОР

Р.А. Давлатшоев

Дар мақола хусусиятҳои ҳоси шиддати гармии механизмҳои боздории воситаҳои нақлиёт ҳангоми истифодабарӣ дар шароити кӯҳсор баррасӣ мешаванд. Омилҳои асосие, ки ба шиддати гармӣ таъсир мерасонанд, оварда шуда, усулҳои кам кардани он барои таъмини бехатарии ҳаракат пешниҳод мегарданд. Оқибатҳои гармшавии аз ҳад зиёди механизмҳои боздорӣ таҳлил шуда, тавсияҳо оид ба баланд бардоштани гарми устуворӣ ва боэътимодии онҳо пешниҳод шудаанд.

**Калимаҳои калидӣ:** системаҳои боздорӣ, сарбории гармӣ, самаранокии боздорӣ, нишебии роҳ, зарби соши, масофаи боздорӣ

## THE IMPACT OF THERMAL LOAD ON THE EFFICIENCY OF BRAKE SYSTEMS IN MOUNTAINOUS CONDITIONS

R.A. Davlatshoev

This article examines the features of the thermal load on the braking mechanisms of motor vehicles when operating in mountainous conditions. The main factors affecting the thermal load are outlined, and methods for its reduction to ensure traffic safety are proposed. The consequences of overheating brake mechanisms are analyzed, and recommendations for improving their thermal resistance and reliability are presented.

**Keywords:** brake systems, thermal load, braking efficiency, road gradient, coefficient of friction, braking distance.

### Введение

Тормозные системы играют ключевую роль в обеспечении безопасности автотранспортных средств, особенно в условиях сложного рельефа, таких как горные районы. В таких условиях транспортные средства подвергаются значительным нагрузкам, которые могут привести к перегреву тормозных механизмов и снижению их эффективности. Поэтому анализ термонагруженности тормозных систем становится особенно актуальным для повышения безопасности и надежности автотранспортных средств.

Горные условия эксплуатации характеризуются резкими перепадами высот, крутыми спусками и подъемами, что увеличивает вероятность перегрева тормозов. При длительных торможениях, которые часто требуются на извилистых и крутых участках дорог, тормозные механизмы испытывают значительные термические нагрузки. Это может привести к снижению эффективности тормозной системы, что, в свою очередь, увеличивает вероятность возникновения аварийных ситуаций. Понимание принципов перегрева тормозов и факторов, влияющих на их термонагруженность, имеет решающее значение для разработки эффективных мер, направленных на снижение риска отказов и повышения безопасности эксплуатации.

Цель данной статьи заключается в анализе и оценке термонагруженности тормозных механизмов автотранспортных средств, используемых в горных условиях.

В процессе исследования рассмотрены ключевые факторы, влияющие на тепловой режим тормозных систем, а также предложены рекомендации по улучшению их термостойкости и надежности. Основное внимание уделяется не только физико-математическим аспектам, но и практическому применению полученных результатов, что позволяет повысить уровень безопасности движения и эксплуатационные характеристики тормозных систем.

### Исследовательская часть

На тепловой режим тормозных систем влияют такие ключевые факторы, как продолжительность торможения, масса и скорость транспортного средства, уклон дороги, состояние и качество тормозных механизмов, температура окружающей среды, тип материалов компонентов, скорость теплоотвода и режим эксплуатации.

Длительное использование тормозов на спусках приводит к значительному накоплению тепла в тормозных механизмах. Это, как отмечается в исследованиях, может вызвать перегрев, снижение коэффициента трения и, в конечном итоге, привести к серьезным последствиям, включая потерю эффективности торможения и аварийные ситуации. Этот процесс требует внимательного анализа,

особенно для таких транспортных средств, как Mercedes-Benz E350, которые часто эксплуатируются в сложных условиях.

При торможении кинетическая энергия транспортного средства преобразуется в тепловую энергию, которая накапливается во фрикционных элементах тормозной системы. В условиях затяжных спусков, когда тормоза используются на протяжении длительного времени, возникают критические температуры, которые могут вызвать:

- Потерю фрикционных свойств: так называемый "тепловой увод" приводит к снижению эффективности торможения и увеличивает тормозной путь.
- Увеличение износа: перегрев тормозных дисков и колодок ускоряет их износ, что приводит к необходимости более частой замены и повышению эксплуатационных затрат.
- Термические деформации: они могут влиять на стабильность работы тормозной системы и приводить к потенциальным аварийным ситуациям.

Таким образом, для обеспечения безопасности и надежности работы тормозной системы легкового автомобиля, необходимо провести расчет теплонагруженности тормозных механизмов, чтобы оценить максимальные температуры и время, в течение которого тормоза могут эффективно функционировать без перегрева.

Для оценки теплонагруженности тормозных механизмов Mercedes-Benz E350 проведем следующие расчеты:

Определение параметров транспортного средства:

- Масса автомобиля  $m_a \approx 1800$  кг;
- Коэффициент сопротивления качению  $f \approx 0.015$ ;
- Ускорение свободного падения  $g = 9.81$  м/с<sup>2</sup>;
- Допустимое повышение температуры тормозных дисков
- $\Delta T_{\text{допустимое}} \approx 400^\circ\text{C}$  (зависит от материалов).

1. Расчет выделяемой тепловой энергии:

$$Q = G_a v_a \sin(\alpha) + G v f = m g v (\sin(\alpha) + f), \quad (1)$$

где:

- $Q$  — мощность тепловыделения, Вт;
- $G_a = m_a g$  — вес автомобиля, Н
- $v_a$  — скорость автомобиля, м/с;
- $\alpha$  — угол уклона, рад;
- $f$  — коэффициент сопротивления качению.

Для уклона с  $\alpha=5^\circ$  ( $\sin(5^\circ) \approx 0,087$  при скорости 30 м/с:

$$Q = 1800 \cdot 9.81 \cdot 30 \cdot (0.087 + 0.015) = 54092,64 \text{ Вт.}$$

2. Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{m_a v_a^2}{2} \quad (2)$$

Энергия, преобразуемая в тепло при полной остановке. Для  $v_a=30$  м/с:

$$E_k = \frac{1800 \cdot 30^2}{2} = 810 \text{ к Дж}$$

3. Количество тепла за время торможения:

$$Q_t = Q \cdot t, \quad (3)$$

где:

$t$  — время торможения, с. Если торможение длится 10 секунд:

$$Q_t = 54092,64 \cdot 10 = 540926,4 \text{ Дж (540.9264 кДж).}$$

4. Прирост температуры тормозных дисков:

$$\Delta T = \frac{Q_t}{c_m \cdot m_t}, \quad (4)$$

где:

- $c_m$  — удельная теплоёмкость материала тормозных дисков (для стали  $c_m=460$  Дж/(кг °С));
- $m_t$  — масса тормозного диска, кг (для Мерседес-Бенц E350  $m_t \approx 7$  кг). Для  $Q_t=540926,4$  Дж:

$$\Delta T = \frac{Q_t}{c_m m_t} = \frac{540926,4}{460 \cdot 7} = 167,99^\circ\text{C}$$

4. Допустимое время торможения:

$$t_{\text{допустимое}} = \frac{c_m m_t \Delta T_{\text{допустимое}}}{Q_t} \quad (5)$$

$$t_{\text{допустимое}} = \frac{460 \cdot 700 \cdot 400}{540926,4} = 23,81 \text{ с.}$$

Результаты расчёта для различных углов наклона дороги приведены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты расчёта для оценки термонагруженности тормозных механизмов Mercedes-Benz E350

$\alpha, ^\circ$	Q, Вт	Ек, кДж	t, с	Q <sub>t</sub> , Вт	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	t <sub>допуст.</sub> , с
0	7946,1	810	10	79461	24,68	162,09
5	54092,64	810	10	540926,4	167,99	23,81
11	108974,6	810	10	1089746	338,43	11,82

Зависимость прироста температуры тормозных дисков от уклона дороги

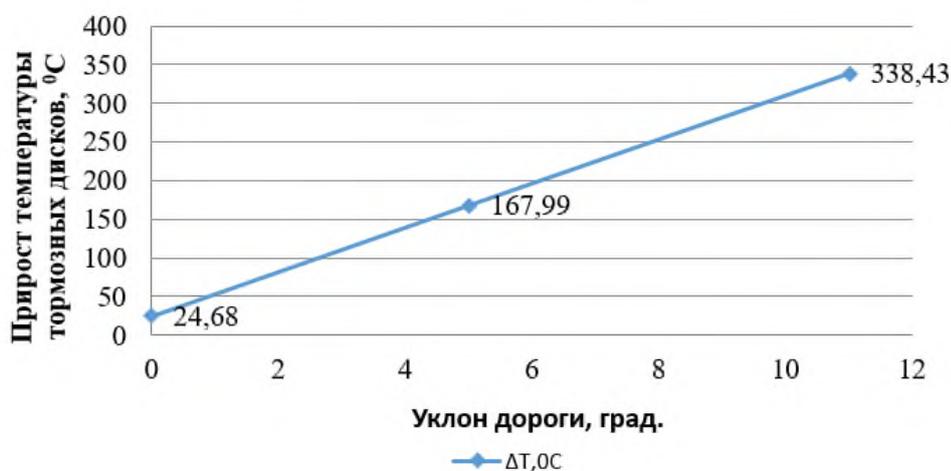


Рисунок 1 – Изменение прироста температуры тормозных дисков  
Допустимое время торможения

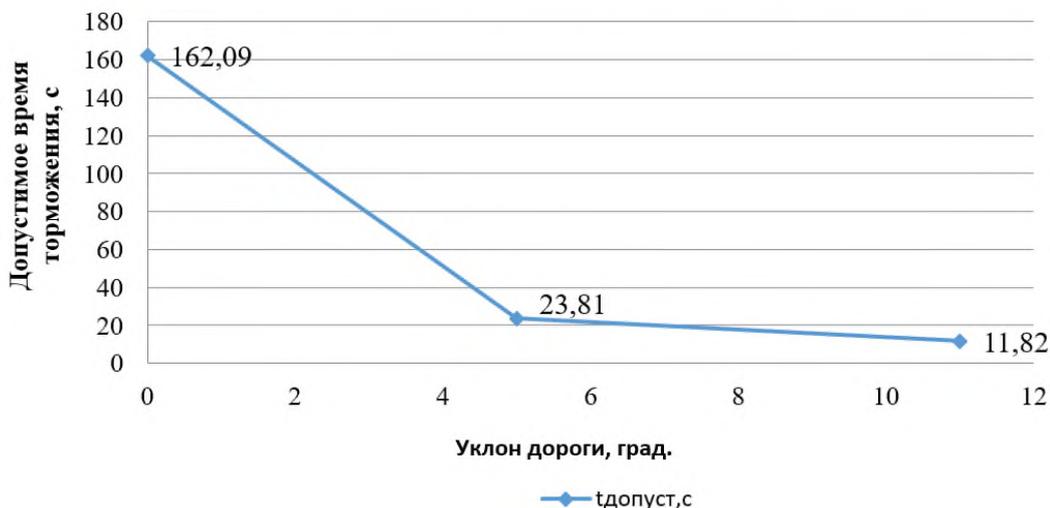


Рисунок 2 – Допустимое время торможения на различных уклонах дороги

Из таблицы 1 и графиков (рис. 1 и 2) видно, что с увеличением уклона дороги от  $\alpha = 0^\circ$  до  $\alpha = 11^\circ$  прирост температуры тормозных дисков автомобиля Mercedes-Benz E350 увеличивается с  $24,68^\circ\text{C}$  до  $338,43^\circ\text{C}$ , а допустимое время торможения сокращается с  $162,09$  с. до  $11,82$  с.

Чем больше угол уклона, тем выше нагрузка на тормозную систему для поддержания постоянной скорости движения. На уклонах сила тяжести создает дополнительное воздействие на транспортное средство, что влияет на его тормозные характеристики.

Для оценки влияния уклона на торможение автомобиля Mercedes-Benz E350 проведём расчёты, используя базовые физические принципы с параметрами: масса автомобиля  $1800$  кг (включая водителя и

багаж), коэффициент трения 0,35 (для разогретых тормозных материалов), ускорение свободного падения 9,81 м/с<sup>2</sup> и уклон дороги  $\alpha = 5^\circ$ .

Силы, действующие на автомобиль на уклоне, включают вес автомобиля и силу трения, а также компоненты силы тяжести, направленные вдоль и поперёк склона. При этом воздействие силы сопротивления воздуха ( $F_{\text{в}}$ ) считается незначительным и им пренебрегают.

а) Сила тяжести, действующая вдоль уклона, определяется как компонент веса автомобиля, направленный вниз по склону, и рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{н}} = m_a \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (6)$$

б) Нормальная сила, действующая на автомобиль на уклоне, определяется как компонент силы тяжести, перпендикулярный поверхности дороги. Она рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{н}} = m_a \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (7)$$

в) Сила торможения, действующая на автомобиль, определяется как произведение нормальной силы и коэффициента трения ( $\mu$ ). Она рассчитывается по формуле:

$$(F_{\text{торм.}} = \mu \cdot F_{\text{н}}) \quad (8)$$

Таким образом, с учетом нормальной силы, полная формула для силы торможения будет выглядеть следующим образом:

$$F_{\text{торм}} = \mu \cdot m_a \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (9)$$

Для остановки автомобиля на уклоне требуется, чтобы сила торможения компенсировала силу тяжести вдоль уклона. Условие равновесия:

$$F_{\text{торм}} \geq F_{\text{н}}$$

Подставим выражения:

$$\mu \cdot m_a \cdot g \cdot \cos(\alpha) \geq m_a \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

Сокращаем  $m_a$  и  $g$ :

$$\mu \cdot \cos(\alpha) \geq \sin(\alpha)$$

Проверка условия для заданных параметров

Угловые функции для  $\alpha=5^\circ$

- $\sin(5^\circ)=0,087$ ,
- $\cos(5^\circ)=0,996$ .

Подставим значения:

$$0,35 \cdot 0,996 \geq 0,087 \text{ или } 0,348 > 0,087$$

Условие выполняется, следовательно, сила торможения на уклонах от 1 до 19 градусов достаточна для удержания автомобиля при указанном коэффициенте трения  $\mu=0,35$ .

Результаты расчётов для остальных углов наклона дороги приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчётов для оценки влияния уклона на торможение автомобиля Mercedes-Benz E350

$\alpha,^\circ$	$\cos(\alpha)$	$\sin(\alpha)$	$\mu$	$\mu \cdot \cos(\alpha) \geq \sin(\alpha)$	Условия равновесия
0	1	0	0,35	$0,35 > 0$	выполняется
5	0,996	0,087	0,35	$0,348 > 0,087$	выполняется
11	0,982	0,191	0,35	$0,3437 > 0,191$	выполняется
19	0,945	0,325	0,35	$0,33 > 0,325$	выполняется
20	0,939	0,342	0,35	$0,329 < 0,342$	не выполняется

Из таблицы видно, что при уклоне дороги 20 градусов и более сила торможения оказывается недостаточной для удержания автомобиля при коэффициенте трения  $\mu=0,35$ .

При перегреве фрикционных материалов (дисков и колодок) наблюдается уменьшение их трения, что приводит к снижению эффективности торможения.

При длительном торможении или при движении на уклонах температура тормозных дисков и колодок может превышать 300–500<sup>0</sup> С, что приводит к термическому разрушению фрикционного слоя.

При температуре выше критической (250–300<sup>0</sup> С) коэффициент трения начинает снижаться по экспоненциальной зависимости:

$$\mu = \mu_0 \cdot e^{-k \cdot (T - T_0)} \quad (10)$$

где:

- $\mu_0$  — коэффициент трения при начальной температуре  $T_0$ ;
- $k$  — коэффициент, характеризующий чувствительность материала к температуре (может зависеть от типа фрикционного материала);
- $T$  — текущая температура материала.

Для расчета потери эффективности торможения для автомобиля Mercedes-Benz E350 необходимо учесть различные факторы, такие как температура тормозных компонентов, коэффициент трения, условия эксплуатации и динамика автомобиля. Рассмотрим этот процесс поэтапно.

Исходные данные:

- Масса автомобиля ( $m_a=1800$  кг) (для легкового автомобиля Мерседес Е 350);
- Скорость автомобиля ( $v_a=20$  м/с=72 км/ч);
- Угол уклона ( $\alpha=5^\circ$ ).
- Коэффициент трения ( $\mu$ ): (В нормальных условиях:  $\mu=0,35$ . При перегреве:  $\mu=0,2$ ).
- Ускорение свободного падения ( $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>).

Для определения нормальной силы на уклоне используем выражения (7).

Расчет нормальной силы для уклона  $\alpha=5^\circ$ :

$$F_H = 1800 \cdot 9,81 \cdot 0,996 = 17587\text{Н}$$

Теперь вычислим силу торможения (формула 8) для двух случаев: нормальные условия и перегрев.

1. В нормальных условиях ( $\mu=0,35$ ):

$$F_{\text{торм}} = 0,35 \cdot 17587 = 6155\text{Н}$$

2. При перегреве ( $\mu=0,2$ ):

$$F_{\text{торм}} = 0,2 \cdot 17587 = 3517\text{Н}$$

Замедление можно вычислить с помощью формулы:

$$j = g \cdot (\mu \cdot \cos(\alpha) - \sin(\alpha)) \quad (11)$$

В нормальных условиях ( $\mu=0,35$ ):

$$j = 9,81 \cdot (0,35 \cdot 0,996 - 0,886) = 9,81 \cdot 0,2616 = 2,57\text{м/с}^2$$

При перегреве ( $\mu=0,2$ ):

$$j = 9,81 \cdot (0,2 \cdot 0,996 - 0,886) = 9,81 \cdot 0,1122 = 1,10\text{м/с}^2$$

Тормозной путь можно вычислить по формуле:

$$S = \frac{v_a^2}{2 \cdot j} \quad (12)$$

В нормальных условиях (при  $v_a=20$  м/с):

$$S = \frac{20^2}{2 \cdot 2,57} = \frac{400}{5,14} = 77,8 \text{ м}$$

При перегреве:

$$S = \frac{20^2}{2 \cdot 1,10} = \frac{400}{2,20} = 181,8 \text{ м}$$

Потеря эффективности торможения

$$\text{Увеличение тормозного пути} = \frac{181,8 - 77,8}{77,8} \cdot 100\% = 133,5\%$$

Для большинства фрикционных материалов, используемых в тормозах,  $\mu_0$  может быть в пределах:

- 0,35–0,5 для сухих условий,
- 0,2–0,3 для разогретых или влажных условий.

Предположим, что начальный коэффициент трения  $\mu_0$  для тормозов Mercedes-Benz E класса составляет 0,35 при температуре 20 °С, и что  $k=0,01$  °С<sup>-1</sup> (приблизительное значение, которое может варьироваться в зависимости от материалов).

Рассмотрим различные температуры:

$T_1 = 20$  °С:

$$\mu(T_1) = 0,35 \cdot e^{-0,01 \cdot (20 - 20)} = 0,35$$

$T_2 = 100$  °С (при обычных условиях работы тормозов):

$$\mu(T_2) = 0,35 \cdot e^{-0,01 \cdot (100 - 20)} = 0,35 \cdot e^{-0,8} = 0,35 \cdot 0,4493 = 0,157$$

$T_3 = 200$  °С (при перегреве):

$$\mu(T_2) = 0,35 \cdot e^{-0,01 \cdot (200 - 20)} = 0,35 \cdot e^{-1,8} = 0,35 \cdot 0,1653 = 0,058$$

Результаты расчёта показывают, что коэффициент трения при температуре 20 °С составляет 0,35. При увеличении температуры до 100 °С коэффициент трения уменьшается на 55%, достигая значения 0,157. При дальнейшем нагреве до 200 °С снижение составляет уже 83%, и коэффициент трения уменьшается до 0,058.

### Результаты исследования

По результатам анализа и оценки термонагруженности тормозных механизмов легкового автомобиля Mercedes-Benz E350 установлено следующее:

а) Коэффициент трения ( $\mu$ ) в сочетании с углом наклона играет критическую роль в эффективности торможения, и при  $\mu=0,35$  на уклонах от 10° до 19° сила торможения достаточна для удержания автомобиля;

б) При  $\mu=0,35$  на уклонах от 20° и выше сила торможения оказывается недостаточной для удержания автомобиля;

в) При перегреве тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz E350 коэффициент трения снижается с 0,35 до 0,2;

г) Это приводит к увеличению тормозного пути более чем в 2,3 раза, увеличиваясь с 77,8 м до 181,8 м.;

д) При уклоне дороги  $\alpha=0^0$  прирост температуры тормозных дисков тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz E350 составляет 24,68 °С, а допустимое время торможения составляет 162,09с.;

е) При уклоне дороги  $\alpha=5^0$  прирост температуры тормозных дисков тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz E350 составляет 167,99 °С, а допустимое время торможения составляет 23,81с.;

ж) При уклоне дороги  $\alpha=11^0$  прирост температуры тормозных дисков тормозной системы автомобиля Mercedes-Benz E350 составляет 338,43 °С, а допустимое время торможения составляет 11,82с.;

з) При угле наклона  $\alpha = 5^\circ$  допустимое время торможения уменьшается на 85%, а при  $\alpha = 11^\circ$  - на 92%;

и) Значительное снижение коэффициента трения при повышении температуры тормозных компонентов приводит к ухудшению эффективности торможения;

к) Для автомобиля Mercedes-Benz E350 при перегреве тормозов (температура выше 200 °С) коэффициент трения уменьшается на 83%, что может привести к потере управления и увеличению тормозного пути.

Исходя из полученных результатов рекомендуются следующие ключевые методы для снижения термонагруженности тормозных механизмов при эксплуатации в горных условиях:

➤ Применение вспомогательных тормозных систем:

Использование горных тормозов (ретардеров, электромагнитных и гидродинамических замедлителей) позволяет снизить нагрузку на основные тормозные механизмы.

➤ Повышение теплоотдачи:

Улучшение конструкции тормозных дисков и барабанов (например, применение вентилируемых дисков) способствует более эффективному охлаждению.

➤ Использование термостойких материалов:

Применение фрикционных материалов с высокой термостойкостью и устойчивостью к износу увеличивает ресурс тормозной системы.

➤ Контроль скоростного режима:

Соблюдение рекомендованной скорости на спусках снижает необходимость интенсивного торможения.

➤ Регулярное техническое обслуживание:

Проверка состояния тормозной системы, своевременная замена тормозной жидкости и изношенных деталей минимизируют риск возникновения аварийных ситуаций.

### Заключение

Термонагруженность тормозных механизмов в горных условиях эксплуатации представляет серьёзную проблему для обеспечения безопасности движения. Оптимизация конструкции тормозных систем, использование вспомогательных средств торможения, регулярное обслуживание, контроль скоростного режима и применение качественных материалов позволяют значительно снизить риск перегрева и повысить надёжность работы транспортных средств в горных условиях. Важно учитывать ключевые факторы, влияющие на тепловой режим тормозных систем, при эксплуатации автомобиля, особенно в условиях частого и интенсивного торможения, таких как движение по горным дорогам или в пробках.

*Рецензент: Соибов А.А. — к.т.н., доцент кафедры «Физика твёрдых тел» Таджикского национального университета.*

### Литература

1. Турсунов А.А., Давлатшоев Р.А. Повышение тормозных свойств АТС в горных условиях эксплуатации. Душанбе, ТТУ 2010. – 248 с.

2. Иванов В.П., Петров А.С. "Тормозные системы автомобилей в сложных условиях эксплуатации". М.: Транспорт, 2020.
3. Козлов Д.И. "Методы повышения надёжности тормозных систем". СПб.: Машиностроение, 2018.
4. Smith J., Johnson R. "Thermal Analysis of Brake Discs under Mountain Driving Conditions". SAE Journal, 2021.
5. Miller T., Wang L. "Advanced Cooling Systems for Automotive Brakes". International Journal of Automotive Engineering, 2022.

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

TJ	RU	EN
Давлатшоев Рашид Асанхонович	Давлатшоев Рашид Асанхонович	Davlatshoev Rashid Asankhonovich
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi
н.и.т, дотсент	к.т.н, доцент	Candidate of Technical Sciences
E-mail: <a href="mailto:d_rashid71@mail.ru">d_rashid71@mail.ru</a>		

## МУШКИЛИҶОИ ЭКОЛОҶИ ДАР МАРКАЗҶОИ ЛОГИСТИКИЮ НАҚЛИЁТӢ: ТАҲЛИЛ ВА РОҶҶОИ ҶАЛЛИ ОНҶО

Ф.Н. Низомзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақолаи мазкур таҳлил ва омӯзиши мушкилиҳои экологӣ дар марказҳои логистику нақлиётӣ ва таъсири онҳо ба муҳити зист пешниҳод шудааст. Инчунин дар мақола, масъалаҳои асосии экологӣ, аз ҷумла ифлосшавии ҳаво, партовҳои саҳт, садо ва ларзиш, истеъмоли зиёд ва исрофи энергия, инчунин ифлосшавии об баррасӣ мешаванд. Муаллиф роҳҳои ҳалли мушкилиҳои мазкурро бо истифодаи технологияҳои сабз, энергияҳои барқароршаванда, ва таҷҳизоти камсадо экологиро пешниҳод менамояд. Ин мақола ба муҳаққиқон, мутахассисони соҳаи логистика ва унвонҷуёну аспирантон, ки дар самти ҳифзи муҳити зист ва нақлиёт фаъолият менамоянд, нигаронида шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** мушкилиҳои экологӣ, марказҳои логистику нақлиётӣ, ифлосшавии ҳаво, партовҳои саҳт, садо ва ларзиш, ифлосшавии об, технологияҳои сабз, энергияҳои барқароршаванда, муҳити зист.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРАХ: АНАЛИЗ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Ф.Н. Низомзода

В данной статье представлен анализ и исследование экологических проблем в транспортно-логистических центрах и их влияния на окружающую среду. Также рассматриваются основные экологические вопросы, такие как загрязнение воздуха, твердые отходы, шум и вибрация, чрезмерное потребление энергии, а также загрязнение воды. Автор предлагает решения этих проблем с использованием зеленых технологий, возобновляемых источников энергии, оборудования с низким уровнем шума. Статья предназначена для исследователей, специалистов в области логистики, а также магистрантов и аспирантов, работающих в области охраны окружающей среды и транспорта.

**Ключевые слова:** экологические проблемы, логистические центры, транспорт, загрязнение воздуха, твердые отходы, шум и вибрация, загрязнение воды, зеленые технологии, возобновляемые источники энергии, окружающая среда.

## ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN TRANSPORT AND LOGISTICS CENTERS: ANALYSIS AND SOLUTIONS

F.N. Nizomzoda

This article presents an analysis and study of environmental problems in transport and logistics centers and their impact on the environment. It also addresses key environmental issues such as air pollution, solid waste, noise and vibration, excessive energy consumption, and water pollution. The author proposes solutions to these problems using green technologies, renewable energy sources, and low-noise equipment. The article is intended for researchers, logistics specialists, and graduate and postgraduate students working in the field of environmental protection and transport.

**Keywords:** environmental issues, logistics centers, transportation, air pollution, solid waste, noise and vibration, water pollution, green technologies, renewable energy sources, environment.

### Муқаддима

Масъалаҳои экологӣ ва вазъи санитарӣ-эпидемиологӣ дар марказҳои нақлиётӣ-логистикӣ (МНЛ) дар таъмини рушди устувори минтақа ва нигоҳ доштани саломатии аҳоли нақши калидӣ мебошанд. Ҷумҳурии Тоҷикистон, ҳамчун кишваре бо иқтисоди рушдбанд дар самти экология ва вазъи санитарӣ бо як қатор мушкилотҳо ҳангоми ташаккул ва ҷойгирнамоии инфрасохторҳои нақлиётӣ рӯ ба рӯ мебошад. Нисбати масъалаи мазкур як қатор нашрияҳои илмӣ аз тарафи олимони интишоргардиданд, ки онҳо паҳлуҳои таъсири газҳои ихроҷшаванда ба муҳит, нақлиёт ва экология, инчунин энергияи сабзро дар қорҳои ба ҷопрасонидаи худ нишон додаанд. Ба монанди: Т.А. Прокофьева, Г.В. Савин, В.И. Апатцев, И.М. Басыров ва ғайраҳо [1]. Аммо ба таври возеъ мушкилиҳои экологӣ дар марказҳои логистику нақлиётӣ, таҳлил ва роҳҳои ҳалли онҳо дар мақолаи мазкур оварда шудааст. Инчунин масъалаи нақши логистика дар рушди иқтисодиёти кишвар дар мақолаи Низомзода Ф.Н. [2] оварда шудааст. Бо ташаккул ва сохтани қорҳои саноатӣ, сохтмонӣ, кишоварзӣ афзоиши ҳаҷми интиқоли мол ва гардиши бор зиёд гардида, тавачҷӯх махсус ба амният ва таъмини экологӣ санитарӣ оварда мерасонад. Марказҳои нақлиётӣ-логистикӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои таъмини бефосилаи соҳаҳои муҳталифи иқтисод, аз ҷумла кишоварзӣ, саноат ва энергетикӣ, аҳамияти муҳими стратегӣ доранд. Ҳангоми ҷамъшавии барзиёди борҳо дар ин марказҳо мушкилоти экологӣ ба амал омада, таъсири худро ба муҳити атроф мерасонанд. Масъалаҳои асосии экологӣ, ки дар марказҳои нақлиётӣ-логистикӣ (МЛН) вучуд доранд, ин ифлосшавии ҳавои дохилӣ ва берунӣ, ҷамъ шудани партовҳо, вазъи санитарӣ-эпидемиологӣ ва шароити гигиенӣ мебошанд. Дар ин марказҳо аксар вақт вайроншавии ҳавои дохилӣ аз ҳисоби истифодаи автомобилҳои бо сузишворӣ ҳаракаткунанда ба амал меоянд, ки метавонад боиси паҳншавии бемориҳои сироятӣ ва бад шудани саломатии қорамандон ва сокинони маҳаллӣ гардад. Барои ҳалли самараноки мушкилотҳои ба амал омада лозим аст, ки як қатор чораҳо ҷиҳати беҳтар намудани вазъи экологӣ ва инчунин ба вучуд овардани шароити беҳатар ва солим барои қорамандон дар марказҳои логистику нақлиётӣ қабул карда шаванд.

**Мақсади асосии мақолаи мазкур низ мушкилиҳои экологӣ дар марказҳои логистику нақлиётӣ: таҳлил ва роҳҳои ҳалли онҳо мебошад.**

Яке аз мушкилиҳои асосӣ ҳангоми ташаккул ва фаъолияти марказҳои логистикию нақлиётӣ ба амал меояд, ин ифлосшавии ҳаво ба ҳисоб меравад, ки бо як қатор сабабҳо ба амал меояд. Ин мушкилӣ бештар дар марказҳои ба амал меояд, ки шиддатнокии ҳаракат зиёд буда, партовҳои моддаҳои зараровар аз воситаҳои нақлиётӣ боркаш ба амал меоянд. Ин ҳолат бештар дар марказҳои калони логистикию ва анборҳо аз ҳисоби шиддатнокии ҳаракат, вақти иҷрои корҳои боркунию борфарорӣ ва таҳвили борҳо аз як намуди воситаи нақлиёт ба дигар ба амал меояд. Дар ин ҳолат партовҳои гази карбон ( $\text{CO}_2$ ), нитроген ва дигар газҳо ба муҳит партофта шуда, метавонанд ба саломати инсон таъсири худро расонанд.

Ҳалли мушкилии баамаломеда метавонад бо истифодабарии воситаи нақлиётӣ аз ҷиҳати экологӣ тоза ба монанди автомобилҳои барқӣ, ки аз ҷиҳати экологӣ ва садою ларзиш мувофиқ аст ва партовҳои газӣ ба муҳит надорад, аини мудаост. Ин намуди автомобилҳо на танҳо аз ҷиҳати экологӣ тоза, балки аз ҷиҳати хароҷотҳои сузишворӣ фоидаовар мебошад.



Расми 1 – Автомобили бесарнишини барқӣ ҳангоми таҳвили борҳо дар марказҳои логистикию нақлиётӣ

Инчунин мебояд қайд намуд, ки сохтан ва ташаккул додани минтақаи сабз метавонад ифлосшавии ҳаворо паст намуда, ба беҳтарнамоӣ ва тозанамоии ҳаво мусоидат намояд. Барои амалӣ намудани масъалаи мазкур истифодаи дастгоҳҳои ҳавотозанамоӣ аз қабيلي равоқҳо бомаврид мебошад. Ҳангоми гашти автомобилҳо ва таҳвили борҳо ҳавои дохили марказ аз ҳисоби газҳои хоричшаванда ифлос гардида, метавонанд ба муҳити атроф зарар расонанд. Дар ин ҳолат насби филтрҳои ҳавотозанамоӣ ба миён меояд, ки метавонанд ҳавои дохилии марказро тоза намоянд. Дар расми дар поён овардашуда намуди филтр барои тозакунии ҳаво дар марказҳои логистикию нақлиётӣ оварда шудааст.



Расми 2 – Равоқ барои тозакунии ҳаво дар марказҳои логистикию нақлиётӣ

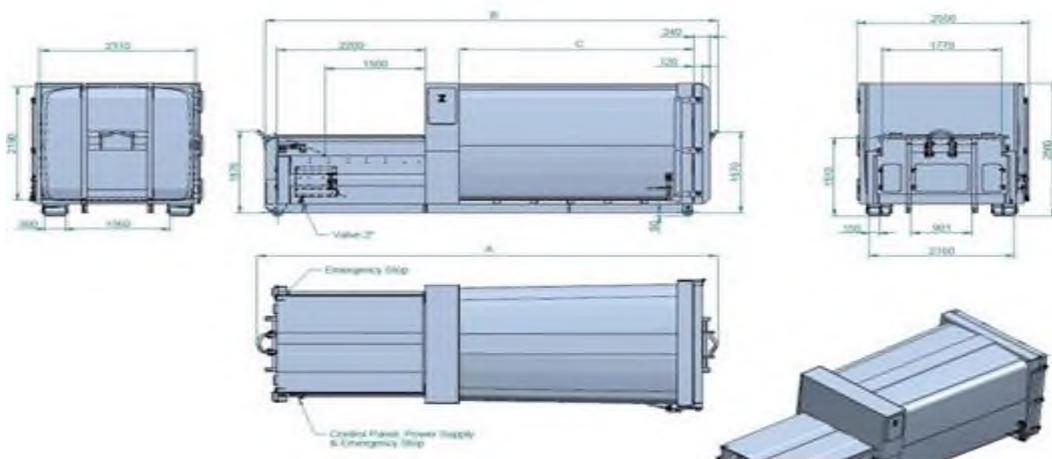
Мушкилии дигари муҳими экологӣ, ки дар натиҷаи фаъолияти марказҳои логистикию нақлиётӣ (МЛН) ба вучуд меояд, ифлоснамоии захираҳои обӣ мебошад. Ин гуна ифлосшавӣ метавонад аз манбаъҳои гуногун, аз ҷумла истифодаи нодуруст ё олуданамоии об, якҷо қардани моддаҳои захрнок ва химикатҳо дар рӯдхонаҳо, кӯлҳо ё обанборҳои мавҷуданд, ба вучуд ояд, ки ин метавонад боиси коҳиши сифат ва мавҷудияти намудҳои гуногуни обзистӣ (масалан, моҳии обӣ) гардад, ки барои экосистемаи маҳаллӣ ва инчунин, барои ҳаёти аҳолии муҳити атроф хатар эҷод намояд. Барои ҳалли ин мушкилӣ мебояд назорати доимии ҳолати обанборҳо ва манбаъҳои обиро ба роҳ монанд. Бо мақсади сарӣ вақт

ошкор намудани ифлосшавии эхтимоли ҳолати обанборҳо ва манбаъҳои об дар марказҳои логистикӣ мебоянд назорати мунтазам ҷорӣ намуд. Инчунин ҷорӣ намудани системаҳои самараноки тозанамоии об ва ихроҷи партовҳои он бо истифодаи зарфҳои обтаъминкунию обихроҷнамоӣ бомаврид ва самаранок мебошад.



Расми 3 – Дастгоҳ барои тозанамоӣ ва назорати доими об дар марказҳои логистикӣ нақлиётӣ

Дар раванди фаъолияти босамари кори марказҳои логистикӣ нақлиётӣ миқдори зиёди партовҳо ба муҳим бамаъл меоянд. Ин намуди партовҳо аз ҳисоби масолеҳҳои бастабандӣ, партовҳои сохтмонӣ, инчунин партовҳои химиявӣ ҳангоми истифодабарии воситаҳои нақлиёт ба мал меоянд, ки онҳо ба олушавии хоки замин ва бамаъл овардани бемориҳо оварда мерасад. Ҷиҳати ҳалли мушкилии ба амаломеда бояд усули ҷобачогузорӣ ва коркарди партовҳоро бо навбат истифода намуд, ки ин ба камшавии партовҳои ба муҳит таъсирунанда оварда мерасонад. Инчунин ҷорӣ намудани технологияҳои муосири партовтозакунии метавонанд ба ҷамъшавӣ ва таъсири онҳо ба муҳит оварда расонанд. Таҷрибаи давлатҳои хориҷӣ нишон медиҳанд, ки истифодаи технологияҳои муосир ва дастгоҳҳо боиси зарари ками партовҳои корхонаҳо гардад. Масалан дар марказҳои логистикӣ давлатҳои хориҷа чунин дастгоҳҳо барои исканҷа намудани масолеҳҳои борбандӣ истифода мебаранд.



Расми 4 – Пресс-компактор барои ҷамъкунӣ ва ҳамҷоянамоии масолеҳҳои борбандӣ

Ҷиҳати беҳатари раванди боркашонӣ, ҳамкорӣ ва ҳамоҳангии раванди нақлиётӣ, инчунин таъмини беҳатари муҳити атроф бояд талаботҳои зиддисухторӣ дар марказҳои логистикӣ нақлиётӣ риоя карда шаванд. Дар ин ҳолат, ки марказҳои логистикӣ нақлиётӣ ҳамчун объекти ҷамъшавии анбуҳи бору нақлиётиро иҷро менамоянд, бояд дастгоҳҳои зиддисухторӣ ва олотҳои беҳатарӣ дар ин марказҳо насб ва барои истифодабарӣ омода бошанд. Инчунин дар марказҳои логистикӣ нақлиётӣ таблоҳои огоҳикунандаи овезон пеш сар задани сухтор насб бошанд ва нақшаи таҳлилии одамон дар девораҳои дохили бино бо нишондоди дарҳои он овезон бошад.



Расми 5 – Системаи хизматрасони дастгоҳҳои зиддисухторӣ дар анборҳои логистикию нақлиётӣ

Раванди боркашонӣ, ки шомили интиқол, нигоҳдорӣ ва харидориҳои молӣ мебошад, бояд ба стандартҳо ва талаботҳои беҳатарӣ мувофиқат кунад. Ба ин васила, таҷҳизотҳои, ки барои боркашонӣ истифода мешаванд, бояд ҳамеша дар ҳолати кори комил ва беҳатар бошанд. Стандартҳо ва талаботҳои беҳатарӣ, ки дар ин ҳода риоя мешаванд, метавонанд маводи бориро аз хатарҳои гуногун, ба монанди офатҳои табиӣ ва ё суختор муҳофизат намоянд.

Марказҳои логистикию нақлиётӣ, ки ҳамчун объекти ҷамъшавии анбуҳи бору нақлиёт ҳисоб мешаванд, метавонанд ҳамчун нуқтаи хизматрасони истеъмолкунандагон фаъолият намоянд ва ҳангоми гашти воситаҳои нақлиёт ва иҷрои раванди нақлиётӣ дар ин марказҳо ба муҳити атроф таъсир расонанд. Мушкилиҳои экологие, ки дар марказҳои логистикию нақлиётӣ пайдо мешаванд асосан аз ҳисоби партовҳо, газҳои ихроҷшаванда ва муҳит мебошанд. Аммо таҷрибаи давлатҳои хориҷа нишон медиҳад, ки таъмини энергияи сабз, логистикаи сабз дар ин объектҳо бо истифодаи автомобилҳои барқӣ ва гибридӣ, дронҳо ва инчунин боркунанҳои барқӣ амалӣ мешаванд. Дар мақолаи мазкур низ ҷиҳати бартарафнамоии мушкилиҳои экологӣ дар марказҳои логистикию нақлиётӣ оварда шудаанд.

*Муқарриз: Саломзода Ҷ.С. — н.и.т., дотсент, директори МД «Нақлиёти автомобилӣ ва хизматрасони логистикию Вазорати нақлиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон»*

### Адабиёт

1. В.И Апатцев, И.М Басыров. Оценка факторов, влияющих на выбор оптимального месторасположения объектов логистической инфраструктуры - Наука и техника транспорта, 2017.
2. Ф.Н. Низомзода. Роль и значение транспортной логистики в развитии экономики страны – Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования № 1 (65) 2024 г.
3. Громыко, А. Н. (2020). Управление цепями поставок. СПб.: Питер. Исследуется управление цепями поставок, включая роль логистических центров.
4. Ф.Н. Низомзода. Размещение транспортно-логистических центров в Республике Таджикистан и их роль в повышении эффективности работы транспорта. – Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования № 1 (65) 2024 г.
5. В.И Апатцев, И.М Басыров. Оценка факторов, влияющих на выбор оптимального месторасположения объектов логистической инфраструктуры - Наука и техника транспорта, 2017.

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

TJ	RU	EN
Низомзода Фахридин Низом	Низомзода Фахридин Низом	Nizomzoda Fakhridin Nizom
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences
ДТТ ба номи академик М.С.Осимӣ	ТТУ имени академика М.С.Осими	TTU named after acadevician M.S.Osimi
E-mail: <a href="mailto:fnizomzoda@list.ru">fnizomzoda@list.ru</a>		

## ДОРОГИ С ЦЕМЕНТОБЕТОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ЗАЛОГ ИХ ДОЛГЛЕВЧНОСТИ

Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Межправительственный совет дорожников СНГ

Главной технической проблемой автомобильных дорог в странах СНГ является прогрессирующая потеря несущей способности существующих дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. Важнейшей особенностью является то, что в Европе, в том числе в Германии дороги с цементобетонным покрытием, построенные после 70-х годов 20-го века, показали, что они способны выдержать заложенный при проектировании срок службы до 40 лет и более. В Беларуси строительство дорог с цементобетонными покрытиями было принято в 2014 году и в республике построено более 188 км таких магистралей. В текущем году запланировано возвести еще порядка 30 км. В Казахстане за последние десять лет протяженность дорог с цементобетонным покрытием увеличилась в 15 раз — с 97 км до почти 1,5 тыс. км. Реализация данных проектов послужила поводом для применения новых технических и технологических решений, поскольку динамические нагрузки и погодные условия в республике способствовали разрушению применяемого бетона: приводили к шелушению и образованию других дефектов. Как сообщают представители АО «Китайская железнодорожная строительная корпорация» (CRCC), что цементобетонное покрытие подходит для большинства климатических зон Китая. В зависимости от категории дорог расчетный срок службы асфальтобетона в Китае составляет от 8 до 18 лет, а цементобетона — от 20 до 30 лет. В стране построено около 4,6 млн км дорог с цементобетонным покрытием. Изучив опыт применения цементобетонных покрытий в Казахстане, Беларуси, России и Узбекистане, а также учитывая имеющееся достаточное количество заводов по производству цемента, Таджикистану, также необходимо перейти к строительству дорог с цементобетонным покрытием.

*Ключевые слова:* цементобетонные покрытия, срок службы, несущая способность, реконструкция, долговечность.

## РОҶҶО БО БОЛОҶҶИ СЕМЕНТОБЕТОНИ – КАФОЛАТИ ХИЗМАТИ ДУРУДАРОЗИ ОНҶО

Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов

Мушкилоти асосии техникии роҳҳои автомобилгард дар Иттиҳоди Давлатҳои Мустақил нест шудани қобилияти борбардорӣ ва вайрон шудани роҳҳо бо болоҷҷи асфальтобетонӣ мебошад. Хусусияти асосӣ дар он аст, ки дар Аврупо, аз он ҷумла дар Олмон, роҳҳои сементобетонии солҳои 70-уми асри XX сохташуда, то муҳлати лоиҳавӣ, яъне 40 сол ва зиёда аз он хизмат намудаанд. Дар Беларуссия сохтмони роҳҳо бо болоҷҷи сементобетонӣ соли 2014 оғоз гардида, 188 км чунин роҳҳо мавриди истифода қарор доранд. Дар соли ҷорӣ боз сохтмони 30 км чунин роҳҳо ба нақша гирифта шудааст. Дар Қазоқистон, дар даҳ соли охир дарозии роҳҳои сементобетонӣ 15 маротиба зиёд, аз 97 км то 1,5 ҳазор км расонида шудааст. Ҳангоми татбиқи лоиҳаҳо, қабули дигар ҳалҳои техникии ва технологияи нав ба миён омад, зеро зеро таъсири қувваҳои динамикии ва шароити иқлимӣ вайроншавии қабаи бетон ба миён омад, ки ҷудошавии заррачаҳои бетон ва дигар нуқсонҳо оварда расонид. Аз иттилоҳои ҚС “Корпоратсияи хитойи сохтмони роҳҳои оҳан” бармеояд, ки сохтмони роҳҳо бо болоҷҷи бетонӣ қариб дар ҳамаи ҳудуди Хитой имконпазир мебошад ва дар мамлакат айни замон 4,6 млн км роҳҳои бетонӣ сохта шудаанд, ки муҳлати хизматрасонишон 20-30 сол буда, роҳҳои асфальтобетонӣ ҳамагӣ 8-18 сол хизмат мекунад. Тоҷикистонро низ зарур аст, ки таҷрибаи бойи давлатҳои дӯст ва ҳамсоя (Хитой, Қазоқистон, Беларуссия, Россия ва Узбекистон)-ро мавриди омӯзиш қарор дода, бо назардошти истеҳсоли зиёди семент дар ҷумҳурӣ, барои сохтмони роҳҳои бетонӣ оғоз намояд.

*Калидвожаҳо:* Болоҷҷиҳои сементобетонӣ, муҳлати хизмат, қобилияти борбардорӣ, азнавсозӣ, хизмати дурудароз.

## ROADS WITH CEMENT-CONCRETE IS KEY TO THEIR DURABILITY

L.S. Ismoilzoda, B.B. Karimov

The main technical problem of roads in the countries of the CIS region is the progressive loss of the bearing capacity of existing asphalt-paved road surfaces. The most important feature is that in Europe, including in Germany, cement-concrete roads built after the 70s of the 20th century have shown that they are able to withstand the planned service life of up to 40 years and more. In order to use local stone materials as pavement for sidewalks, park areas, passages, rest areas and roads' pavement of the lower category, it is necessary to prepare legal regulatory, technical and normative documents for the planned and proper implementation of new technologies on roads with stone materials. In Belarus, the construction of roads with cement-concrete pavement was adopted in 2014 and more than 188 km of such roads are already built in the republic. It is planned to build about 30 km more this year. In Kazakhstan, over the past ten years, the length of roads with cement-concrete pavement has increased 15 times - from 97 km to nearly 1.5 thousand km. The implementation of these projects has led to the use of new technical and technological solutions, since the dynamic loads and weather conditions in the republic contributed to the destruction of the concrete used: leading to peeling and the formation of other defects. According to representatives of China Railway Construction Corporation (CRCC), the cement-concrete pavement is suitable for most climatic zones of China. Depending on the road category, the estimated service life of asphalt concrete in China ranges from 8 to 18 years, while that of cement concrete – from 20 to 30 years. About 4.6 million km of roads with cement-concrete pavement have been built in the country. Having studied the experience of using cement-concrete pavements in Kazakhstan, Belarus, Russia and Uzbekistan, along with the consideration of the current Tajikistan having sufficient number of cement production plants, it is necessary to also transit to the construction of roads with cement-concrete pavement.

*Keywords:* Cement – concrete pavements, service life, bearing capacity, reconstruction, durability.

### Общая часть

Главной технической проблемой автомобильных дорог в странах СНГ является прогрессирующая потеря несущей способности существующих дорожных одежд.

В настоящее время в России доля цементобетонных дорог не превышает 2%, а в других странах СНГ еще меньше. При этом в мире такие дороги строят в 50 странах, где на них приходится от 15% до 70% от всех остальных видов дорог.

Согласно данным профессора Виктора Ушакова - руководителя Ассоциации бетонных дорог России, данный вид дорог обладают рядом преимуществ [1]:

- экономическая эффективность (по укрупненным нормативам цен, утвержденным Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ приказом № 148 от 3.03.2023, стоимость 1 км дорог с цементобетонными покрытиями на 10% ниже стоимости аналогичного по техническим характеристикам участка дороги с асфальтобетонными покрытиями) [5];

- долговечность (проектный срок службы цементобетонных покрытий в России — 30 и более лет);

- высокие технико-эксплуатационные характеристики (цементобетонные покрытия не деформируются под действием большегрузного транспорта, обладают высокой прочностью и несущей способностью);

- экологическая безопасность (при движении со скоростью 90–110 км/час обеспечивают снижение расхода топлива на 5-10%, как следствие, сокращение выбросов в атмосферу, имеют значительно более низкий углеродный след при производстве смеси по сравнению с асфальтобетоном, не выделяют токсичных газов при нагревании) [3];

- безопасность дорожного движения (цементобетонные покрытия отражают больше света, чем асфальтобетонные, поэтому обеспечивают комфортное и безопасное движение в темное время суток).

В настоящее время в Кыргызстане и других странах Центральной Азии есть все необходимое для масштабного строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями и основаниями, для широкого применения минеральных и комплексных вяжущих. Местные цементные заводы полностью не загружены. Сырье в достаточном количестве имеется. Цементные заводы способны обеспечить дорожников цементами высокого качества в нужном объеме, в том числе в Кыргызстане и Таджикистане.

### Международный опыт

Технология строительства цементобетонных дорог применяется в мировой практике уже более 90 лет. В ряде стран Европы доля цементобетонных дорог составляет от 13% до 50%, а в США - достигает 60%. Причинами популярности цементобетонных покрытий в этих странах стали их высокие эксплуатационные характеристики, надежность, долговечность, экономичность и безопасность.

Как показывает мировой опыт, да и уже небольшой опыт строительства таких дорог в странах СНГ, при строгом соблюдении технологических регламентов работ и должном уровне содержания, цементобетонные покрытия служат от 25 до 30 и более лет без проведения крупных ремонтных работ. Этим занимаются частично в Казахстане, Беларуси, России и Узбекистане.

В США сегодня распространено усиление верхнего слоя асфальтобетонных дорог цементобетонными покрытиями. В принципе, есть разные методики вращивания и наращивания цементобетона на различные основания. Данное решение позволяет обеспечить долговечность покрытия после его ремонта. В той же Америке для снижения шума на бетонных дорогах устраивают не поперечные, как принято в Европе, а продольные бороздки глубиной 3-5 мм и с расстоянием между их центрами 19 мм [4]. Такие бороздки значительно уменьшают опасность защемления воздуха и пленки воды в зоне контакта колеса с покрытием и придают автомобилю боковую устойчивость при движении. При этом шум снижается на 7-8 ДБа.

Европейский опыт строительства и эксплуатации автомобильных дорог опирается на многолетние традиции (рисунок 1).

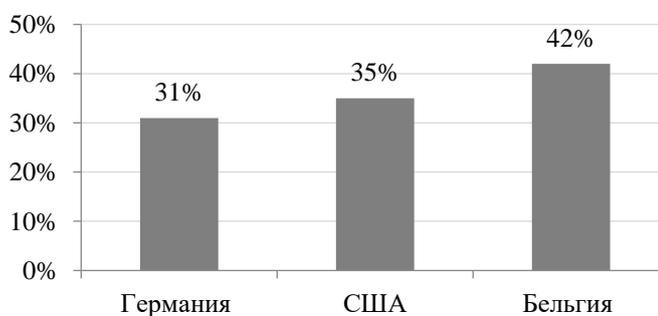


Рисунок 1 - Процент дорог с цементобетонным покрытием

Необходимость же реконструкции автомобильных дорог в Германии, в более ранние сроки, уже после 30-и лет, обусловлена, в основном, изменениями в параметрах транспортных нагрузок, а именно:

- значительным повышением потока грузового автотранспорта;

- повышением средней нагрузки на ось;
- изменением в направлении потоков движения грузового транспорта, в том числе в результате объединения Германии.

На рисунке 2 представлена диаграмма автомобильных дорог Германии, а срок службы автомобильных дорог с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием на рисунке 3.



Рисунок 2 - Сеть автомобильных дорог Германии

Из диаграммы видно, что в общей сети преобладают дороги федерального значения, и большая часть из них имеют цементобетонное покрытие.

Важнейшей особенностью является то, что в Европе, в том числе в Германии дороги с цементобетонным покрытием, построенные после 70-х годов 20-го века, показали, что они способны выдержать заложенный при проектировании срок службы до 40 лет и более (рисунок 3).

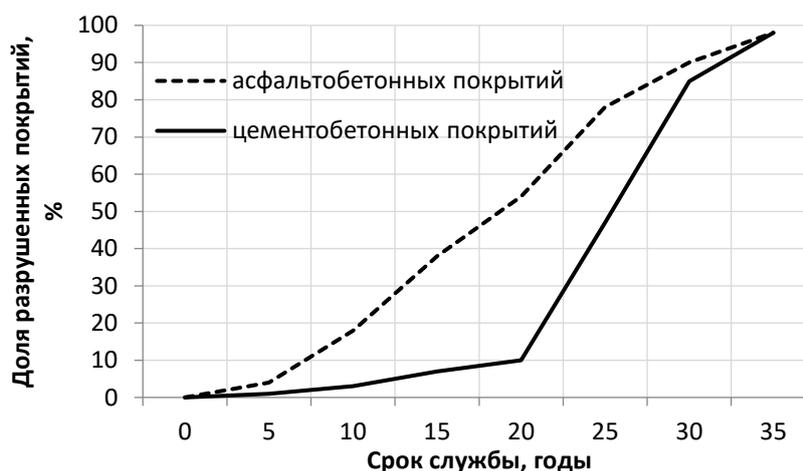


Рисунок 3 - Срок службы покрытий из цементобетона и асфальтобетона на дорогах Германии.

Современные технологии устранили большинство слабых мест цементобетона. Так, наиболее уязвимым местом бетонных покрытий всегда считались поперечные швы. Желание избавиться от температурных швов сжатия и расширения привело к созданию непрерывно армированных цементобетонных покрытий. В США и ряде европейских стран покрытия и основания с непрерывным армированием и сейчас строятся в значительных объемах.

В Беларуси строительство дорог с цементобетонными покрытиями было принято в 2014 году в рамках национальной программы. За период с 2015-го по 2023 год в республике построено более 188 км таких магистралей. В текущем году запланировано возвести еще порядка 30 км. Эта доля, согласно данным Министерства транспорта и коммуникаций страны, будет увеличиваться.

В Казахстане за последние десять лет протяженность дорог с цементобетонным покрытием увеличилась в 15 раз — с 97 км до почти 1,5 тыс. км. Реализация данных проектов послужила поводом для применения новых технических и технологических решений, поскольку динамические нагрузки и погодные условия в республике способствовали разрушению применяемого бетона: приводили к шелушению и образованию других дефектов.

Представители АО «Китайская железнодорожная строительная корпорация» (CRCC) сообщали, что цементобетонное покрытие подходит для большинства климатических зон Китая. В зависимости от категории дорог расчетный срок службы асфальтобетона в Китае составляет от 8 до 18 лет, а цементобетона - от 10 до 30 лет. В стране около 4,6 млн км дорог с цементобетонным покрытием.

### Нормативные документы

Проектирование, строительство, ремонт и содержание автомобильных дорог - сложный технологический процесс, который невозможен без соблюдения и обновления правил. Базовую роль в повышении качества проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог играют

строительные нормы, стандарты и нормативно-технические документы в автодорожной отрасли. Этим необходимо заняться всерьез.

Для решения данного вопроса предлагается обновить и разработать новые современные нормативные документы, с учетом гармонизации их с передовыми зарубежными документами, опираясь на опыт развитых стран

### Заклучение

1. Проблема развития строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями должна решаться комплексно на всех стадиях жизненного цикла автомобильной дороги (проектирование, строительство и эксплуатация).

2. Технические преимущества цементобетонных покрытий: увеличение срока службы; высокая безопасность движения и повышенная видимость на дороге во время плохих погодных условий, в том числе в ночное время суток, а также улучшенное отведение воды с бетонного полотна; высокая прочность и долговечность дорог; отсутствие коллейности и высокая стойкость к химическим воздействиям.

3. Экологические преимущества цементобетонных покрытий это: улучшение микроклимата в городах за счет меньшей способности бетона поглощать тепловую энергию; возможность вторичной переработки бетонного полотна; снижение выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и снижение шумности покрытия за счет технологии финишной обработки поверхности.

4. Для применения технологии строительства дорог с цементобетонным покрытием в условиях Таджикистана необходимо приобрести несколько комплектов оборудования от ведущих мировых компаний, желательно использовать передовые технологии американских и европейских компаний.

5. Для совершенствования дорожной отрасли, в том числе обновления и гармонизации нормативных документов [2], необходимо проводить исследования и подготовить современные нормативные документы, опираясь на опыт развитых стран, обращая особое внимание на содержание цельно бетонных дорог.

*Рецензент: Бусел А.В. — д.т.н., профессор ТТ «БелдорНУИ»*

### Литература

1. Каримов, Б.Б. Каменные дороги/Б.Б. Каримов// Журнал “Дороги Содружества Независимых Государств” – 2018. - № 03. (88). - С. 96-101.

2. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85" (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 272). –М.: «КонсультантПлюс», 2017. – 71 с.

3. Рекомендации по применению мощения при устройстве дорожных покрытий территорий жилой и общественно-деловой застройки. РМД 32-18-2016 Санкт-Петербург. – С-Пб: Изд-во «Правительство Санкт-Петербурга», 2013. – 106 с.

4. Саканов, Д. Эколого-технологические основы строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями / Дархан Саканов. – М.: МПК, 2018. – 207 с.

5. Радовский, Б.С. Строительство дорог с цементобетонным покрытием в США: Новые тенденции/ б.с. Радовский// Журнал «Дорожная техника». – 2012. – № 2. - С. 62-70.

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

TJ	RU	EN
Исмоилзода Лутфулло Сулаймонӣ	Исмоилзода Лутфулло Сулаймони	Ismoilzoda Lutfullo Sulaymoni
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the
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:lutfullo.i@mail.ru">lutfullo.i@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Каримов Бурӣ Бачабекович	Каримов Бури Бачабекович	Karimov Buri Bachabekovich
д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Корманди хизматнишондодаи нақлиёти Федератсияи Россия Раиси Шӯрои байниҳукумати роҳсозони Иттиҳоди давлатҳои мустақил	Заслуженный работник транспорта Российской Федерации, Председатель Межправительственного совета дорожников СНГ	Honored Worker of Transport of the Russian Federation, Chairman of the Intergovernmental Council of Road Administrators
E-mail: <a href="mailto:cmcd@mail.ru">cmcd@mail.ru</a>		

УДК: 625.72

## ОЦЕНКА СУРОВОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА УЧАСТКЕ ДУШАНБЕ – САНГВОР БОЛЬШОГО ПАМИРСКОГО ТРАКТА

Умирзоков А.М.<sup>1</sup>, Назаров Т.Ш.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими

<sup>2</sup>Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемура

Статья посвящена оценке суровости условий эксплуатации автомобильного транспорта на горной дороге Душанбе – Сангвор. Участок горной дороги Душанбе – Сангвор является отрезком (частью) Большого Памирского Тракта (БПТ). Суровость же этой дороги обусловлена сочетанием суровости среды с не менее суровыми дорожными условиями. Особенность последнего заключается в том, что оно состоит из большого букета сочетаний негативных моментов, одновременное влияние которых является причиной резкого снижения качества, надежности и эффективности автомобильной дороги. На основе анализа состояния дорожных условий и его изменения в зависимости от внешней среды разработаны практические рекомендации, направленные на повышение эксплуатационных характеристик автомобильной дороги Душанбе – Сангвор. В статье особое внимание уделяется особенностям участка горной дороги, соединяющего населенные пункты Обигарм и Сангвор, протяженность которого составляет около 100 км. Цель исследования заключается в изучении особенностей участка автомобильной дороги, оценке и улучшении его эксплуатационных характеристик. Достижение цели способствует повышению эффективности автомобильной дороги. Последнее способствует повышению скорости движения и безопасности дорожного движения, что положительно отражается в росте экономики региона и жизненного уровня населения, а также благоприятно влияет на развитие туризма.

**Ключевые слова:** автомобиль, горы, дорога, Памирский тракт, надежность дороги, селевые потоки, видимость, неровность дороги.

### АРЗЕБИИ ШАДИДИЯТИ ШАРОИТИ ИСТИФОДАБАРИ ДАР ҚИТЪАИ ДУШАНБЕ – САНГВОР ТРАКТИ БУЗУРГИ ПАМИР

Умирзоқов А. М., Назаров Т. Ш.

Мақола ба арзебии шадидаи шароити истифодаи нақлиёти автомобилӣ дар роҳи кӯҳии Душанбе – Сангвор бахшида шудааст. Қисми роҳи кӯҳии Душанбе – Сангвор қисми (қисми) Тракти Калони Помир (ТКП) мебошад. Дар ҳоле ки шадидаи ин роҳ бо омезиши шадидаи муҳити атроф бо шароити на камтар шадидаи роҳи вобаста аст. Хусусияти охири он аст, ки он аз як гулдастаи калони омезиши лаҳзаҳои манфӣ иборат аст, ки таъсири ҳамзамон сабаби коҳиши сифат, эътимодноки ва самаранокии роҳи автомобилгард мебошад. Дар асоси таҳлили ҳолати шароити роҳ ва тағиребии он вобаста ба муҳити беруна, тавсияҳои амалӣ таҳия карда шуданд, ки ба баланд бардоштани хусусиятҳои истифодаи мошин равона карда шудаанд. Дар мақола ба хусусиятҳои қитъаи роҳи кӯҳӣ, ки маҳалҳои аҳолинишини Обигарм ва Сангворро бо ҳам мепайвандад, диққати махсус дода мешавад, ки дарозии он тақрибан 100 км аст. Мақсади тадқиқот омӯзиши хусусиятҳои қитъаи роҳи автомобилгард, арзебӣ ва беҳтар кардани хусусиятҳои истифодаи он мебошад. Ноил шудан ба ҳадаф ба баланд бардоштани самаранокии роҳи автомобилгард мусоидат мекунад. Охири ба баланд бардоштани суръати ҳаракат ва беҳатарии ҳаракат дар роҳ мусоидат мекунад, ки ин ба рушди иқтисодиёти минтақа ва сатҳи зиндагии аҳоли таъсири мусбат мерасонад ва инчунин ба рушди сайёҳӣ таъсири мусбат мерасонад.

**Калимаҳои калидӣ:** мошин, кӯҳсор, роҳ, Тракти Помир, эътимоднокии роҳ, сели об, дидашавандагӣ, ноҳамвории роҳ.

### ASSESSMENT OF THE SEVERITY OF OPERATING CONDITIONS IN THE DUSHANBE – SANGVOR SECTION OF THE GREAT PAMIR TRACT

Umirzokov A.M., Nazarov T.S.

The article is devoted to the assessment of the severity of the operating conditions of motor transport on the Dushanbe – Sangvor mountain road. The section of the Dushanbe – Sangvor mountain road is a segment (part) of the Great Pamir Highway (BPT). The severity of this road is due to the combination of the severity of the environment with equally harsh road conditions. The peculiarity of the latter is that it consists of a large bouquet of combinations of negative aspects, the simultaneous influence of which is the reason for a sharp decrease in the quality, reliability and efficiency of the highway. Based on the analysis of the state of road conditions and its changes depending on the external environment, practical recommendations have been developed aimed at improving the operational characteristics of the Dushanbe – Sangvor highway. The article pays special attention to the peculiarities of the section of the mountain road connecting the settlements of Obigarm and Sangvor, the length of which is about 100 km. The purpose of the study is to study the characteristics of the highway section, evaluate and improve its operational characteristics. Achieving the goal contributes to improving the efficiency of the highway. The latter contributes to an increase in traffic speed and road safety, which has a positive effect on the growth of the region's economy and the standard of living of the population, as well as has a beneficial effect on the development of tourism.

**Keywords:** car, mountains, road, Pamir tract, road reliability, mudslides, visibility, road roughness.

### Введение

Памирский тракт вообще и в частности его участок Обигарм -Сангвор –это гармония суровых условий и прекрасной горной природы с множеством горных ручьев и родников, чистейшие воды которых стекают в реки Хингоб и Пяндж. Дорога проложена, в основном, на берегу реки Пяндж и ее притока Хингоб в обратном направлении их течения на высотах от 1000 до 1600 м над уровнем моря (н.у.м.).

Вдоль дороги можно встретить множество родников и берущих начало от них горных ручьев с чистой водой, стекающих в названные реки. Нужно отметить, что территории, где проложены автомобильные дороги особо не блещут разнообразием фауны. Вдоль дороги изредка можно увидеть ворону и на русле каменистых ручей – одинокую трясогузку белую.

Что касается флоры вдоль дороги, то она многообразна и некоторые из них встречаются только в этих горных регионах. Можно встретить очень много кустарников барбариса, дикой алчи,

среднеазиатского можжевельника, арчовых и тополиных рощ, тутового дерева и др. Большая часть дороги вырезана в виде террасы в горных скалах путем взрыва горной породы и их очистки вручную.

### Материалы и методы исследования

Горные дороги, соединяющие г. Душанбе с Хорогом и далее с городом Ош Республики Кыргызстан (ныне проложено ответвление к перевалу Кульма на границе с КНР), частью которой является участок дороги между населенными пунктами Обигарм и Сангвор, если по суровости уступают только горным тропам или оврингам\* (рис.1), проложенных для движения развьюченных караванов [1], то по красоте им нет равных в мире (рис.2).



Рисунок 1 – Развьюченный караван на Памирском овринге в 1926 г., на месте которого проложен БПТ (фото Максим Шер. Государственный архив Республики Таджикистан)



Рисунок 2 – Фрагменты автомобильной дороги на участке Обигарм–Сангвор (фото автора)

Строительство Памирского тракта берет свое начало в далеком 1876 году и связано с первой колёсной дорогой, соединившей Ош и Алайскую долину в Киргизии через Талдыкский перевал, которая была построена русским отрядом под командованием генерала А. К. Абрамова [7] и получила название «Старый Памирский тракт».

Современный Большой Памирский тракт (рис.3) был построен в 1940 году за 104 дня с привлечением 30 тыс. человек. Из-за сложного рельефа, трудностей строительных работ, большой высоты н.у.м., крутизны скал и их чрезмерной крепости работы приходилось вести ручным инструментом и с помощью взрывчатки. В процессе строительства было взорвано два миллиона кубометров монолитных гранитов, столько же в каменистых грунтах и еще миллион в коварнейших осыпях, по которым и пройти было опасно, израсходовано 1149 тонн аммонита [2].

И наконец, 6 октября 1940 года было завершено строительство Большого Памирского тракта [3]. Наверное, никогда раньше и даже на сегодня не было такого рекорда в мировом дорожном строительстве, который смог установить таджикский народ, построив за три с половиной месяца Большой Памирский тракт (рис.4).

\* Овринг – это узкая горная тропа над пропастью или обрывом, в виде висячих мостиков, сделанных вручную на отвесных скалах плетением из ветвей кустарников или из деревянных брёвен и жердей. Овринги считаются одними из самых опасных троп в мире, так как находятся на скалах на большой высоте и имеют достаточно зыбкую конструкцию. Распространены в Бадахшане и Тянь-Шане

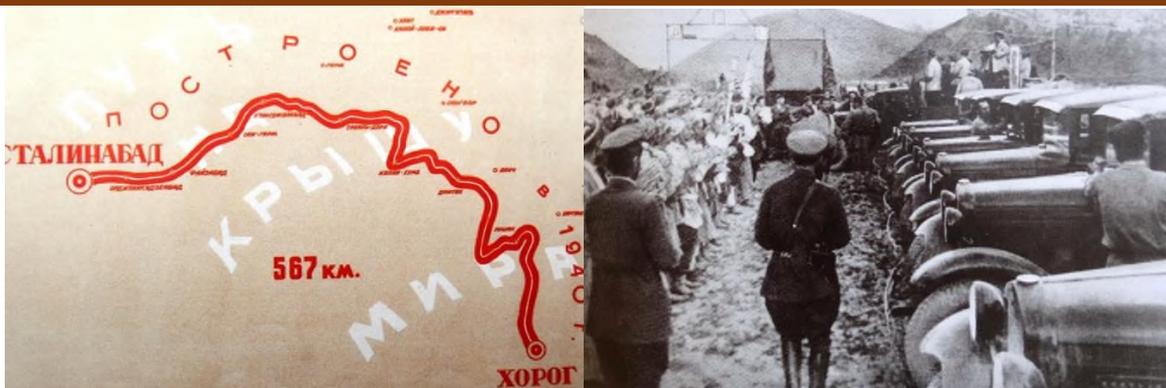


Рисунок 3 – Карта-схема дороги Душанбе – Хорог (Государственный архив социально-политической истории РФ)



Рисунок 4 – Митинг по случаю открытия БПТ, 6 сентября 1940 г. (Фонд Хорогского краеведческого музея)

В годы независимости РТ было проложено ответвление к БПТ через перевал Кульма до границы Китайской Народной Республики. Первоначальный маршрут движения по БПТ (г. Душанбе – перевал Хабуработ – Калайхумб – Хорог – Ишкашим – Мургаб – Ош) несмотря на максимальную суровость, отличалась необыкновенной красотой [4], а нынешний маршрут (г. Душанбе – Куляб – Калайхумб – Хорог – перевал Койтезек – Мургаб – Ош) – менее сложный и не блещет особой красотой (рис. 5).

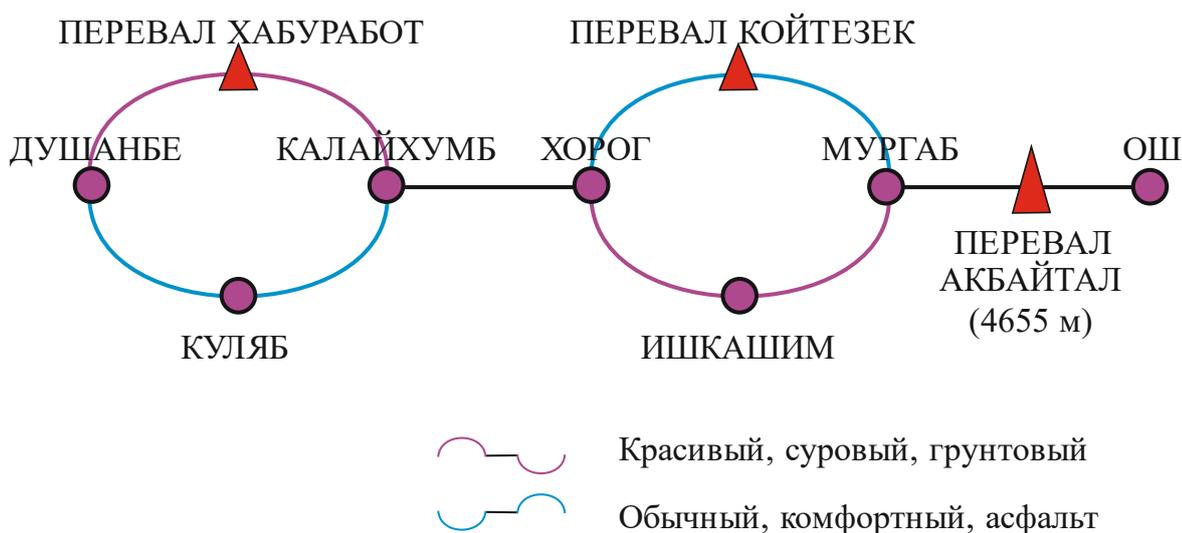


Рисунок 5 – Условная схема БПТ

Последнее время БПТ приобрел особый статус и включен в число автомобильных дорог международного значения. Значимость и важность БПТ для народного хозяйства РТ растет с каждым годом. БПТ с каждым годом приобретает все большую значимость и важность для народного хозяйства РТ, так как по этой дороге осуществляется основной поток грузов из КНР и РК.

Не менее важная роль отводится участку дороги, соединяющему населенные пункты Обигарм и Сангвор. Этот участок необыкновенно красивый, что связано величием, разнообразием и особым очертанием горного ландшафта, разнообразием и богатством флоры, с глубокими ущельями. Всю эту красоту дополняет чистый горный воздух, голубое небо, и конечно же, река, которая играючи течет по глубокому ущелью (рис.6 и7).



*Рисунок 6 – Величие гор и река Хингоб у подножья горы (Дашти Гурк)*

Суровость автомобильной дороги от Обигарма до Сангвора обусловлена множеством факторов и их сочетанием, к наиболее значимым из которых можно отнести следующие:

– узкие участки дороги, из-за чего часто приходится уступать дорогу встречному ТС;



*Рисунок 7 – Бирюзовое небо и богатая фауна гор*

– сложная геометрия дороги в плане и профиле, сопровождаемые частыми резкими поворотами, извилистостью, подъёмами и спусками, достигающими 12 градусов и более (рис.8);



*Рисунок 8 – Сложная геометрия горной дороги на ущельях*

– резкое сужение участка дороги из-за нарушения дорожного полотна (обрыв, сползание дорожного полотна из-за неустойчивости грунта или его снижения из-за атмосферных осадков) с указателем края обрыва дороги из подручных материалов (рис. 9);



Рисунок 9 – Сужение участка дороги из-за нарушения дорожного полотна с указателем края обрыва дороги из подручных материалов

– ограничение видимости из-за погодных условий (дождь, снег, туман), сложной геометрии дороги и запыленности воздуха;  
– неровность дороги (рис. 10);



Рисунок 10 – Запыленность дороги и неровность дорожного полотна

– обилие галечниковых и щебенистых горных пород, засыпанных на твердой основе поверхности дороги, а также глыб и булыжников, выступающих над поверхностью дороги, что приводит к механическим повреждениям автомобильных шин и снижению коэффициента сцепления между колесом и дорогой;  
– наличие глубоких продольных неровностей дороги, засыпанных обломками горных пород и булыжниками [5] (рис. 11);



Рисунок 11 – Состояние поверхности дорожного полотна

– наличие участков дорог, засыпанных слоем мелкодисперсной красной пыли, толщина которого достигает до 3 см и более, что является причиной высокого уровня запыленности в отдельных участках дороги в ветренную погоду или при проезде автомобиля по этим участкам (рис.12);

– чередование остатков асфальта с грунтовым покрытием, что приводит к резкому увеличению неровности дороги и снижению ее качества (рис.13);



*Рисунок 12 – участок дороги, засыпанный слоем мелкодисперсной красной пыли*



*Рисунок 13 – Чередование остатков асфальта с грунтовым покрытием*

– обильные осадки (дожди, град, снег) осенью, зимой, весной и вначале лета, сопровождаемые мощными селевыми потоками, оползнями, снежными лавинами, приводящими к смыванию дороги, разрушению мостов, образованию толстого слоя грязи на поверхности дороги, гололедом и толстым слоем снежного покрова, что может привести к прекращению движения ТС на несколько дней.

Главная особенность, обуславливающая максимальную суровость дорожно-климатических условий участка автомобильной дороги Обигарм-Сангвор, заключается в том, что перечисленные факторы проявляются в различных сочетаниях, комбинациях и сплетениях, усугубляя тем самым без того сложную ситуацию в горных дорогах.

## Обсуждение

Любая дорога в любых условиях является важным и ключевым фактором экономического развития страны, она вдвойне важна в горных условиях. Участок дороги Обигарм-Сангвор является наиболее уязвимым участком БПТ, обусловленным перечисленными факторами и их различными сочетаниями. При этом влияние различных факторов и их сочетание меняются в достаточно широких пределах в зависимости от времени года, времени суток, особенности горного ущелья, высоты н.у.м., частоты и интенсивности осадков и др. параметров. Красота и привлекательность природы окружающей дороги, конечно, осталось прежней, но что касается ее эффективности, надежности и качества снизилось до такого уровня, что ее суровость приближается к максимальному.

Для снижения суровости дорожных условий рекомендуется:

- построить мосты, водоотводы, галереи, тоннели, путепроводы и эстакады;
- расширить узкие участки дороги;
- улучшить и усилить дорожное покрытие;
- установить дорожные ограждения по требованиям стандартов: ГОСТ 26804-2012 – Ограждения дорожные металлические барьерного типа. Технические условия; ГОСТ 33128- 2014 – Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Технические требования.
- периодически очистить поверхность дороги от галечниковых и щебенистых горных пород, засыпанных на твердой основе поверхности дороги, а также глыб и булыжников, выступающих над поверхностью дороги;
- для развития туризма целесообразно построить туристические базы, кемпинги, пункты питания, информационные шиты о флоре и фауне региона.

## Выводы

1. БПТ и его отдельные участки проложены в одном из самых красивых природных условий, обуславливающих при этом максимально суровые условия эксплуатации автомобиля.

2. Установлено, что суровость дорожно - климатических условий зависит от большого числа факторов, а также различных их сочетаний и комбинаций. В условиях горной дороги наблюдается одновременное сочетание пяти факторов и более.

3. Из-за суровости дорожно-климатических условий скорость движения автомобиля на участке автомобильной дороги от Обигарм до поселка Сангвор составляет от 12 до 20 км/ч. Расход топлива при этом превышает норму на 150% и более, при этом наблюдается резкое снижение надежности автомобиля. Это свидетельствует о достаточно низком уровне эффективности автомобиля, эксплуатируемого в названном участке БПТ.

*Рецензент: Ахунов Ш.М. — д.т.н., профессор кафедры машины и оборудования технологических процессов в агроинженерии ТПУ имени Ш. Шохтемур.*

### Литература

1. Памирский тракт: Фото из бездны. [https://dzen.ru/a/XYIWH5vrsQc\\_uhx5v](https://dzen.ru/a/XYIWH5vrsQc_uhx5v). Дата обращения 25.08.2024/
2. Шерматов, Г. Памирский тракт: как создавалась одна из красивейших дорог мира <https://dzen.ru/a/YTbImFmV6lgYeNf0>. Дата обращения 25.08.2024.
3. Памирский тракт // Большой энциклопедический словарь: [В 2 т.] / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Сов. энцикл., 1991. — Т. 2. — 768 с. — ISBN 5-85270-044-4.
4. Архипов, Н. Б. СССР по районам. Среднеазиатские республики/ Н. Б. Архипов, – Directmedia, 2013-12-02. – С. 128. – 142 с. – ISBN 978-5-4458-5081-6.
5. Умирзоков, А.М. Влияние дорожных, климатических и эксплуатационных факторов на долговечность автомобильных шин/ А.М. Умирзоков, А.А. Сайбов, М.А. Абдуллоев, Ф.И. Джобиров//Вестник ТТУ, №3(31), 2015. Научно-технический журнал ТТУ. – С. 89-95.

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

TJ	RU	EN
Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Умирзоков Ахмад Маллабоевич	Umirzokov Ahmad Mallaboevich
Н.и.т., дотсенти кафедраи «Истифодабарии нақлиёти автомобилӣ»	К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта»	Candidate of Technical Sciences, Senior teacher of the Department "Operation of Road Transport"
Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:ahmad.umirzokov@mail.ru">ahmad.umirzokov@mail.ru</a> .		
TJ	RU	EN
Назаров Тоҷиддин Шарофович	Назаров Тоджиддин Шарофович	Nazarov Togiddin Sharofovich
Омузгори калони кафедраи «Барқикунонӣ ва автоматикунонии кишоварзӣ»	Старший преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»	Senior lecturer of the Department of "Electrification and Automation of Agriculture"
Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур	Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур	Tajik Agrarban University named after Sh. Shotemur
E-mail: <a href="mailto:nazfrov.t@mail.ru">nazfrov.t@mail.ru</a> .		

## КАМЕННЫЕ ДОРОГИ. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВЫГОДЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
Межправительственный совет дорожников СНГ

На автомобильных дорогах низших категорий многих стран СНГ иногда используют природный материал – речной и горный камень. Известно, что гравийный материал широко используется в строительстве дорог благодаря своим физическим свойствам и их доступности. Каменные материалы используют как в основании дорожных конструкций, так и на покрытиях местных дорог. Применение каменных материалов для устройства тротуаров, парковых зон, проездов, площадок отдыха и покрытия дорог низшей категории дает экономическую выгоду, а также способствует обеспечению рабочих мест для населения сел и деревни. Устройство каменных покрытий с применением оснований, разработанный компанией «АНТ-инжиниринг» (г. Волгоград) позволяет намного уменьшить толщину конструктивных слоев дорожной одежды. Для применения местных каменных материалов в качестве покрытия тротуаров, парковых зон, проездов, площадок отдыха и покрытия дорог низшей категории, необходимо подготовить нормативно-технические и нормативно-правовые документы, для планового и правильного внедрения новых технологий в сфере укладки дорог каменными материалами.

**Ключевые слова:** гравий, речной камень, плита, покрытие, горная порода, мостовые, брусчатка, технология.

### РОҶҶОИ САНГӢ. ҶАНБАӢО ВА ДАСТОВАРДҶОИ ИҚТИСОДӢ ДАР ШАРОИТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Л.С. Исмоилзода, Б.Б. Каримов

Дар болопӯши роҳҳои автомобилгарди дараҷаашон паст, дар Иттиҳоди давлатҳои мустақил дар баъзе ҳолатҳо маводҳои табиӣ – сангҳои дарёӣ ё кӯхиро истифода мебаранд. Маълум аст, ки маводҳои сангрезагӣ, бо назардошти хусусиятҳои физикиашон ва дастрас буданашон дар сохтмони роҳҳо васеъ истифода мешаванд. Маводҳои сангӣ ҳам дар асос ва ҳам дар болопӯши ҷодаи роҳҳои маҳаллӣ, ҳамчун маводи боэтиمود ҳисобида мешаванд. Истифодаи маводҳои сангӣ дар сохтмони пиёдароҳҳо, роҳравҳои боғҳою майдончаҳои истироҳатӣю фароғатӣ, рӯйпӯши роҳҳои маҳаллӣ аз ҷиҳати иқтисодӣ муфид буда, инчунин барои таъмини аҳолии деҳаҳо ва маҳалҳои аҳолинишин бо ҷойи кор мусоидат менамояд. Истифодаи болопӯшҳои сангӣ, бо асоси пешниҳоднамудаи ширкати «АНТ-инжиниринг» (ш. Волгоград) имкон медиҳад, ки ғафсии қабатҳои конструктиви ҷодаи роҳҳо ба маротиб кам карда шавад. Ҷиҳати ба таври васеъ истифода намудани маводҳои сангӣ дар сохтмони пиёдароҳҳо, роҳравҳои боғҳою майдончаҳои истироҳатӣю фароғатӣ, рӯйпӯши роҳҳои маҳаллӣ, зарур аст, ки меъёрҳо ва ҳуҷҷатҳои меъёрӣ-ҳуқуқӣ дар амал татбиқ намудани нақшаҳо ва технологияҳои нави роҳҳо бо маводҳои сангӣ, таҳия карда шавад.

**Калидвожаҳо:** сангреза, санги дарёӣ, тахтасанг, болопӯш, ҷинси кӯҳӣ, сангфарш, чортароисанг, технология.

### STONE ROADS. ECONOMIC ASPECTS AND BENEFITS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

L.S. Ismoilzoda, B.B. Karimov

Natural materials such as river and mountain stones are sometimes used in the construction of roads of lower categories in many countries of the CIS region. It is known that gravel is widely used in road construction due to its physical properties and availability. Stone materials are used both at the base of roadbed's structure and on the surfaces of the local roads. The use of stone materials for the construction of sidewalks, park areas, passages, rest areas and roads' pavement of the lower category provides economic benefits, and contributes to the creation of jobs for the population of rural settlements and villages. The arrangement of stone pavements on the bases, developed by "ANT-engineering" company (Volgograd), makes it possible to significantly reduce the thickness of the structural layers of the road bed. In order to use local stone materials as pavement for sidewalks, park areas, passages, rest areas and roads' pavement of the lower category, it is necessary to prepare legal regulatory, technical and normative documents for the planned and proper implementation of new technologies on roads with stone materials.

**Keywords:** Gravel, river rock, slab (cement-concrete), pavement, rock, bridge, paving stones, paving stones, technology.

#### Общая часть

Основные способы применения гравийного материала это:

**Основание дороги:**

- Гравий укладывается в нижний слой дорожного полотна. Он обеспечивает стабильную основу, способствуя равномерному распределению нагрузок от транспортных средств.

**Подложка и дренаж:**

- Гравий часто используется в качестве подложки для улучшения дренажа, предотвращая накопление воды и снижая риск образования трещин и деформаций дорожного покрытия.

**Покрытие временных дорог:**

- Временные или вспомогательные дороги часто строятся из гравия, так как это экономит время и относительно недорого. Такие дороги могут использоваться, например, на строительных площадках.

**Засыпка и выравнивание:**

- Гравий используется для засыпки ям и выравнивания поверхности существующих дорог, что позволяет временно улучшить качество дорожного покрытия до проведения капитального ремонта.

**Противоскользкие покрытия:**

В зимнее время гравий может использоваться как материал для улучшения сцепления колес транспортных средств с дорогой, снижая риск заносов и аварий. При использовании гравийного материала важно учитывать его фракционный состав, прочность и чистоту от посторонних включений. Эти параметры влияют на долговечность и качество дорожного покрытия.

Необходимо отметить, что конструктивные слои из гравийного материала, речного камня с булыжниками в странах СНГ не применяются, потому что они практически не уплотняются. Они настолько неоднородны по размерам материала, что уплотнить их очень сложно. В связи с этим в чистом виде их применяют, только при строительстве дорог V категории и то только в качестве слоя основания. В силу того, что булыжники не уплотняются в чистом виде, их перерабатывают на комбинатах нерудных материалов и получают нужные фракции.

В советские времена, да и сейчас во многих государствах, на комбинаты нерудных материалов привозят этот природный речной камень с булыжниками, на дробильно-сортировочных узлах производства разных стран перемалывают в щековой дробилке и получают нужную фракцию с применением дополнительно конусных или других дробилок. Затем выполняют рассев по фракциям через сито с использованием грохота.

В чистом виде, этот материал иногда используется для дорог V категории. Именно оттуда и пошел тип дорожного покрытия макадам, белый макадам, чёрный макадам. Суть изобретения макадама заключается в том, что есть определённая фракция щебня, укладываемая в качестве слоя дорожной одежды, затем идет расклинцовка и укатка, тогда этот слой хорошо работает. Это регламентируется в СНиПах по проектированию и строительству автомобильных дорог.

Известно, такие дороги из камня древнего Рима, которые сохранились по сей день (рис 1).



*Рисунок 1 - Дорога древнего Рима*

Таким образом, в чистом виде такой материал из рек конечно, применять не рекомендуется.

Известно, что существует три основных типа автомобильных дорог из камня [1]:

- временные полотна дорог из бетонных плит. Отличаются тем, что не укладываются слоями, как обычные дороги, а собираются из больших бетонных секций. После выведения дороги из эксплуатации эти блоки можно разделить, демонтировать и повторно использовать. Используются такие дороги в качестве временного полотна для пропуска тяжелого транспорта;

- временные дороги из щебня. Эти дороги формируются из щебня, кирпичного боя или других материалов, дополнительно укрепленных и укатанных. Такие дороги используются как альтернатива постоянным дорогам. Они относительно долговечны, хорошо выдерживают нагрузку и сопротивляются воздействию окружающей среды. В последние годы они используются в практике дорожного строительства и являются одним из вариантов строительства временной дороги;

- постоянные бетонные дороги. Представляют из себя дороги, полотно которых выполнено из цементобетона. Они обладают большим запасом прочности и рассчитаны на то, чтобы выдерживать большие нарастающие нагрузки на ось автомобилей. При этом их строительство требует наличия спецтехники и богатого опыта дорожно-строительных работ. Эта технология используется в тех случаях, когда нужна особенно прочная конструкция дорог для передвижения тяжелого транспорта.

Процесс строительства каменной дороги зависит от её типа и значения:

- для постройки каменной дороги из плит требуется выровнять участок территории, уложить на него плиты и зафиксировать их соединив друг с другом. После этого останется только затереть швы бетоном или грунтом;

- для постройки каменной дороги из щебня требуется на предварительно готовом основании создать насыпь из щебенки или гравийно-щебеночной смеси. Насыпь можно укрепить георешеткой или геосеткой. После этого она утрамбовывается тяжелой специальной техникой - катками;

- для строительства каменной дороги из бетона необходимо сформировать щебеночное основание. Затем на это основание укладывается слой бетона. Когда он затвердеет, плиту разделяют, проводя работы по устройству деформационных швов – это защищает плиту от образования трещин.

### История вопроса

По просьбе руководства Министерства транспорта и дорог Кыргызстана в 2018 г. мы занимались изучением вопроса строительства «каменных дорог» с выездом на опытный участок, который построен местными специалистами в Ала-Булакском районе в Джалал-Абадской области.

Укладка камня и асфальтобетонного покрытия выполнялась на объекте, затем по двум сторонам укладывалась плитка из камня. Объект находится по ул. Алимova и Тынчтык села АкТам Ак-Тамского айыл окмоту Ала-Букинского района Джалал-Абадской области. (рис 2).



*Рисунок 2 - Дорога из каменных плит в Ала-Букинском районе Кыргызстана*

Там на участке длиной около 600 м была построена дорога из штучных материалов, а именно плитки геометрической правильной формы разного размера, которые укладывались на основании из песка вручную.

Известно, что горные породы были разные, из плиток разных размеров, которые укладывались на данном участке. По информации местных строителей эта дорога имеет срок службы около десяти лет. Местами имеются небольшие сколы и другие разрушения, но в целом покрытие сохранилось неплохо и выдерживает движение легкового автотранспорта на поселковой дороге. Что касается строительства такого покрытия толщиной 7 см, как сделано там, то под интенсивным и тяжелым движением на республиканских дорогах, конечно же, это выглядит проблематично. (рис 3).



*Рисунок 3 - Дорога в Джалал-Абадской области*

Мы тогда предложили параллельно изучить первичные материалы для подготовки нормативно-правовой и нормативно-технической документации, определить источник финансирования для других опытных участков. Отметим необходимость строительства экспериментального участка в разных местах,

к примеру, построив по 100 метров покрытия из разных каменных материалов. Толщина камней должно быть не менее 12-15см.

### Недостатки

1. Известно, что, к примеру, мостовые брусчатые иногда устраивают на участках автомобильных дорог с неустойчивым земляным полотном. Это может быть высокие насыпи в места прокладки подземных сооружений и их ремонта. В таких случаях возможна неравномерная и длительная осадка грунта оснований и соответственно появление неровностей на самом покрытии.

2. Другой проблемой является создание поперечных и продольных профилей в соответствии с нормативами и, в первую очередь, по ровности покрытий. Именно в виду сложной технологии изготовления штучных материалов соответствующей высоты, ручной укладки и дороговизны данной технологии она в настоящее время мало применима.

3. Покрытия из таких плит обладают меньшей ровностью и их можно применять только на второстепенных участках автомобильных дорог (сельские дороги и там, где каменный материал имеется в большом объеме).

4. Необходимо отметить, что при обработке твердых горных пород, к примеру, базальт, диабаз, гранит и других материалов, они шлифуются, но в то же время становятся скользкими.

5. Когда горная порода не прочная, тогда плитка из этих пород со временем стирается, изнашивается и происходит скалывание наиболее слабых частей плит покрытий.

Эти же недостатки заставляют специалистов и профессионалов проектировать и строить дороги именно с асфальтобетонным и цементно-бетонным покрытием. Но есть случаи, когда, к примеру, мостовая или, же брусчатка и плитки используются как прочное основание для асфальтобетона и других монолитных покрытий.

В странах СНГ дороги из гранитных, известковых и других плит на основе горных пород практически не строятся. Из-за низкопроизводительной технологии работ, требующей значительного ручного труда и труднообеспечиваемой ровности, сцепления и т.д. для движения автотранспорта с высокой скоростью, эти технологии применяются в большей степени для устройства тротуаров, проездов, площадей, парковых зон.

Касательно дорог из плит, брусчатки и мостовых имеются следующие нормативы [5,6,7]:

1. СП 78.13330.2012\_СНиП 3.06.03-85\_ Актуализированная версия;
2. Технологическая карта автомобильной дороги из ЖБ плит;
3. Технологическая карта дорожного покрытия из брусчатки.

Есть и другие документы, которые дают возможность строительства покрытий из таких материалов в зоне жилой застройки. Для этого можно использовать рекомендации по применению мощения при устройстве покрытий на территории жилой и общественно-деловой застройки [2] (РМД 32-18-2016 Санкт-Петербург). (Актуализированная редакция РМД 32-18-2016 Санкт-Петербург), или практическое руководство. «Мощение. Практическое руководство. Заказчику, архитектору, проектировщику – строителю (ОАО «Ленстройдеталь»). Это можно сделать, к примеру, на основе мощения с применением растворов на основе вяжущих (АО «Квик-микс» 2015) и других материалов.

Чтобы массово применять каменные плиты из горных пород для устройства покрытий автомобильных дорог низших категорий, необходимо:

- изучить практику применения устройств покрытия из плитки в других странах. При этом надо отметить, что подобные работы по укладке плит покрытий делаются на территории жилой, общественно-деловой застройки, тротуарах, в парках и т.д.;
- необходимо далее наблюдать, как поведут себя эти плиты в условиях гор, особенно перехода через ноль и жаркого климата;
- составить смету, калькуляцию этих работ начиная от карьера, разработки, перевозки, подготовки плит и т.д. и до укладки этих плит на дороги, т.е. экономическое обоснование (если из необработанных булыжников, то с учетом работы с этим материалом);
- подготовка проекта нормативно-технической и нормативно-методической документации, хотя бы для начала стандарт предприятия или временные методические рекомендации;
- подготовка правового документа для принятия решения на уровне министерства, Госстроя, Парламента и Правительства республики.

Для этого необходимо подключить специалистов: дорожников, проектного института, министерства транспорта, технического университета и других заинтересованных организаций, которые будут готовить полный пакет документов для принятия решения.

### Дальнейшие направления и технологии

Применение метода строительства каменных дорог дало бы возможность увеличить срок ее эксплуатации. Кроме того, применение этого метода строительства дало бы возможность открытия новых рабочих мест в сельской местности.

При этом хотим заметить, что хоть в старину такие дороги успешно строились, то в настоящее время эту технологию не используют в силу ряда обстоятельств: нежелания руководителей этим заниматься, материал плохо уплотняется, затраты и дороговизна в сравнении с использованием других современных материалов и технологий. К примеру, с точки зрения эффективности, российская технология холодной регенерации асфальтобетонов, проще говоря, технология дешёвых дорог, предлагаемая, к слову, компанией «АНТ-инжиниринг» (г. Волгоград), можно было бы использована в условиях горных стран.

Суть технологии заключается в использовании имеющихся материалов для создания новых слоев оснований или покрытий. Методом фрезерования дорожной одежды на расчетную глубину получают органоминеральную смесь, содержащую в себе фрезерованный асфальтобетон и каменные материалы основания. Путем введения в полученную смесь вяжущего материала и последующего уплотнения обработанной смеси получают прочный конструктивный слой дорожной одежды. В качестве вяжущих материалов чаще всего используют цемент, битумные эмульсии и вспененный битум. Данная технология позволяет снизить сметную стоимость дорожно-строительных работ и сократить сроки их проведения, в т.ч. по отношению к строительству дорог из речного камня (бульжников).

Технология холодного ресайклинга дорожных одежд получила широкое распространение и на территории Российской Федерации, Казахстана, Индии и других стран. Она применяется при капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог других стран СНГ.

Компания «АНТ-Инжиниринг» разработала технологию холодного ресайклинга (регенерации) дорожных одежд с применением стабилизатора грунта «АНТ». Данная инновация позволяет полностью отказаться от органических вяжущих в виде битумных эмульсий или вспененного битума. Также происходит снижение расхода цемента более чем на 50%. Укрепленная органоминеральная смесь имеет более высокие показатели физико-механических свойств, полностью соответствующие требованиям ГОСТ 30491-2012 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими для дорожного и аэродромного строительства» и «Методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований способами холодной регенерации. Росавтодор № ОС-568-р от 27. 06. 2002». Возможно использование стабилизатора «АНТ» с органическими вяжущими, при уменьшении их нормы расхода. Преимущества применения технологии холодного ресайклинга дорожного покрытия «АНТ»: значительное увеличение показателей физико-механических свойств укрепленной АГБ-смеси; снижение нормы расхода вяжущих материалов более чем на 50% и отсутствие необходимости ухода за новым слоем основания [3,4].

Кроме того, имеется возможность открытия движения автотранспорта сразу после уплотнения слоя. Более того, временной интервал с момента приготовления АГБ-смеси до окончания ее уплотнения увеличивается до 12 часов. Также есть возможность использования слабopочных каменных пород и отсевов их дробления для увеличения прочностных характеристик конструктивных слоев дорожной одежды. Данный материал - 100% экологически безопасен стабилизатора «АНТ» для рабочих и окружающей среды.

К примеру, в России, при реконструкции дороги М-9 «Балтия» Росавтодору удалось снизить стоимость работ на 40%, заменив классическую технологию на регенерацию. Применение данной технологии и технологий, предлагаемых другими компаниями, возможно на всех категориях автомобильных дорог, во всех климатических зонах. Дороги, построенные с применением данной технологии, имеются в II–V климатических зонах Российской Федерации.

Данную технологию «Каменные дороги «АНТ» можно использовать при создании слоёв оснований автодорог I–IV технической категории и верхних слоёв покрытий автодорог IV–V технической категории, а также при укреплении обочин автомобильных дорог. Кроме того, при строительстве взлётно-посадочных полос и вертолётных площадок, и оснований под промышленные и гражданские объекты.

Высокие физико-механические характеристики укрепленной каменной плиты позволяют значительно снижать толщину конструктивного слоя основания, а также уменьшать толщину слоя покрытия из асфальтобетонов. К примеру, конструкция дорожной одежды автомобильной дороги IV категории будет состоять из слоя основания в виде укрепленной каменной плиты толщиной слоя 15 см и слоя покрытия в виде плотного асфальтобетона толщиной слоя 4 см.

Укрепленные материалы обладают высокими физико-механическими показателями.

Используемые материалы для строительства 1 км при этих двух вариантах:

*Общепринятая технология:*

Асфальтобетон мелкозернистый плотный,  $h = 4$  см, 680 т;

Асфальтобетон крупнозернистый пористый,  $h = 6$  см, 987 т;

Щебень,  $h = 25$  см, 2200 м<sup>3</sup>;

Песок 1760 м<sup>3</sup>.

*Новая технология:*

Асфальтобетон мелкозернистый плотный,  $h = 4$  см, 680 т;

Стабилизатор грунта ANT, 280 л;

Портландцемент, марка 400, 160 т;

Материал для укрепления (различные типы отсевов дробления, отходов производства или грунтов),  $h = 25$  см,  $2400 \text{ м}^3$  (Рис. 1).

Проведение дорожно-строительных работ осуществляется с использованием стандартного оборудования и техники. Приготовление обработанной смеси может производиться, как на дороге с использованием навесных фрез или ресайклеров, так и в смесительных установках, с последующей укладкой смеси асфальтоукладчиками.

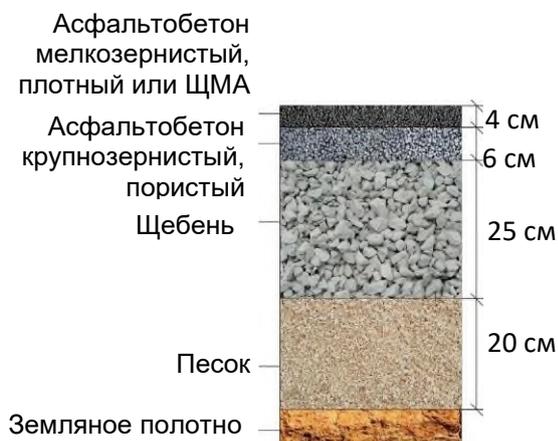
В Казахстане тоже начали строить «каменные» дороги по технологии ANT. В Восточном Казахстане большое количество дорог с гравийным покрытием в населённых пунктах и за их пределами.

Реконструкция с устройством дорожного основания и укладкой двух слоёв асфальта — мероприятие длительное и дорогостоящее. Дорожники в уходящем году решили применить технологию укрепления грунтов ANT при ремонте дорог Васильевка – Бозанбай – Алгабас – Таргын.

На существующее гравийное покрытие добавляется цемент и стабилизатор грунтов. Образовалась каменная плита толщиной 15 сантиметров. Она стойкая к образованию трещин, цикл замораживания и оттаивания.

Выгода нового способа в том, что он стоит гораздо дешевле, чем средний ремонт с укладкой асфальтобетона.

#### ОБЩЕПРИНЯТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



#### КАМЕННЫЕ ДОРОГИ «ANT»



Рисунок 1 - Сравнительный анализ

#### Заключение

1. Технологию, которую использовали в Джалал-Абадской области Кыргызстана и в Казахстане, можно использовать для устройства тротуаров, парковых зон, проездов, площадок отдыха и дорог низшей категории в Республики Таджикистан.

2. Плиты из горной породы и речного гравийного материала (булыжники) можно использовать для строительства дорог низших категорий. Надо разработать пилотные проекты и провести эксперименты с этими каменными материалами в разных уголках Таджикистана и разработать типовые проекты по их применению.

3. Необходимо подготовить, нормативно-технические и нормативно-правовые документы, для планового и правильного внедрения новых технологий на дорогах с каменными материалами. Строительство автомобильных дорог из каменных материалов создает дополнительное количество новых рабочих мест за счет эффекта расширения вовлеченности местного населения.

4. Проблема развития строительства автомобильных дорог низших категории с каменными покрытиями должна решаться комплексно на всех стадиях жизненного цикла автомобильной дороги (проектирование, строительство и эксплуатация).

*Рецензент: Бусел А.В. — д.т.н., профессор ТГУ «БелдорНИИ»*

#### Литература

1. Каримов, Б.Б. Каменные дороги/Б.Б. Каримов//Журнал Журнал “Дороги Содружества Независимых Государств” – 2018. - № 03. (88). - С. 96-101.

2. Рекомендации по применению мощения при устройстве дорожных покрытий территорий жилой и общественно-деловой застройки. РМД 32-18-2016 Санкт-Петербург. – С-Птбг: Изд-во «Правительство Санкт-Петербурга», 2013. – 106 с.

3. ГОСТ 30491-2012. Межгосударственный стандарт. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.- М.: Стандартинформ, 2019. – 17 с.

4. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации (утв. распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002г.) – М.: Министерство транспорта Российской Федерации: Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), 2002. – 58 с.

5. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85" (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 272). –М.: «КонсультантПлюс», 2017. – 71 с.

6. Технологическая карта на устройство временных автомобильных дорог из железобетонных плит 113-05 ТК. – М.: Открытое акционерное общество Проектно-конструкторский и технологический институт промышленного строительства (ОАО ПКТИпромстрой), 2005. – 27 с.

7. Типовая технологическая карта (ткк) устройство дорожных покрытий из клинкерной брусчатки. – Москва-Нанинск: АО «Зиверт Рус», 2022. – 22 с.

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

TJ	RU	EN
Исмоилзода Лутфулло Сулаймонӣ	Исмоилзода Лутфулло Сулаймони	Ismoilzoda Lutfullo Sulaymoni
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the
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:lutfullo.i@mail.ru">lutfullo.i@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Каримов Бури Бачабекович	Каримов Бури Бачабекович	Karimov Buri Bachabekovich
д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Корманди хизматнишондодаи нақлиёти Федератсияи Россия Раиси Шурои байниҳукумати роҳсозони Иттиҳоди давлатҳои мустақил	Заслуженный работник транспорта Российской Федерации, Председатель Межправительственного совета дорожников СНГ	Honored Worker of Transport of the Russian Federation, Chairman of the Intergovernmental Council of Road Administrators
E-mail: <a href="mailto:cmcd@mail.ru">cmcd@mail.ru</a>		

# СОХТМОН ВА МЕЪМОРИЙ - СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА - CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

УДК: 691.542

## СУЛЬФАТИРОВАНИЕ ВЫСОКООСНОВНОГО ФЕРРИТНОГО КЛИНКЕРА НА ОСНОВЕ ФЕРРИТНОГО ОТХОДА

Дж.Х. Саидзода, А.А. Акрамов, М.Р. Джуракулов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье исследовалось синтезирование ферритного клинкера для сульфатирования. Для синтеза были использованы сырьевые компоненты: мел, гипсовый камень и отход ферритного медеплавильного производства. Проводился химический анализ этих сырьевых компонентов, а также расчет по ферритному и сульфатному модулю. Путем обжига сырьевой смеси при 1300°C определялась возможность сульфатирования ферритного клинкера. Изменение в процессе обжига составило 0,5% его количества. Это означает внедрение его в составе ангидрита в структуру двухкальциевого феррита.

**Ключевые слова:** синтезирование, ферритный клинкер, сульфатирование, мел, гипсовый камень, сырьевая смесь, обжиг.

## СУЛФАТКУНОНИИ КЛИНКЕРИ ФЕРИТНОКИ БАЛАНДАСОС ДАР АСОСИ ПАРТОВҲОИ ФЕРРИТӢ

Ҷ.Ҳ. Саидзода, А.А. Акрамов М.Р. Чуракулов

Дар мақола синтези клинкери ферритӣ барои сульфатизатсия омӯхта шудааст. Барои синтез ашъи хоми зерин истифода шуд: бӯр, санги гач ва партови гудохтани миси феррит. Таҳлили химиявии ин ашъи хом, инчунин ҳисобу китоби модулҳои ферриту сульфат гузаронида шуд. Ҳангоми дар ҳарорати 1300 °C сӯзонидани омехтаи ашъи хом, имкони сульфатшавии клинкери феррит муайян карда шуд. Тағйирот дар ҷараёни сӯзонидан 0,5%-ро аз шумораи он ташкил дод. Ин маънои онро дорад, ки он ҳамчун як қисми ангидрит ба таркиби сохтори феррити дукалсиагӣ дохил шавад.

**Калидвожаҳо:** синтез, клинкери феррит, сульфатизатсия, бӯр, санги гач, омехтаи ашъи хом, сӯзонидан.

## SULPHATION OF HIGH BASIC FERRITE CLINKER BASED ON FERRITE WASTE

J.H. Saidzoda, A.A. Akramov, M.R. Jurakulov

The article investigated the synthesis of ferritic clinker for sulfation. For the synthesis, the following raw materials were used: chalk, gypsum stone and ferrite copper smelting waste. A chemical analysis of these raw materials was carried out, as well as calculations for the ferrite and sulfate modules. By firing the raw material mixture at 1300 °C, the possibility of sulfation of ferrite clinker was determined. The change during the firing process was 0.5% of its amount. This means its introduction as part of anhydrite into the structure of dicalcium ferrite.

**Keywords:** synthesis, ferrite clinker, sulfation, chalk, gypsum stone, raw material mixture, roasting.

### Введение

В эпоху научно-технического прогресса, когда огромный шаг вперед сделали все отрасли науки и производства, по-прежнему актуальным является вопрос сохранения материальных и энергетических ресурсов. Как и для любой значимой проблемы, ее решение имеет различные варианты, и один из них – использование, уже казалось бы непригодных в дальнейшем, разнообразных бытовых и техногенных отходов. Но не все отходы после первичного использования имеют в своем составе только необходимые для другой отрасли составляющие. Ввиду наличия в альтернативных компонентах нежелательных элементов, применение в той или иной сфере деятельности человека может быть затруднено. Для достижения желанной цели выделяются огромные средства на исследования возможности использования различных вторичных источников сырья и энергии в самом широком спектре производства и потребления человека.

Применение техногенных и бытовых отходов в цементной промышленности накладывает определенные трудности на технологический процесс производства. Так, например, заменяя традиционные виды топлива альтернативными, необходимо учитывать целый ряд химических компонентов, которые остаются в цементной печи в золе после сжигания горючей части вторичного топлива [1–19]. Таким образом, исследование возможных путей решения для той или иной ситуации имеет очень важное значение.

При производстве различных видов специальных цементов к сырьевым компонентам предъявляется ряд требований, так как присутствие в сырьевой смеси нежелательного элемента может негативно сказаться не только на процессе производства, но также и на конечном продукте. Значительное присутствие оксида кремния в сырьевой смеси при производстве сульфферритных и сульфалюминатных расширяющихся и безусадочных цементов негативно сказывается на технологическом процессе, т.к. при наличии в сырьевой смеси сульфата кальция в результате химических реакций образуется сульфатный спуррит, который является нежелательным в конечном продукте и значительно усложняет процесс производства.

В строительной индустрии основным материалом являются цементы, механические свойства которых отвечают требованиям водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионностойкости и высокой плотности. Эти цементы находят широкое применение. Цементы со специальными свойствами можно получить введением органо-минеральных и химических добавок в состав цемента при смешивании,

учитывая оптимальное дозирование этих добавок, а иногда используют специальные добавки наподобие смешивания высокосульфатированных и рядовых портландцементных клинкеров, которые относятся к композиционным вяжущим, и они обладают свойством компенсировать расширяющую усадку цемента.

В качестве сульфатированных расширяющихся добавок применяются сульфоалюминатные, сульфодерритные и сульфоалюмоферритные клинкеры. Сульфоалюминатные клинкеры демонстрируют более высокую степень расширения по сравнению с сульфодерритными, однако цементы на их основе характеризуются короткими сроками схватывания и обладают ограниченной сферой применения. Производство сульфодерритных клинкеров ограничено из-за нехватки сырья, содержащего железо.

В данной работе была поставлена задача синтеза сульфодерритного клинкера (СФК) для использования в качестве расширяющейся добавки, при этом основой для его производства стали техногенные материалы, выступающие альтернативой традиционным сырьевым компонентам.

### Материалы и методы исследования

Для синтезирования ферритного клинкера с целью его дальнейшего сульфатирования были использованы следующие сырьевые компоненты: мел и гипсовый камень Харангонского месторождения, ферритный отход медеплавильного производства ООО СП “Зарафшон”. Путем проведения химического анализа на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции был определен следующий химический состав сырьевых компонентов (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав исходных сырьевых компонентов

Компонент	Химический состав материалов, %								Σ
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	R <sub>2</sub> O	П.П.П.	
Мел	54,61	1,91	0,36	0,21	0,05	0,21	0,06	42,59	100,00
Феритовый отход	15,42	24,93	4,05	40,55	0,76	2,36	1,22	10,55	100,00
Гипсовый камень	34,66	1,92	0,65	0,31	38,97	0,63	0,16	22,70	100,00

Расчет сырьевых смесей проводился по ферритному и сульфатному модулям [1, 2]. Для ферритного клинкера значения модулей были следующими:  $F_m=0,66$ ,  $S_m=0,00$ . На основе расчетного состава для ферритного клинкера путем добавления к нему гипсового камня был рассчитан состав сырьевой смеси для получения сульфодерритного клинкера (СФК) со следующими расчетными модулями:  $F_m=0,70$ ,  $S_m=0,50$ . Химический состав расчетных сырьевых смесей приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетный химический состав сырьевых смесей и задаваемых модулей

Наименование	Химический состав сырьевых смесей, %								Φ <sub>м</sub>	С <sub>м</sub>
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	R <sub>2</sub> O	ППП		
Феритовый клинкер	36,75	12,40	2,05	18,60	0,36	1,20	0,59	27,98	0,66	0,00
Сульфодерритный клинкер	46,87	13,33	2,29	19,35	10,27	1,40	0,65	5,77	0,70	0,50

Для установления процессов, происходящих в вышеуказанных сырьевых смесях при повышении температуры, был смоделирован процесс обжига в силитовой печи. Изменение минералогического состава, зависящее от увеличения температуры, устанавливали путем анализа рентгенограмм спектров на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Thermo Fisher Scientific.

### Обсуждение

Для получения ферритного клинкера в исходной смеси первой стадией процесса стало окисление оксидов железа и самого железа, содержащихся в ферритном отходе, до оксида железа (III) в температурном диапазоне от 550 до 650 °С [3]. При температуре 750 °С в составе смеси началось разложение карбонатной составляющей. На рисунке 1 показано изменение содержания свободного оксида кальция от температуры в сырьевой смеси.

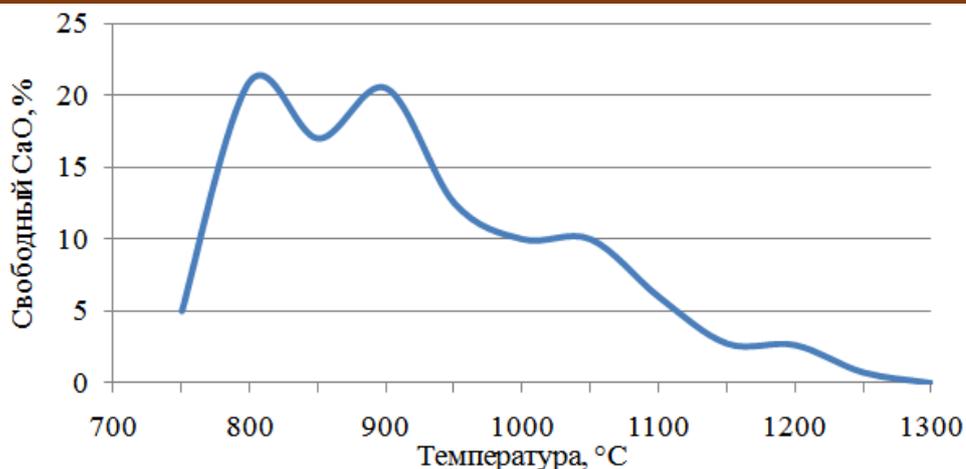


Рисунок 1 – Изменение содержания  $CaO_{св}$  в зависимости от температуры

Из рисунка 1 видно, что усвоение выделившегося оксида кальция происходит ступенчато и полное его связывание в минералы происходит лишь к  $1300^{\circ}C$ .

Процесс полного завершения минералообразования при обжиге ферритного клинкера завершается к  $1300^{\circ}C$ , когда по рентгенограмме спека можно установить двухкальциевый феррит и белит (рис. 2). При более низких температурах образование сульфатного спуррита замечено не было. Это объясняется незначительным содержанием в сырьевой смеси оксида серы (III).

Определение возможности сульфатирования ферритного клинкера осуществляли путем обжига сырьевой смеси, состоящей из ранее обожженного при  $1300^{\circ}C$  без изотермической выдержки ферритного клинкера и гипсового камня. Усреднение сырьевой смеси производили до достижения ею однородного состава, а затем производили обжиг с целью определения усвоения сульфата кальция в диапазоне температур  $800 - 1300^{\circ}C$ .

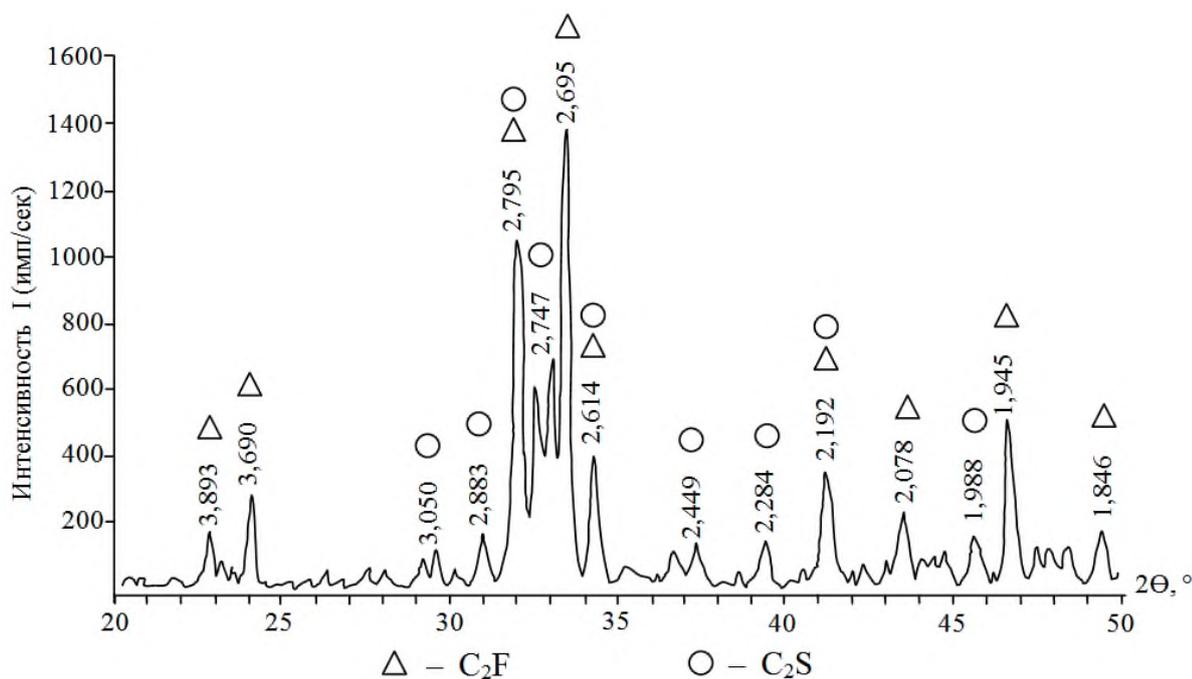


Рисунок 2 – Рентгенограмма ферритного клинкера

По рентгенограммам спеков при различных температурах было установлено, что процесс усвоения сульфата кальция начинается еще при  $900^{\circ}C$ , тогда как при совместном обжиге карбонатной, ферритной составляющих и гипсового камня при  $1050^{\circ}C$  и заканчивается при температуре  $1300^{\circ}C$ . Столь долгое внедрение в структуру объясняется возникновением сульфатного спуррита при температуре  $1100^{\circ}C$  в результате реакции белита с ангидритом. Данная реакция является конкурирующей с реакцией сульфатирования высокоосновного феррита.

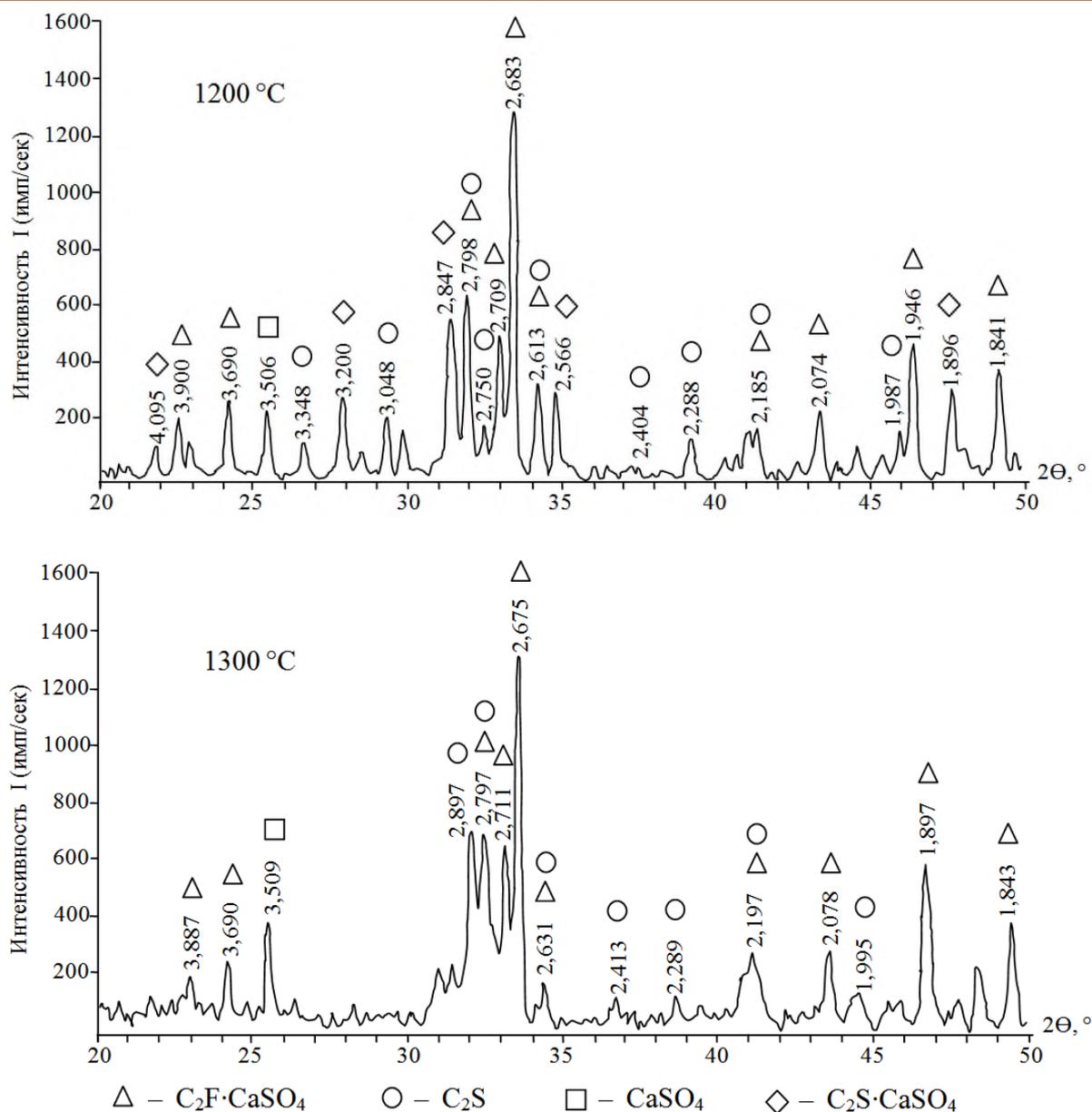


Рисунок – 3 Рентгенограмма сульфферритного клинкера

Только после распада силикосулфата при температуре 1250 °С появившийся сульфат кальция вступает в реакцию внедрения с двухкальциевым ферритом, о чем свидетельствуют изменения межплоскостных расстояний двухкальциевого феррита (2,695 Å - 2,675 Å) и снижение интенсивности отражения пиков, соответствующих ангидриту. Рентгенограммы спеков, полученных при сульфатировании ферритного клинкера, отвечающие температурам 1200 и 1300 °С, представлены на рис. 3. Содержание в спеках оксида серы устанавливали путем химического анализа. Изменение его количества на всем протяжении процесса обжига составило приблизительно 0,5 %, что говорит о внедрении его в составе ангидрита в структуру двухкальциевого феррита.

## Выводы

Избыточное количество СФК в сульфферритном цементе провоцирует образование чрезмерного числа гидратных новообразований (ГСФК), что, в свою очередь, ведет к увеличению внутренних напряжений и деформации, негативно сказывающейся на прочностных характеристиках материала при сжатии [4-10].

Исследования показали, что техногенные материалы могут быть использованы в качестве исходных компонентов для создания композиционных вяжущих.

Выбраны наиболее эффективные составы сульфферритных клинкеров, а также определены оптимальная температура обжига и идеальное соотношение сульфатированной добавки к портландцементным клинкерам.

Внедрение в промышленности полученных специальных цементов способствует получению бетона с особоплотными и трещиностойкими свойствами с компенсированной усадкой.

*Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.*

### Литература

1. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М.: Стройиздат, 1993. 328 с.
2. Борисов И.Н, Мандрикова О.С., Семин А.Н. Расширяющаяся добавка на основе сульфатированного и ферритного отходов для получения специальных цементов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им В.Г. Шухова. 2012. № 1. С. 125-128.
3. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с
4. Кузнецова, Т.В. Химия, состав и свойства специальных цементов / Т.В. Кузнецова, Ю.Р. Кривобородов, С.В. Самченко: Материалы научно-практической конференции «Химия, химическая технология на рубеже тысячелетия». – Томск, 2000. – №1. – С. 96–98.
5. Осокин, А.П. Модифицированный портландцемент / А.П. Осокин, Ю.Р. Кривобородов, Е.Н. Потапова – М: Стройиздат, 1993. – 328 с.
6. Мечай, А.А. Формирование состава и структуры продуктов гидросиликатного твердения в присутствии сульфоминеральных добавок / А.А. Мечай, Е.И. Барановская // Цемент и его применение. – 2010. – №5. – С. 128-133.
7. Осокин, А.П. Свойства расширяющихся цементов и их применение / А.П. Осокин, Ю.Р. Кривобородов // Цемент и его применение. – 2004. – №6. – С. 43-46.
8. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.
9. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфферритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.
10. Абдуганиев А.М. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия. / Абдуганиев А.М., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 255-260.
11. Акрамов А.А. Магнезиально-карналлитовое вяжущее. / Косимов О.Б, Акрамов А.А., Косимов К.О. углы. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(66), Душанбе. 2024. – С. 139-142.
12. Акрамов А.А. Исследование свойств магнезиально-карналлитовых вяжущих. / Косимов О.Б, Акрамов А.А. // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №3 – С. 175-177.
13. Акрамов А.А. Исследование возможности синтеза клинкера белого портландцемента на основе пиррофиллитсодержащего сырья и каолиновой глины. / Акрамов А.А // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(67), Душанбе. 2024. – С. 102-106.
14. Акрамов А.А. Влияние условий термического воздействия на процессы минералообразования на смеси ООО «Хуаксин Гаюр цемент» / Акрамов А.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Новые направления развития науки в технических отраслях» ТТУ им. акад. М.С. Осими. (10-11 октября 2024 г.) С.11-16.
15. Акрамов А.А. Влияние тепловой обработки на структурообразование шлакощелочного лёгкого бетона на органических заполнителях / Косимов О.Б., Акрамов А.А., Баракаев К. Т. Углы. // Материалы научно-технической конференции в рамках фестиваля “Архитекторов-строителей и дизайнеров”, проводимой под лозунгом “История, настоящее и будущее Бухары” Бухарский инженерно-технологический институт (18-19 октября 2024 г.). С.559-562.
16. Akramov A.A. Changes in physical, mechanical and chemical properties of low water demanding cement strength over time / Mukhammadiyev I. A., Yusupov Kh. V., Akramov.A.A., Babayev S. // Scientific and technical magazine «Problems of architecture and construction”. Special volume. Samarkand state named by Mirzo Ulug'bek university of architecture and construction. November 8, 2024. – P.582-589.
17. Акрамов А.А. Термохимическая активация сырьевой смеси на ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» / Джуракулов М.Р., Акрамов А.А. // Вестник Таджикского национального университета. Наука и инновация Серия геологических и технических наук. Душанбе. 2024. №4. С.37-42.
18. Акрамов А.А. Влияние углещелочной добавки на дегидратацию каолинита / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Материалы международной научно-технической конференции “В строительстве энергоэффективных и ресурсоэффективных зданий, современных строительных материалов и технологий”. Ферганский политехнический институт (19-20 декабря 2024 г.). С.382-385.
19. Акрамов А.А. Влияние алюмосиликатных минеральных добавок в производстве смешанных цементов // Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 171-177.

20. Акрамов А.А. Влияние термохимической активации сырьевых компонентов на процессы минералообразования и свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 190-195.

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

TJ	RU	EN
Саидзода Чамшед Ҳамро д.и.т., профессор	Саидзода Джамшед Ҳамро д.т.н., профессор	Saidzoda Jamshed Hamro Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, кафедраи “Масолеҳҳо, технология ва ташкили сохтмон”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Материалы, технология и организация строительства”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Materials, Technology and Organization of Construction
E-mail: <a href="mailto:jamshed66@mail.ru">jamshed66@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевич Номзади илмҳои техники, дотсент	Акрамов Авазҷон Абдуллоевич Кандидат технических наук, доцент	Akramov Avazjon Abdulloevich Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Промышленное и гражданское строительство”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Industrial and Civil Engineering
E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Ҷуракулов Муродали Роҳатович Номзади илмҳои техники, и.в. дотсент	Джуракулов Муродали Роҳатович Кандидат технических наук, и.о. доцента	Jurakulov Murodali Rohatovich Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, кафедраи “Масолеҳҳо, технология ва ташкили сохтмон”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Материалы, технология и организация строительства”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Materials, Technology and Organization of Construction
E-mail: <a href="mailto:murodali1969@gmail.ru">murodali1969@gmail.ru</a>		

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ МЕТОДОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Д.Н. Низомов, И.К. Каландарбеков \*, Д.Дж. Исвалиев \*, И.И. Каландарбеков \*

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана

\*Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

В статье рассматривается численное решение плоской задачи сдвига в своей плоскости диска перекрытия от действия горизонтальной нагрузки с применением метода сосредоточенных деформаций. Представлен алгоритм формирования матрицы жесткости диска перекрытия с учетом граничных условий. На основе разработанной компьютерной программы на языке ФОРТРАН получены новые результаты численного моделирования исследуемого объекта при отсутствии реальных швов. С целью сравнения диск перекрытия также рассчитан на тех же внешних силах по методу конечных элементов. Сопоставлены результаты расчета по обоим численным методам.

**Ключевые слова:** диск перекрытия, податливость, матрица внутренней жесткости, матрица внешней жесткости, фиктивный шов, жесткостные характеристики, перемещения.

## ҲАЛЛИ АДАДИИ МАСЪАЛАҶОИ СТАТИКИИ ДИСКИ БОЛОПУШ БО МЕТОДИ МУТАМАРКАЗКУНОНИИ ДЕФОРМАТСИЯҶО

Ҷ.Н. Низомов, И.Қ. Қаландарбеков, Д.Ҷ. Исвалиев, И.И. Қаландарбеков

Дар мақола ҳалли ададии масъалаи ҳамвори ғеҷиши диски болопуш дар ҳамвори худ, зери таъсири борҳои уфуқӣ бо методи мутамарказкунонии деформатсияҳо дида баромада шудааст. Алгоритми ташкил намудани матритсаи сахтии диски болопуш бо назардошти шартҳои канори оварда шудааст. Дар асоси барномаи компютерӣ бо забони ФОРТРАН таҳияшуда, натиҷаҳои нави моделсозии ададии объекти таҳқиқшаванда ба назардошти дарзҳои ҳақиқӣ ба даст оварда шудаанд. Бо мақсади муқоисаи диски болопуш, барои ҳамон қувваҳои берунаи додашуда бо методи элементи охиринок ҳисоб карда шудааст. Натиҷаҳои ҳисоб барои ҳарду методи ададӣ муқоиса карда шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** диски болопуш, нармӣ, матритсаи сахтии дохилӣ, матритсаи сахтии берунӣ, дарзи фиктивӣ, тавсифи сахтӣ, ҷойивазкунӣ.

## NUMERICAL SOLUTION OF A STATIC PROBLEM FOR CALCULATING FLOORS DISKS USING THE CONCENTRATE STRAIN METHOD

D.N. Nizomov, I.Q. Qalandarbekov, D.J. Isvaliev, I.I. Qalandarbekov

The article discusses the numerical solution of the plane problem of shear in its plane of the floor disk under the action of a horizontal load using the concentrated deformation method. An algorithm for forming the rigidity matrix of the floor disk taking into account boundary conditions is presented. Based on the developed computer program in FORTRAN, new results of numerical modeling of the object under study were obtained in the absence of real seams. For comparison purposes, the floor disk is also designed for the same external forces using the finite element method. Calculation results using both numerical methods are compared.

**Keywords:** overlap disc, pliability, matrix of internal stiffness, matrix of external stiffness, fictitious seam, stiffness characteristics, displacement.

### Введение

В связевом каркасе главные несущие конструкции формируются системой колонн, горизонтальных дисков-перекрытий и вертикальных сборных элементов, таких как диафрагмы или ядра жесткости. Роль дисков-перекрытий в этой системе значительно возрастает. Они не только несут основную нагрузку от вертикальных сил, но и передают горизонтальные силы, действующие на здание, на ядра жесткости [5, 6].

Численные методы применяются для приближенного решения уравнений, описывающих физические задачи. Такие методы позволяют эффективно рассчитывать сложные строительные конструкции, для которых аналитические методы не позволяют получать результаты [7, 8].

В качестве метода для расчета диска перекрытия используется метод сосредоточенных деформаций (МСД) [1, 2], который получил дальнейшее развитие в работах [3, 4], где рассмотрены решения различных статических и динамических задач.

### Метод исследования

Исследуется податливость дисков перекрытий на примере фрагмента ячейки каркасного здания с односторонним расположением ригелей.

Предполагается, что связи фиктивных швов испытывают деформации растяжение-сжатие, изгиба в горизонтальной плоскости и сдвига. После того как исследуемый объект разбивается на конечные элементы формируется матрица жесткости, которая представляется в виде [3]

$$K = ACS^T, \quad (1)$$

где  $A$  – матрица коэффициентов уравнений равновесия,  $A^T$  – транспонированная матрица  $A$ ,  $C$  – квадратная матрица внутренней жесткости.

Коэффициент жесткости, соответствующий нормальной силе, возникающей между элементами  $k-1$  и  $k$ , расположенными на линии комплексного шва, выражается следующим образом

$$c_{k,k-1}^N = \left[ (c_{k-1,k})^{-1} + (c_{k,k-1})^{-1} \right]^{-1}, \quad (2)$$

$$c_{k-1,k} = \frac{E_{k-1} F_{k-1,k}}{(1-\mu_{k-1}^2) b_{k-1}}, \quad c_{k,k-1} = \frac{E_k F_{k,k-1}}{(1-\mu_k^2) a_k},$$

где  $E_k, F_{k,k-1}, a_k$  – модуль упругости, площадь сечения грани и половина длины  $k$ -го элемента.

Система алгебраических уравнений, полученная исходя из основной системы метода перемещений, представляется в виде

$$KV = P, \quad (3)$$

здесь  $V$  – вектор-столбец искомых перемещений размера  $n_s = 3mn$ , где  $m, n$  – число конечных элементов по оси  $x$  и  $y$  соответственно,

$$V = (u_1 \varphi_1 w_1 \dots u_n \varphi_n w_n),$$

$P$  – вектор внешних сил

$$P = (P_{1x} M_{1y} P_{1z} \dots P_{nx} M_{ny} P_{nz}).$$

Вектор внутренних сил выражается через вектор деформаций

$$S = B^{-1} \lambda = C \lambda, \quad (4)$$

$$\lambda = -A^T V \quad (5)$$

где  $C = B^{-1}$  – матрица внутренней жесткости,  $\lambda$  – вектор деформаций.

## Результаты и обсуждения

**Пример.** Исследование напряженно-деформированного состояния диска перекрытий без учета реальных швов, состоящего из плит перекрытий, соединенных между ригелями  $AB$  и  $CD$  (рисунок 1). Расчетная модель представлена в виде консольной плоской задачи от действия сосредоточенной силы, действующая в горизонтальной плоскости. На основе вышеизложенного алгоритма разработана компьютерная программа **PZ-D.6** на языке **ФОРТРАН**. Полученные результаты на основе этой программы сопоставлены с результатами, полученными по комплексной программе **ЛИРА**.

Жесткостные характеристики фиктивных швов на растяжение, изгиб и сдвиг равняются

$$EF_x = Eh_y, \quad EI_x = Eh_y^3/12, \quad GF_x = Gh_y/1,2,$$

$$EF_y = Eh_x, \quad EI_y = Eh_x^3/12, \quad GF_y = Gh_x/1,2,$$

где  $E = 3,1 \cdot 10^6 \text{ тс/м}^2$ ,  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ ,  $\mu = 0,3$ .

Результаты численного решения получены при  $L_x = L_y = 6\text{ м}$ ,  $n_x = n_y = 24$ ,  $P = 10\text{ т}$ . На рисунке 2 приведены графики изменения вертикальных перемещений по граням  $BC$ . Результаты по МСД получены для сетки  $24 \times 24$ , а по методу конечных элементов (МКЭ) на сетке  $300 \times 300$ .

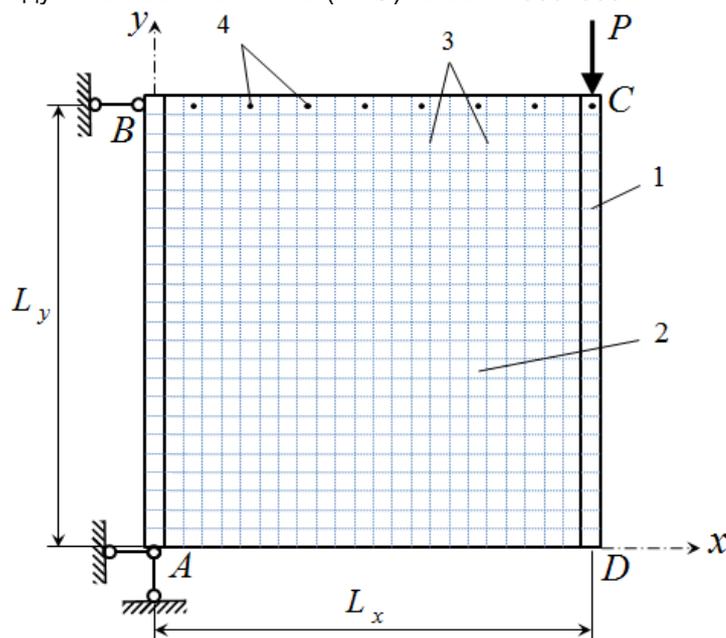


Рисунок 1 - Расчетная модель исследуемого объекта: 1-ригель, 2- плита, 3-фиктивные связи, 4- точки, где определяем перемещения.

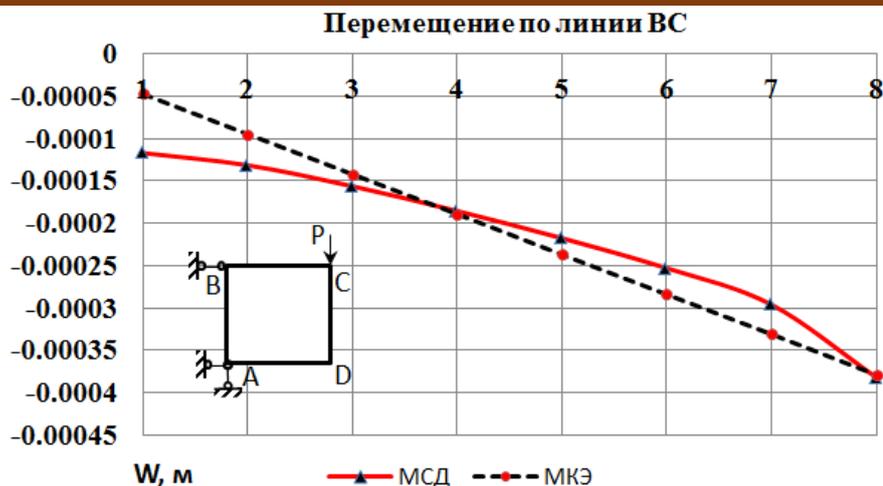


Рисунок 2 - Сравнение результатов по МСД и МКЭ

В таблице для сравнения приводятся численные результаты, полученные по МСД и МКЭ в контрольных точках 1-8.

Таблица – Сопоставление результатов численного решения по МСД и МКЭ

Методы	Перемещение W, мм							
	1	2	3	4	5	6	7	8
МСД	-0,117	-0,131	-0,156	-0,185	-0,218	-0,253	-0,296	-0,382
МКЭ	-0,047	-0,095	-0,142	-0,189	-0,237	-0,284	-0,331	-0,379
Разница %	59,8	27,4	8,97	2,11	8,02	10,9	10,6	0,78

Сравнение результатов показывает, что максимальная разница в полученных результатах по горизонтальным перемещениям составляет 59,8%, а минимальная 0,78%. Следует отметить, что результаты по МСД получены на сетке, шаги в которой значительно больше, чем в МКЭ.

### Вывод

На основе полученных численных результатов можно заключить, что метод сосредоточенных деформаций может быть использован при расчете диска перекрытия на стадии вариантного проектирования при различных воздействиях, в том числе динамических. Разработанная компьютерная программа на основе метода сосредоточенных деформаций позволяет проводить численные эксперименты и исследовать напряженно-деформированное состояние дисков перекрытий при различных граничных условиях.

*Рецензент: Саидов Р.Р. – к.т.н., и.о. доцента кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ТПУ им. акад. М.С. Осими*

### Литература

1. Ржаницын А.Р. Расчёт сплошных конструкций методом упругих сосредоточенных деформаций. Строительная механика и расчёт сооружений, 1980, №5, с. 15-20.
2. Додонов М.И. Расчёт изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций. Строительная механика и расчёт сооружений, 1986, №2, с. 22-25.
3. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций. - Душанбе: «Дониш», 2015, 436 с.
4. Низомов Д.Н., Каландарбеков И.И., Каландарбеков И. Об учёте податливости стыковых соединений в расчётах элементов многоэтажных зданий / Научный журнал. Политехнический вестник, Серия инженерные исследования. Душанбе, №2(54) – 2021. – С.137-142.
5. Каландарбеков И. Железобетонные диски перекрытий многоэтажных каркасных зданий из плит безопалубочного формования / Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1985. – 209 с.

6. Низомов Д.Н., Каландарбеков И. Метод сосредоточенных деформаций в решении статических задач теории упругости / Известия АН Республики Таджикистан. Отд. Физ.-мат., хим. и геол. наук, 2007. – №2(127). – С. 98-106.

7. Бахвалов Н.С. Численные методы / М.: Наука, 1973. – Т.1. – 632 с.

8. Верюжский, Ю.В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики / Киев: Вища школа, 1978. – 183 с.

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

TJ	RU	EN
Низомов Ҷаҳонгир Низомович Доктори илмҳои техникаӣ, профессор, узви вобастаи АМИТ	Низомов Джаҳонгир Низомович Доктор технических наук, профессор, чл.-корр. НАНТ	Nizomov Jahongir Nizomovich Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Институти геология, сохтмони ба заминчунӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ.	Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ.	Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: <a href="mailto:tiees@mail.ru">tiees@mail.ru</a>		
Қаландарбеков Имомёрбек Қаландарбекович д.и.т., профессор	Каландарбеков Имомёрбек Каландарбекович д.т.н., профессор	Qalandarbekov Imomyorbek Qalandarbekovich d.t.s., Professor
Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:kalandarbekov-55@mail.ru">kalandarbekov-55@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Исвалиев Далерҷон Ҷураҳонович	Исвалиев Далерджон Джураҳонович	Isvaliev Dalerjon Djurakhonovich
Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:disvaliev@mail.ru">disvaliev@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Қаландарбеков Ифтихор Имомёрбекович н.и.техникӣ	Каландарбеков Ифтихор Имомёрбекович к.т.н.	Qalandarbekov Iftikhor Imomyorbekovich Candidate of Technical Sciencs
Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:iftikhor791@mail.ru">iftikhor791@mail.ru</a>		

ТДУ: 699.86 (575.3)

## НАҚШИ ТАҲСИЛОТИ ФАРОГИР ДАР ҚОМЕЪАИ МУОСИР

Д.Ф.Сафарзода, А.Р. Муминов, К.Р. Рабиев, М.У. Шерматов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола асосҳои илмӣ таҳсилоти фарогир мавриди баррасӣ ва омӯзиш қарор дода шудаанд. Қайд гардидааст, ки ҳадафи асосии амалисозии ғояҳои фарогирии раванди таҳсилот, беҳбудии ҳамаҷонибаи сифат ва баланд бардоштани сатҳи таҳсилот ба ҳисоб меравад. Тартиби мазкури таҳсилотӣ бешубҳа аз омӯзгорон ва тамоми ҳайати педагогии муассисаи таҳсилотӣ дарки ҷиддии методологияи амалисозии раванди таълиму тарбияро тақозо менамояд. Тарзу усулҳои чудосозӣ ва фардиқунонии таҳсилот, метавонад малакаи таълимиву тарбиявӣ ва таҷрибавию таҳсилотиро ғайи гардонида, имконияти мутобикгардонии вазифаҳои таҳсилотиро ба ниёзу талаботи кӯдакони имкониятҳои маҳдуди функционалидошта таъмин намояд.

**Калидвожаҳо:** таҳсилоти фарогир, дастрасӣ, таълимиву тарбиявӣ, муҳит, раванди таълим, педагогика.

## РОЛЬ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

Д.Г. Сафарзода, А.Р. Муминов, К.Р. Рабиев, М.У. Шерматов

В этой статье рассматриваются научные основы инклюзивного образования и изучаются научные основы инклюзивного образования. Было отмечено, что основной целью реализации идей инклюзивности образовательного процесса является всестороннее улучшение качества и повышение уровня образования. Данная образовательная система безусловно требует от учителей и всего педагогического состава серьезного отношения к методологии осуществления учебно-воспитательного процесса. Методы разделения и индивидуализации образования могут обогатить образовательные, воспитательные и опытно-воспитательные навыки и обеспечить возможность адаптации образовательных задач к потребностям детей с ограниченными функциональными возможностями.

**Ключевые слова:** инклюзивное образование, доступность, учебно-воспитательная среда, учебный процесс, педагогика.

## THE ROLE OF INCLUSIVE EDUCATION IN MODERN SOCIETY

D.G. Safarzoda, A.R. Muminov, K.R. Rabiev, M.U. Shermatov

This article examines the scientific foundations of inclusive education and studies the scientific foundations of inclusive education. It was noted that the main goal of implementing the ideas of inclusiveness of the educational process is a comprehensive improvement in the quality and increase in the level of education. This educational system certainly requires teachers and all teaching staff to take seriously the methodology of implementing the educational process. Methods of separation and individualization of education can enrich educational, educational and experimental-educational skills and provide the ability to adapt educational tasks to the needs of children with limited functional capabilities.

**Keywords:** inclusive education, accessibility, educational environment, learning process, pedagogy.

Таҳсилоти фарогирро (ТФ) чун қоида, бо назардошти истифодаи принципҳои баробарӣ ва эътирофи ҳуқуқ ва озодиҳои ҳар як узви қомеъаи шахрвандӣ, аз ҷумлаи кӯдакони синнусоли гуногун барои дарёфти донишу таҳсилоти босифат ва муосир, ки бояд ҷавобгӯ ба даъвати талаботи замонавӣ муаррифӣ менамоянд. Падидаи мазкур аз маҷмӯи санадҳои меъёриву ҳуқуқии байналмилалӣ, мисоли Конвенсияи ҳуқуқи маъҷубон, ки аз ҷониби Ассамблеяи генералии Созмони миллалӣ муттаҳид (СММ) дар санаи 13 декабри соли 2006 қабул гардидааст, сарчашма мегирад. Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳуҷҷати мазкур 22 сентябри соли 2016 ба тавсиб расида, он тарафдорӣ ҶТ-ро аз ҳифзи ҳамаҷонибаи ҳуқуқ ва озодии шахсони маъҷуб, дар қорҷӯбаи иҷроиши талаботи меъёрҳои байналмилалӣ тасдиқ менамояд.

Муҳимияти ТФ-ро дар замони рушду нумӯи пешрафти техникаи баррасӣ намуда истода, бояд таваҷҷуҳи махсус ба самтҳои асосиву калидии раванди мазкур, ки он сатҳи муҳимияти масъаларо, аз нуқтаи назари ҷабҳаи иҷтимоиву таҳсилотӣ муайян менамояд, дода шавад. ТФ бояд имкониятҳои васеъи ташаққули қомеъаи инсонии боадолату баробарҳуқуқиро таъмин намуда, ҳамаҷониба барои баргараф сохтани монеаъ ва падидаҳои қолаборӣ дар ҳаёту фаъолияти шахсони маъҷуб, алаҳусус кӯдакони кӯмаки ҳамаҷониба расонад. Ҳамзамон, бояд барои ҷунин гуруҳи кӯдакон, новобаста аз ҷинсу синнусол имкониятҳои баробари ҳамдигарфаҳмӣ ва ҳамкорию бо тамоми ҳамсинфону ҳамсолон таъмин гардад [1].

Ҳадафи асосии амалисозии ғояҳои фарогирии раванди таҳсилот, беҳбудии ҳамаҷонибаи сифат ва баланд бардоштани сатҳи таҳсилот ба ҳисоб меравад. Тартиби мазкури таҳсилотӣ бешубҳа аз омӯзгорон ва тамоми ҳайати педагогии муассисаи таҳсилотӣ дарки ҷиддии методологияи амалисозии раванди таълиму тарбияро тақозо менамояд. Тарзу усулҳои чудосозӣ ва фардиқунонии таҳсилот, метавонад малакаи таълимиву тарбиявӣ ва таҷрибавию таҳсилотиро ғайи гардонида, имконияти мутобикгардонии вазифаҳои таҳсилотиро ба ниёзу талаботи кӯдакони имкониятҳои маҳдуди функционалидошта таъмин намояд.

Дар давраи муосир, ки тамом ҷабҳаҳои ҳаёту фаъолияти одамон бо сабаби тағйирёбиҳои шароитҳои ҳамаҷонибаи глобалӣ бо суръати назаррас иваз мегардад, барои насли наврас аз худ намудани донишҳои замонавӣ ва малақаҳои амалии ҳамдигарфаҳмӣ, муошират ва ҳамкориҳои судманд бо одамони гирду атроф, ки қобилияти ниёзи гуногун доранд, ниҳоят муҳиму муҳим мебошад. Дар ин маврид, ТФ метавонад барои пайдо гардидани донишу малақаҳои номбурдаи насли наврас дар давраҳои гуногуни бавоярасии онҳо мусоидат намояд. Ҳамзамон, он барои омодагии тарбиягирандагони муассисаҳои таҳсилотӣ барои ҳаёту фаъолият дар замони муосири шаҳришавӣ ва дар ҷаҳони атрофи гуногунҷабҳаи инсоният мусоидат намояд.

Дар баррасии ТФ аз нуқтаи назари рушди иқтисодиву иҷтимоии қомеъа, бояд қайд намуд, ки маблағгузориҳо дар соҳаи фарогирӣ, дар натиҷа ба таъмини хароҷоти камтарини иқтисодии дурнамои

наздиқ барои хизматрасониҳои иҷтимоӣ, кӯмаки тиббӣ ва дастгирии шахсони маъҷуб ва имнонияти маҳдуди функсионалидошта мусоидати назаррас менамояд. Муҳақиқони соҳаи маориф таҳсилоти фароғирро ҳамчун падидае арзёбӣ менамоянд, ки он бевосита барои ташаккул додани шароитҳои мусоиду баробари дастрасии тамоми қишри ҷомеа, аз ҷумла барои таълиму тарбияи хонандагони муассисаҳои таҳсилотӣ равона карда шудааст. Муҳимияти ТФ-ро дар замони рушди ҷамаҷонибаи ҷомеаи шаҳрвандӣ метавон бо ҷабҳаҳои бевосита бо ҳамдигар алоқаманд асоснок намуд [2].

Дар амалисозии ТФ ҳалли мушкилоти адолати иҷтимоӣ яке аз равандҳои назаррас ба ҳисоб рафта, ҳар як шахс ҳуқуқи дастрасӣ ба таҳсилоти муосир дорад. Дар ин маврид, муносибати фароғирӣ раванд, бешубҳа барои бартараф намудани монеаҳои, ки садди роҳи баъзе аз гуруҳҳои осебпазири хонандагон дар раванди таҳсилот мегарданд, кӯмаки амалӣ мерасонад.

Гуногунранги ва эътирофу эҳтироми нуқтаҳои назари дигар, маърифат, мазҳаб ва тарзи ҳаёти ҷамагон хусусиятҳои дигаре мебошанд, ки дар раванди таҳсилоти фароғир, барои ташаккули муҳити мусоид бояд ба назар гирифта шавад. Ин падида барои рушди инкишоф додани ҳамдигарфаҳмӣ, эҳтироми байниҳамдигарии хонандагон мусоидат намуда, эҳсоси аҳамияти дурномии ҳаёту фаъолияти онҳоро дар ҷомеа таъмин менамояд.

Тарзу усулҳои таҳсилоти фароғир метавонанд равади таҳсилотро бо ғани гардонида, истифодаи роҳу усулҳои гуногуни таълим барои қонъ намудани ниёзи хонандагони дорои хусусияти ҳархелабуда мусоидат намояд ва дар умум сатҳу сифати таҳсилотро афзун намоянд.

Хонандагони дар доираи муҳити таҳсилоти фароғир ҷойгирбуда пеш аз ҷама роҳҳои иҷроӣ корхоро дастаҷамона, ҳурмату эътирофи нуқтаҳои назари дигаронро меомӯзанд ва малакаҳои ҳамкорихоро инкишоф медиҳанд, ки ин малакаҳо барои мутобиқшавии онҳо дар ҳаёту фаъолияти ояндашон нақши арзандаеро мебозад.

Сифати дигари ТФ дар он мебошад, ки он барои ташаккули хусусиятҳои дарки қадрдониву арзишноки дар мафкураи хонандагон мусоидат менамояд ва он метавонад дар тамоми тӯли ҳаёт онҳоро роҳнамоӣ кунад. Чунин арзишҳо, ба мисли ҳамдигарфаҳмӣ, дастгирӣ ва хоҳиши расонидани кӯмак ба дигарон бешубҳа метавонанд сабаби бунёди ҷомеаи муттаҳиду адолатпарвар гардад [1,3].

Раванди фароғирӣ дар муассисаҳои таълимиву тарбиявӣ, пеш аз ҷама аз онҳо ворида намудани методҳои наватрин, роҳу технологияҳои муосирро талаб менамояд, ки дар натиҷаи ниҳойи он метавонад сабаби асосии навоариҳои таҳсилотӣ, фасеҳӣ ва афзудани мутобиқгардонии системаи маориф гардад.

Хусусияти дигари калидии ТФ аз он иборат мебошад, ки он қодир аст иштирок ва ҷалби волидайнӣ хонандагонро ба раванди таҳсилот васеу босамар гардонида, ҳамзамон ба бунёди ҷомеаи ҳаммаслак дар атрофи муассисаи таҳсилотӣ мусоидат намояд.

Бояд қайд намуд, ки фароғирӣ дар раванди таълиму тарбия яке аз унсурҳои муҳими ҷомеаи муосир буда, на танҳо барои рушди инфиродии ҳар як хонанда, балки барои ташаккули муҳити одилонаву устувори иҷтимоӣ мусоидат менамояд.

Таҳсилоти фароғир ва анъанавӣ ду намуди муносибат нисбати таҳсилот буда, фарқияти байни онҳо ҷабҳаҳои гуногунмантӣ, аз фалсафа то ба тарзу усули таълимро дар бар мегирад. Фарқияти байни ин ду намуди таҳсилотро метавон аз нуқтаҳои назари зерин: мафҳуму фалсафа, муносибат ба таҳсилот, иштироку ҳамкорихо, ва муҳити таҳсилот баррасӣ намуд.

Таҳсилоти анъанавӣ системаест, ки дар асоси барномаҳои стандартии таълимӣ ва тарзу усули таълимии анъанавӣ амалӣ гардида, ҳадафи асосии он аз додани донишҳо ба хонандагон васоити дарсҳои назариявӣ, амалӣ, озмоишӣ, имтиҳонҳо ва ғайра иборат аст. Дар ин намуди таҳсилот хонандагоне, ки лаёқати ноқофияи дарсомӯзӣ доранд, наметавонанд ба диққату дастгириҳои иловагии омӯзгорон ноил шаванд.

Таҳсилоти фароғир бошад, шакли куллан дигари таҳсилот аст, ки он барои таъмини имкониятҳои баробар барои тамоми хонандагон, аз ҷумла онҳое, ки дорои ниёзу эҳтиҷоти махсус ё норасогиҳо мебошанд, равона шудааст. Фароғирӣ ба ташаккули чунин муҳити таҳсилотие равона шудааст, дар он ҳар як хонанда имконияти иштироки фаъолнаро дар раванди таълиму тарбия, новобаста аз хусусиятҳои инфиродии худ, дошта бошад. Таҳсилоти фароғир дар асоси қиммату эътиқодҳои гуногунҷабҳа ташкил гардида, дар он тамоми хонандагон ҳуқуқҳои баробарро барои таҳсилоти пурарзиш дошта метавонанд.

Аз лиҳози муносибатҳо ба раванди таҳсилот, дар таҳсилоти анъанавӣ методҳои таълимиву тарбиявии универсалӣ, ки метавонад хусусияти инфиродии хонандагонро ба назар нагирифта, дастовардҳои хонандагон васоити санҷишу имтиҳонҳои стандартӣ арзёбӣ мегарданд ва дар он аксаран системаи на чандон дурусти “ченаки умумӣ”, мавриди истифодабарӣ қарор дода шудааст [4,5].

Дар раванди таҳсилоти фароғир дар қиёс бо анъанавӣ, методикаи ҷудогонаи (дефференсатсионии) таълим, ки раванди таҳсилотро ба ниёзу эҳтиҷоти ҳар як хонанда бояд мутобиқ бошад амалӣ карда мешавад. Дар он арзёбии комёбиҳои хонандагон дар асоси истифодабарии тарзҳои алтернативӣ, ба мисли корҳои лоиҳавӣ ё мустақилона (партфолио), фасеҳтар иҷро шуда, саъю кӯшиш ва ҳаракат барои ташаккули муҳити дастгирикунанда, ба ҳамкорихоии байниҳамдигарии хонандагон мусоидат менамояд, равона карда шудааст.

Масъалаҳои вобаста ба иштирок ва ҳамкорихоии байни хонандагону омӯзгорон дар раванди таҳсилоти анъанавӣ ва фароғир низ, аз ҳамдигар фарқкунанда мебошанд. Аз ҷумла, дар таҳсилоти

анъанавӣ хонандагон метавонанд мушкилиҳоро, хусусан дар масъалаҳои азхудкунии маводи таълимӣ ҳис намоянд ва ҳамкориҳои байни хонандагону омӯзгорон дар ин маврид маҳдудият дошта, дарки эҳтиёҷоти инфиродии хонандагону мушкил мегардонад. Дар системаи таҳсилоти фарогир бошад, имкониятҳои ҳамкориҳои байни хонандагони сатҳи гуногуни фаҳмишдошта васеътар мебошад, ки он ба инкишофи малакаҳои корҳои дастаҷамонаи онҳо мусоидат менамояд. Ҳамзамон омӯзгорон пешбурди фаъолони корхоро бо ҳар як хонанда чиҳати дарку эҳсос ва дастгирии эҳтиёҷоти ӯ ба роҳ мемонанд.

Дар муҳити таҳсилоти ситемаҳои таълимиву тарбиявии анъанавӣ ва фарогир, низ фарқиятҳои ҷиддӣ ба назар мерасанд. Масалан, дар раванди таҳсилоти анъанавӣ, дар синфхонаҳо мизу курсиҳои хонандагон аксаран дар ҷойҳои доимӣ ҷойгир карда шуда, он барои робита ва ҳамкориҳо мушкилиро эҷод намуда, раванди таҳсилот метавонад на он қадар фасеҳ ва ба дигаргунсозӣ мутобиқ бошад. Ситемаи фарогири таълимӣ, фазоҳои мутобиқгардонидашударо пешбинӣ менамояд, ки дар он хонандагон имконияти иҷрои корхоро дар гуруҳҳо пайдо намуда, аз намудҳои гуногуни фаъолу технологияҳо истифода баранд. Ҳамзамон, озодии дигаргунсозӣ дар фазои таълимӣ, метавонад барои тағйироти муносибат ва методҳои таълимиву тарбиявӣ вобаста аз эҳтиёҷоти синф мусоидат намояд.

Таҳсилоти фарогир ҳамчун фарзия ва амалия дар тӯли дарозмуддати таърихӣ равнаку ривоч ёфта, як чанд давраҳои инкишофро, ки тағйиротҳои гуногунҷаҳа, аз ҷумла иҷтимоиву маърифатӣ ва сиёсиро инъикос менамояд дар бар мегирад. Тамоми ин тағйирот ба дарку эҳсоси ҳолатҳо аз ҷониби шахсони ниёзҳои махсусдошта амалӣ гардидаанд [6,7].

Дар давраҳои қадими тараққиёти ҷомеаи ҷаҳонӣ, дар аксари ҳолатҳо муносибатҳои вучуд доштанд, ки шахсони ниёзҳои махсуси руҳониву ҷисмонидошта ба ҷудосозӣ ё беруншавӣ аз ҷомеа вучор мешуданд. Масалан, дар Риму Юнони қадим шахсони имкониятҳои маҳдуди руҳиву ҷисмонидошта (маъҷубон) дар аксари маврид, аз ҷомеа берун карда шуда, нисбати онҳо як муносибати номатлуб мегардид. Дар қарнҳои миёна бошад, муносибат ба ҷунин гуруҳи одамон аксаран аз лиҳози диниву мазаҳабӣ амалӣ гардида, онҳоро дар муассисаҳои махсусгардонидашуда ё динӣ ҷойгир менамуданд.

Пайдоиши нахустин муассисаҳои таълимӣ барои кӯдакони маъҷуб дар асри XIX яке аз қадамҳои муҳим дар рушду нумуши системаи таҳсилот ва эҳсоси ҳуқуқҳои шахсони ниёзҳои махсус нисбати таҳсилотдошта мебошад. Давраи мазкур, ҳамчун давраи гузариш аз маҳдудсозӣ ба шақҳои махсуси таълимиву тарбия ба ҳисоб рафта, албатта онҳо ҳоло аз шакли таҳсилоти фарогир фарсахҳо дур буданд.

Дар ҳамон давра, дар Европа ва Америкаи Шимолӣ дигаргуниҳои назаррас дар самти маорифу вазъияти иҷтимоии маъҷубон ба амал омаданд. Инкишофи ғояҳои инсонпарварӣ, ишора ба ҳуқуқҳои баробари одамон, инчунин дастовардҳои назарраси илмӣ дар соҳаи тиббу руҳшиносӣ ба дигаргуншавии ақидаҳои ҷомеа нисбати шахсони маъҷубиятдошта мусоидат намудаанд [7,8,10].

Ғояҳои, ки ҳуқуқи озодии шахсон ва адолати иҷтимоиро муаррифӣ менамоянд, ниҳоят омавию машҳур гашта, барои дарку эҳсоси зарурати таҳсилотро барои ҳамагон мусоидат намуда, таҳқиқотҳои илмӣ дар самтҳои мазкур амалишаванда, як шаклу васоити номураккаби фаҳмиши ниёз ва имкониятҳои кӯдакони маъҷуб гардиданд.

Дар соли 1784 дар мамлақати Швейтсария мактаби нахустин барои кӯдакони нобино бунёд гардида, ғояҳои барои таълимиву тарбияи кӯдакони нобино таҳияшуда, минбаъд ҳамчун асос барои бунёди муассисаҳои махсусгардонидашудаи дигар истифода шудаанд.

Яке аз мактабҳои дигари аввалин барои кӯдакони имкониятҳои маҳдуддошта, мактаб барои кӯдакони нуқсонӣ шуновидошта, ки аз ҷониби Констан Бод, дар шаҳри Париж соли 1791 бунёд карда шуда, он ҳамчун намунаи ибрат барои мактабҳои дигар хизмат расонидааст.

Аз оғози асри XIX сар карда, дар мамлақати мутаррақии ҳамонвақта ба бунёди аввалин мактабҳои махсус барои шахсони маъҷубияҳои гуногундошта даст задаанд. Дар ин маврид, барои асосноккунии ғояҳои ҷудосозии маъҷубон аз шахсони солим, педагогону табибон ба он ақида буданд, ки таҳсилоти алоҳидаи ҷунин гуруҳи кӯдакон метавонад барои инкишофи малакаҳои зарурии ҳаётии онҳо мусоидат намояд. Аввалин муассисаи махсус барои кӯдакони маъҷуб, дар соли 1800, дар пойтахти Фаронса, шаҳри Париж аз ҷониби Эдвард Гард [12] мавриди истифода қарор дода шудааст. Он барои кӯдакони нуқсонӣ шунавидошта пешбинӣ шудааст.

Дар нимаи аввали асри XIX бунёди оммавии муассисаҳои махсусгардонидашуда барои кӯдакони нуқсонҳои гуногуни руҳиву ҷисмонидошта оғоз шудааст. Дар баъзе аз давлатҳои ҳамонзамона, мисоли Олмон, Британияи Кабир ва Штатҳои Муттаҳидаи Амрико (ШМА), барои ташкил намудани синфҳои махсус барои хонандагони маъҷуб дар макотиби таҳсилоти умумӣ оғоз мегардад.

Соли 1829 дар ШМА мактаби махсусгардонидашуда барои нобиноён бунёд мегардад, ки он ҳамчун асоси системаи муассисаҳои таҳсилоти махсусгардонидашуда дар Амрико қабул шудааст.

Дар миёнаи асри XIX ба истифодаи тарзу усулҳои таҷрибавии нави таҳсилот, ки барои ниёзи инфиродии хонандагон мутобиқ гардонидашуда шудааст, оғоз гаштааст. Дар ҳамон давра, барнома ва васоитҳои аввалини таълимӣ, ки хусусиятҳои кӯдакони маъҷубро ба инобат мегиранд, таҳия ва мавриди баҳрабардорӣ қарор дода шудаанд.

Муассисаҳои таҳсилоти махсусгардонидашуда мунтазам на танҳо ҳамчун муассисаи таҳсилотӣ, балки ҳамчун марказҳои ҳифзи ҳуқуқи маъҷубон истифода капрда мешуданд. Омӯзгорону фаъолони соҳа

ба ҳифзи ҳуқуқи озодиҳои кӯдакон барои гирифтани таълиму тарбия ва интегратсияи иҷтимоӣ, маҳз аз ҳамон давраҳо шуруъ кардаанд.

Ба дигаргуниҳои босамару мусбӣ нигоҳ накарда, мактаҳои махсусгардонидашуда, аз ҷониби қисми дигари шахсон мавриди танқид қарор дода шуданд. Дар ин маврид, мунаққидон ғояи ҷудосозии кӯдакони маъҷубро аз ҷомеа ва шароитҳои воқеии ҳаёту фаъолият танқид месохтанд. Маҳз аз ҳамон давра, дар анҷоми асри XIX ва солҳои аввали асри XX ҳаракату фаъолияти мутахассони соҳа барои интегратсияи иҷтимоӣ маъҷубон оғоз гашта, ғояҳои аввалини таҳсилоти фарогир, муносибати инноватсионӣ нисбати таҳсилот ва дигаргунсозии сиёсат дар самти мазкур мунтазам мавқеи худро пайдо менамоянд.

Бунёди мактабҳои махсус дар асри XIX қадамҳои нахустин дар ташаккули системаи таҳсилот барои кӯдакони ниёзҳои махсусдошта ба ҳисоб меравад. Ин давра асоси моддиву маънавию барои дигаргунсозии оянда нисбат ба таълиму тарбияи шахсони маъҷуб ва пайдоиш ва инкишофи минбаъдаи таҳсилоти фарогир ба вучуд овардааст. Бо вучуди ин, талабот барои интегратсияи минбаъда дар ин самт, дигаргунсозии мафкураи ҷомеа ва тартиби дастгириҳо мубрамияти худро аз даст надода, дар асрҳои XX ва XXI ба самти асоситарини ислоҳоти соҳаи таҳсилот табдил ёфтааст.

Аз соли 1960-уми оғоз гардида, муносибат нисбати шахсони имкониятҳои маҳдуддошта дар ҷомеаи рӯ ба тағйирёбии кулӣ овардааст. Ҳаракату созмонҳои ҷамъиятӣ соҳмон дода мешаванд, ки барои ҳифзи ҳуқуқи озодиҳои шахсони маъҷубиятдошта фаъолияти худро пурзӯр намуда, барои баробарҳуқуқиву дастрасӣ дар самти таълиму тарбия, шугъл ва хизматрасониҳои дигарӣ иҷтимоӣ нақши назаррасро гузошта истодаанд. Масалан, дар ШМА қабули Қонун дар бораи ҳуқуқҳои шахрвандӣ дар соли 1964 ва Қонун дар бораи шахсони маъҷуб, дар соли 1975 (Education for All Handicapped Children Act) [11,12] яке аз лаҳзаҳои ҳалқунандае ба ҳисоб меравад, ки ҳуқуқи таълиму тарбияи кӯдакони имкониятҳои маҳдуддоштаро дар макотибҳои таҳсилоти муқарарӣ таъмин намудааст.

Дар асоси ғояҳои концептуалии солҳои 90-уми асри гузашта, системаҳои таҳсилоти бояд ниёзҳои гуногунҷабҳаи хонандагонро ба инобат гирифта, ба онҳо мутобиқ гардонида мешуданд. Қабули баённомаи байналмилалӣ дар бораи таҳсилот дар аввали соли 1990 ва Конвенсияи оид ба ҳуқуқи маъҷубони Созмони милалӣ муттаҳид (СММ) [3,7] дар соли 2006 ҳодисаи муҳиме мебошад, ки бечуну чаро муҳимияти таҳсилоти фарогирро ҳамчун ҳуқуқи ҳар як шахс тасдиқ менамоянд.

Дар оғози қарди XXI таҳсилоти фарогир дар ҷаҳон рушду инкишоф ёфта истода, дар аксари мамлаки пешрафта қонуну стратегияҳои ҷадид ҷиҳати ворид намудани падидаи фарогирӣ дар системаи таҳсилотӣ қабул ба тавсиб расидаанд. Таҳсилоти фарогир аз ҷониби ҷомеаи ҷаҳонӣ на танҳо ҳамчун раванди ҳифзи ҳуқуқҳои башар, балки ҳамчун тарзу усули муносири баланд бардоштани сифати таҳсилот дар усмум, пазируфта мешавад. Ҳамзамон, як қатор масъалаҳои ҳалталаб, ба мисли норасоии кадрҳои омӯзгорӣ баландихтисос, камбудии имкониятҳо ва нофаҳмиҳо дар дарку эҳсоси фарогирӣ дар сатҳи ҷомеа ҳоло вучуд доранд.

Роҳҳои муносири амалисозии таҳсилоти фарогир бо шарофати ҳамкориҳо ва табодули таҷрибаҳои корӣ байни давлатҳои ҷаҳон нисбатан фаъол гардида истодаанд. Дар баъзе давлатҳо, аз қабили Финляндия, Норвегия ва Канада, моделҳои самараноки таҳсилоти фарогир таҳия шудаанд, ки онҳо дар таркиби худ системаи дастгирии омӯзгорону хонандагон ва инчунин сарчашмаҳои моливу пулӣро барои волидайнӯ ҷамъиятҳои маҳаллӣ пешбинӣ менамоянд.

Боиси зикр аст, ки таҳсилоти фарогир як роҳи мураккаби таърихию, аз маҳдудшавӣ ва табъиди ҳуқуқии эътирофи ҳуқуқи ҳар як шахс барои дастрасӣ ба таҳсилоти хушсифату пурарзиш паси сар намудааст. Ин раванд дар замони муносири имрӯза низ давом ёфта истода, аз ҷомеаи иштироки фаъолнаро тақозо менамояд, то ки муҳити таҳсилоти фарогир ба пурраги ташаккул дода шуда, барои ҳамагон дастрас бошад.

Дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, низ ҳамчун аъзои комилҳуқуқи ҷомеаи ҷаҳонӣ, таҳсилоти фарогир дар марҳилаи рушду инкишофи ҳамаҷониба қарор дода шуда, он то ҳол як чанд давраҳои тараққиёт ва шаклдигаркуниҳоро, ки бевосита бо ҷӣ омилҳои дохила ва ҷӣ беруна алоқаманд мебошад, гузашта истодааст [12].

Дар давоми қисмати бештари асри XX таҳсилоти шахсони имкониятҳои маҳдуди функционалидошта дар мамлакат, дар сатҳи начандон зарурӣ амалӣ мегардид. Баъди ба даст овардани соҳибистиклолии давлатӣ дар соли 1991, дар ҷумҳурӣ як қатор мактабҳо ва мактаб-интернатҳои махсус барои кӯдакони маъҷубиятдошта фаъолият менамуданд, ки аксаран онҳо дар раванди таълиму тарбияи хонандагон дар алоҳидагӣ аз мактабҳои таҳсилоти муқарарӣ амалӣ мешуд. Дар ин давра, ҷомеаи шахрвандии мамлакат ҳоло барои гузаштан ба таҳсилоти фарогир на чандон омода буда, масъалаи мазкур аз ҷониби одамон дар сатҳи зарурӣ эҳсос намегардид.

Бо саршавии дигаргунсозии иқтисодиву иҷтимоӣ дар солҳои 90-уми асри гузашта, инчунин раванди дигаргунсозии кулӣ дар самти таҳсилот, аз ҷумла таълиму тарбияи кӯдакони имкониятҳои маҳдуддошта низ оғоз гардид.

Дар ин давраҳо пайдоиши мунтазами ғояҳои муосир ҷиҳати интегратсияи кӯдакони маъюбиятдошта дар муассисаҳои таҳсилоти муқаррарӣ ба чашм мерасад. Таъсири ҳамкориҳои ташкилотҳо ва барномаҳои байналмилалӣ, ба монанди ЮНИСЕФ ва Ташкилоти байналхалқии ҳифзи саломатӣ, инчунин иштироки ҚТ дар конвенсияву эълomiaҳо оид ба ҳуқуқи маъюбон (Конвенсияи ҳуқуқи маъюбони СММ, соли 2006), барои дигаргунсозиҳои дарку эҳсоси таҳсилоти фарогир мусоидат намудаанд [5,8].

Аз аввали солҳои 2000-ум дар ҚТ раванди ташаккули манбаҳои ҳуқуқӣ барои таҳсилоти фарогир оғоз шуда, дар соли 2008-ум дар ҷумҳурӣ “Стратегияи миллии рушди таҳсилот то давраи солҳои 2020” қабул гардидааст, ки дар он яке аз ҳадафҳои асосии системаи таҳсилот ворид намудани унсурҳои фарогирӣ ба ҳисоб меравад. Ҳуҷҷати мазкур зарурати интегратсияи кӯдакони маъюбиятдоштаро дар муассисаҳои таҳсилоти муқаррарӣ ва рушди системаи таҳсилоти фарогирро махсус ифода намудааст.

Бояд қайд намуд, ки солҳои охир дар ҚТ таваҷҷуҳи роҳбарият ва мутахассисони соҳаи маориф ва ҷомеа ба таҳсилоти фарогир ниҳоят зиёд гардида, якҷанд барномаҳои омодаасозии омӯзгорон, дастурҳои таълимӣ ва тавсияномаҳои ташаккули муҳити фарогир дар мактабҳои анъанавии амалкунанда таҳия ва тартиб дода шудаанд. Дар соли 2015 бо ташабуси Вазрати маориф ва илм ва дастгирии Ҳукумати ҚТ барномаи “Таҳсилоти фарогир дар Тоҷикистон”, ки аз ҷониби ташкилотҳои байналмилалӣ дастгирӣ ёфтааст мавриди амал қарор дода шудааст.

Мутаасифона, ба дигаргунсозиҳои мусбӣ нигоҳ накарда, дар мамлакат то ҳол баъзе падидаҳои номатлуб, аз ҷумла, норасогиҳои манбаҳои маблағгузорӣ барои амалисозии таҳсилоти фарогир, мавҷуд набудани миқдори кофии мутахассисони омодагардида ва инчунин идомаи ҷудо- ва маҳдудсозии шахсони маъюбиятдошта дар ҷомеаи шаҳрвандӣ боқӣ мондааст.

Мушкилоти асоситарини таҳсилоти фарогир дар ҚТ аз омилҳои зерин иборат мебошад:

- норасогиҳои маблағгузорӣ. Аксари муассисаҳои таҳсилоти амалкунанда дар мамлакат дорои маблағҳои зарурӣ барои ташаккули муҳити фарогирӣ таҳсилотӣ надоранд.

- дар ҳаҷми зарурӣ набудани манбаҳои таълимиву методии таҳсилот. Миқдори маводу дастурҳои таълимӣ барои кӯдакони эҳтиёҷоти махсусдошта нокифоя мебошад.

- омодаасозии омӯзгорони баландихтисос. Системаи омодаасозии омӯзгорон ба мушкилот ва масъалаҳои асоситарини таҳсилоти фарогир таваҷҷуҳи нокифоя дорад.

- фаҳмидагирӣ ва дарку идрок аз ҷониби ҷомеа. Марифатнокии қолабӣ ва ақидаҳои нодуруст нисбати шахсони имкониятҳои маҳдуддошта то ҳол ба падидаи мазку таъсири номусоид мерасонанд.

Рушду нумуи таҳсилоти фарогир дар ҚТ идома ёфта истода, тағйиротҳои дар самтҳои ҳуқуқӣ, таҳсилотӣ ва иҷтимоӣ тақозо менамояд. Ба пешравиҳои бадастомада нигоҳ накарда, зарурати ҳаракатҳои минбаъда барои ташаккули муҳити таҳсилоти фарогир, аз ҷумла ҷалби фаъолтари оила ва ҷомеа ҷиҳати омодаасозии мутахассисон ва беҳбудии инфрасохтори таҳсилотӣ заруру мубрам мебошад. Ҳамкориҳои байналмилалӣ ва табодули малакаҳои беҳтарини соҳа низ метавонад дар инкишофи минбаъдаи раванди мазкур, нақши арзандае дошта бошад.

*Муқарриз: Муқимов Ғ.С. — доктори меъморӣ, профессори кафедраи дизайни муҳити меъморӣ ва тармими ДЛТТ ба номи академик М.С. Осимӣ*

### Адабиёти

1. Васькова, Т. В. Инклюзивное образование: теория и практика / Т. В. Васькова. — Москва: Педагогика, 2020. — 256 с.
2. Гришина, Т. А. Инклюзивное образование: международный и российский опыт / Т. А. Гришина. — Санкт-Петербург: РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. — 180 с.
3. Кудрявцева, Н. М. Инклюзивные практики в образовании: от теории к практике / Н. М. Кудрявцева. — Казань: Казанский университет, 2022. — 300 с.
4. Шевченко, И. А. Инклюзивное образование: подходы и реализация / И. А. Шевченко. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2021. — 220 с.
5. Стратегияи миллии рушди маориф дар ҚТ то давраи соли 2030. — Душанбе, 2016. — 103 с.
6. Қонуни ҚТ «Дар бораи маориф» (АМОҚТ, с. 2013, № 7, мод. 532; с.2014, №3, мод.156; №7,қ.2, мод.422; с.2016, №3, мод.148,№7, мод.624)
7. UNESCO. The Salamanca Statement and Framework for Action on Special Needs Education. — Salamanca, 1994. — 38 p.
8. Абаев, З. Г. Социальная инклюзия в образовании: теоретические аспекты / З. Г. Абаев. — Тверь: Тверской государственный университет, 2019. — 150 с.
9. Дмитриева, В. И. Инклюзивное образование: проблемы и перспективы / В. И. Дмитриева. — Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 2020. — 275 с.

10. Гусева, Т. С. Инклюзивное образование: современный подход / Т. С. Гусева. — Москва: Издательство "Наука", 2022. — 195 с.
11. Савельева, Н. В. Психология инклюзивного обучения / Н. В. Савельева. — Санкт-Петербург: Питер, 2021. — 230 с.
12. Рожкова, А. И. Инклюзивное образование: теоретические и практические аспекты / А. И. Рожкова. — Казань: Издательство "Молодой ученый", 2020. — 190 с.

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

TJ	RU	EN
Сафарзода Дилшод Ғанӣ унвончӯӣ	Сафарзода Дилшод Ганӣ соискатель	Safarzoda Dilshod Ghani applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Муминов Ашрафҷон Раҳмоналиевич	Муминов Ашрафджон Рахмоналиевич	Muminov Ashrafjon Rakhmonalievich
унвончӯӣ	соискатель	applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:ashrafjon-1997@mail.ru">ashrafjon-1997@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Рабиев Комрон Раҳматович	Рабиев Комрон Рахматович	Komron Rabiev Rakhmatovich
Доктори PhD	Доктор PhD	Doctor of Philosophy
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:comron@mail.ru">comron@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Шерматов Музаффар Умурзакович	Шерматов Музаффар Умурзакович	Shermatov, Muzaffar Umurzakovich
номзади меъморӣ,	кандидат архитектуры	candidate of architecture
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:muzafar.sher@mail.ru">muzafar.sher@mail.ru</a>		

## ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА КЛИНКЕРА ОТ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ

А.А. Акрамов, Х.В. Юсупов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека

В данной статье представлены результаты исследования сырья Яванского завода Республики Таджикистан. Химический анализ сырья завода показал, что за исключением шлака №2 содержание MgO и SO<sub>3</sub> не превышает допустимых значений. Для изучения влияния шлаков на прочность, формирование основных клинкерных минералов были рассчитаны три сырьевые смеси с коэффициентом насыщения равным 0,92. Результаты показали, что добавки железа не оказывают существенное влияние на формирование клинкерных минералов.

**Ключевые слова:** цемент, клинкер, глина, карбонатные породы, доломит, кварц, гипс, огарки.

## ВОБАСТАГИИ СИФАТИ КЛИНКЕР АЗ КОМПОНЕНТҲОИ ОҶАНДОР

А.А. Акрамов, Х.В. Юсупов

Дар мақола натиҷаҳои тадқиқоти ашёи хоми заводи Ёвони Ҷумҳурии Тоҷикистон оварда шудааст. Таҳлили химиявии ашёи хоми комбинат нишон дод, ки миқдори MgO ва SO<sub>3</sub> ба ғайр аз шлаки №2 аз меъёри иҷозат зиёд нест. Барои муайян кардани таъсири шлак ба интензивии ташаққули маъданҳои асосии клинкер се омехтаи ашёи хоми бо коэффисиенти сершавӣ 0,92 ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳои тадқиқот нишон медиҳанд, ки иловаҳои оҳан ба ҳосил шудани маъданҳои клинкер таъсири калон намерасонанд.

**Калидвожаҳо:** семент, клинкер, гил, ҷинсҳои карбонатӣ, доломит, кварс, гач, шлак.

## DEPENDENCE OF CLINKER QUALITY ON IRON-CONTAINING COMPONENTS

A.A. Akramov, H.V. Yusupov

This article presents the results of a study of raw materials from the Yavan plant of the Republic of Tajikistan. Chemical analysis of the plant's raw materials showed that the content of MgO and SO<sub>3</sub> did not exceed the permissible values, except for cinder № 2. To determine the effect of cinder on the intensity of formation of the main clinker minerals, three raw material mixtures with a saturation coefficient of 0.92 were calculated. The results of the study show that iron additives do not have a major effect on the formation of clinker minerals.

**Key words:** cement, clinker, clay, carbonate rocks, dolomite, quartz, gypsum, cinders.

### Введение

Цементная отрасль является одной из основополагающих в строительной индустрии, так как при производстве цемента расходуется огромное количество энергии, а также природных ресурсов. Производство цемента относится к материалоемким и энергоемким отраслям промышленности. Для того, чтобы снизить эти расходы, последнее время всё больше стараются внедрять новейшие инновационные технологии. Одним из таких методов, который является наиболее эффективным – это введение активных минеральных добавок в состав цемента с уменьшением содержания клинкера. Основные сырьевые материалы, которые необходимы для качественного производства портландцемента – это карбонатные и глинистые породы, кроме этого, можно использовать в её состав отходы промышленного производства, искусственные и естественные природные материалы, а в качестве добавок можно использовать органо-минеральные и химические для повышения механических свойств цементного камня наподобие прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и коррозионностойкости. Карбонатные породы - это и есть часть осадочных и метаморфических горных пород, которые подразделяются на три типа: известняк, доломит и карбонатно-глинистый; разновидность которых известняк, мел; известняк – ракушечник, известковый туф, мергелистый известняк и сам мергель, кроме мрамора все они могут быть использованы для приготовления портландцемента. Глинистые породы: глины, суглинки, сланцы, лёсс и лёссовидные суглинки обеспечивают при изготовлении портландцемента согласно её технологии нужное количество и правильную пропорцию кислых оксидов SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для того, чтобы корректировать значения кремнезема и глинозема при приготовлении смеси вводят добавки железосодержащие, глиноземные и кремнеземистые. Железосодержащие добавки представляют с собой пиритные шлаки сернокислотных заводов, но в некоторых случаях применяется колошниковая пыль доменных печей [1]. На Яванском цементном заводе Республики Таджикистан наблюдалось колебание качества цемента в двухдневном периоде твердения, в циклическом режиме.

Цель проведенной нами работы заключалась в определении понижения качества производимого портландцемента на вторые сутки после твердения.

### Материалы и методы исследования

Чтобы исследовать недостаток качества портландцемента, нами исследовалась сырьевая смесь Яванского цементного завода Республики Таджикистан и материалы к нему мел, глина и сырьевой шлак откорректированный. При проведении работы соблюдались требования, предъявляемые к химическому составу сырьевой смеси при производстве портландцемента. Отрицательное влияние на сырьевую смесь оказывает большое количество содержания минералов доломита и гипса, чем глинистые минералы, все

они входят в состав карбонатной породы, которая еще вместе с карбонатом  $\text{CaCO}_3$  содержит примеси доломита и кварца. Оптимальным считается содержание  $\text{MgO}$  не более 5 % в компоненте извести, при этом можно получить клинкер, отвечающий требованиям, а содержание  $\text{SO}_3$  не должно быть более 1 % [2-8]. Первоначальный химический анализ сырьевой смеси был проведен в работах Яванского цементного завода Республики Таджикистан [9-18]. Из таблицы видно, что все значения в пределах нормы, то есть не превышают содержание  $\text{MgO}$  и  $\text{SO}_3$ , кроме значений огарка №2.

Результаты анализа, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, всё сырьё за исключением шлака №2 не превышает допустимых значений по содержанию  $\text{MgO}$  и  $\text{SO}_3$ .

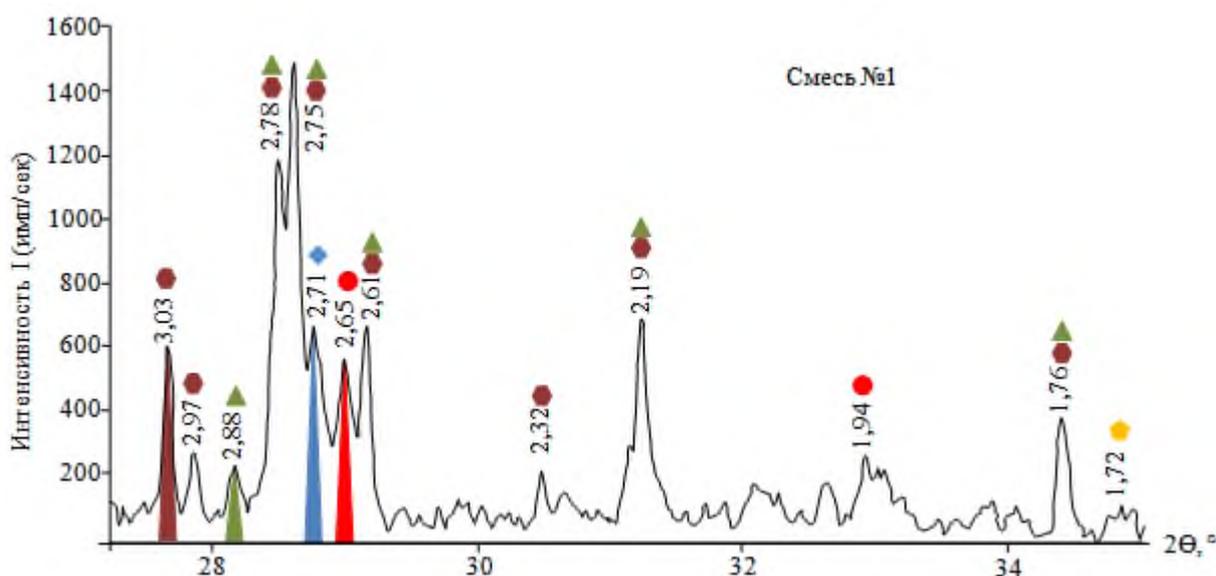
Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов

Сырьевые материалы	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$
Мел	4,54	1,22	0,49	51,75	0,32	0,04
Мергель	33,16	5,46	2,69	28,85	1,67	0,18
Глина	28,07	35,44	18,51	0,95	1,84	0,29
Огарки №1	6,12	1,03	60,38	4,85	1,17	0,60
Огарки №2	28,83	6,33	46,69	10,01	5,29	3,05
Огарки №3	3,11	4,49	77,31	8,32	1,48	0,4

От минералогического состава, от типов химических связей и от физического состояния компонентов минеральной добавки зависит её гидравлическая активность, особенно при взаимодействии их с оксидом кальция. Исследования возможного повышения активности этих минеральных добавок проводилось путём их термической обработки при относительно низких температурах, что приводило к структурным изменениям в составе материала.

### Обсуждение

Меловые и мергеловые глины состоят из кальцита с небольшой примесью кварца и каолинита. В глинах преобладает каолинит с небольшим количеством кварца. Работники завода отмечают её из-за разницы в составе: гарь №1 и №3 – оксида железа (III); гарь №2 – рентгеноаморфная; гарь №4 – кварцит; гарь №5 – кварцит; гарь №6 – кварцит; гарь №7 – кварцит. Для исследования нами были приготовлены три вида смеси с  $\text{KH}=0,92$  и определены влияния шлаков на прочность формирования основных клинкерных минералов. Как видно из рисунка 1, трикальциевый алюминат и тетракальциевый алюмоферрит имеют повышение интенсивности в первой смеси, чем во второй и третьей.



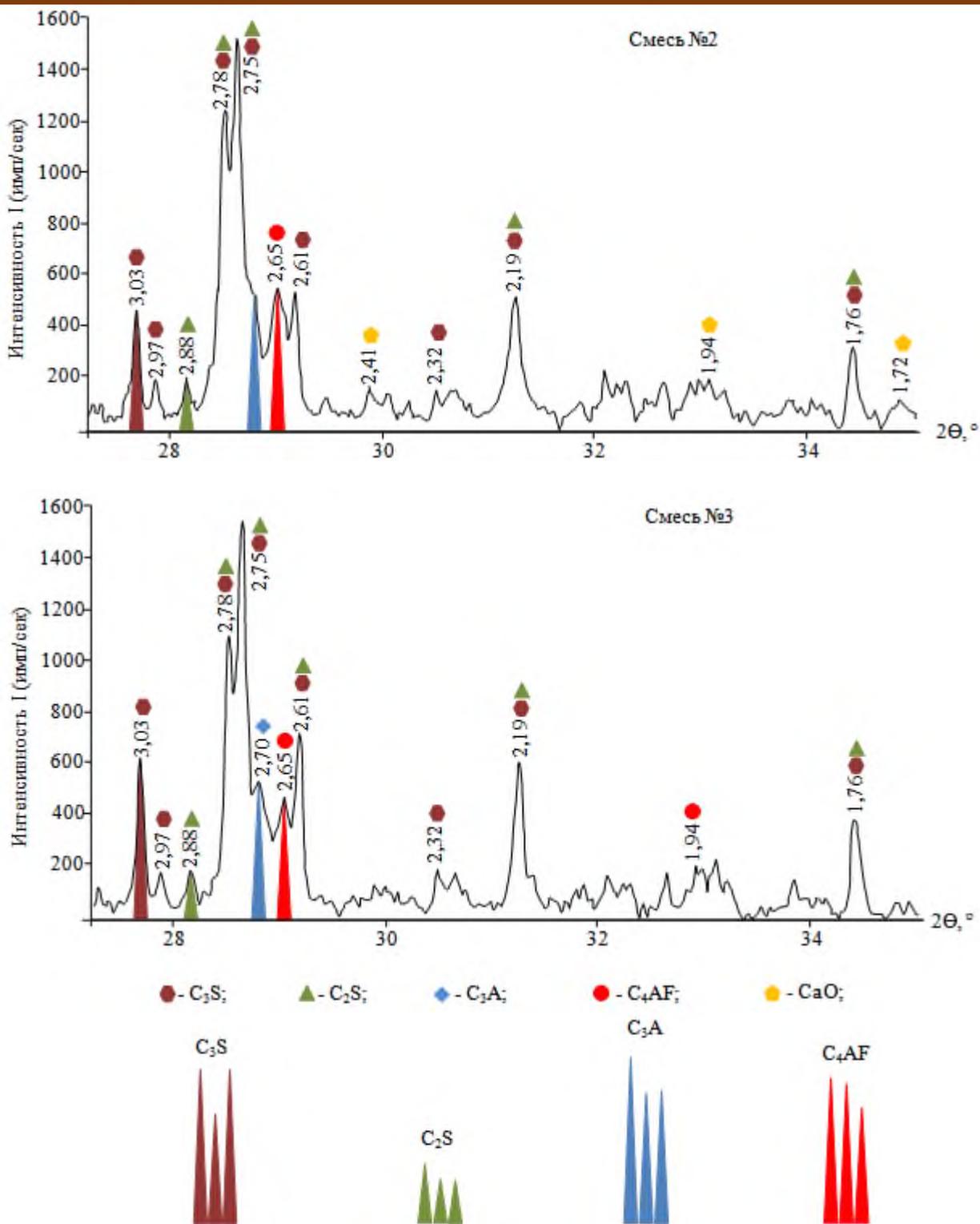
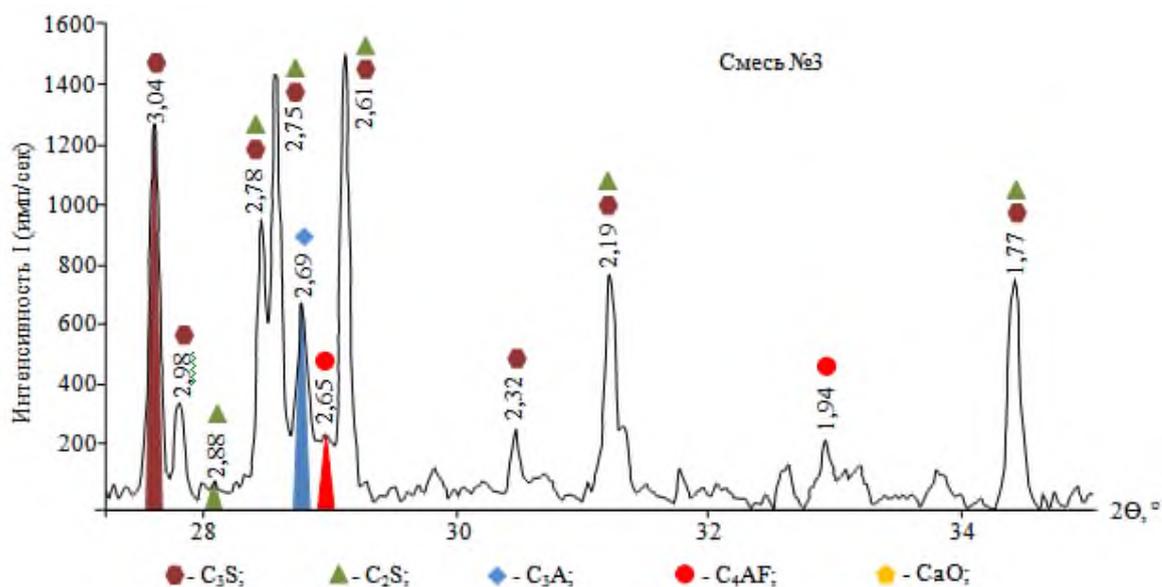
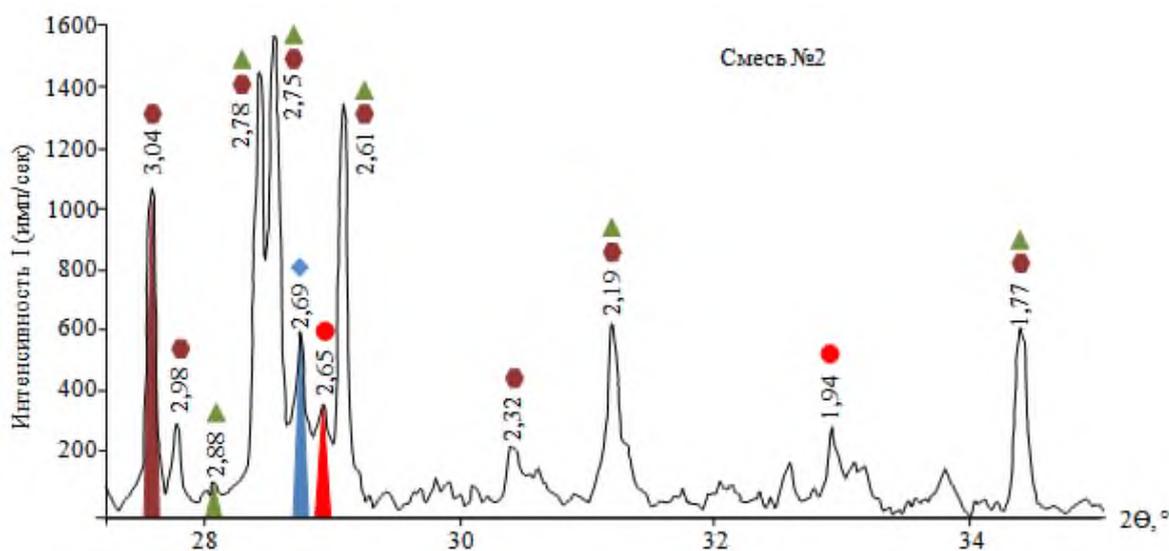
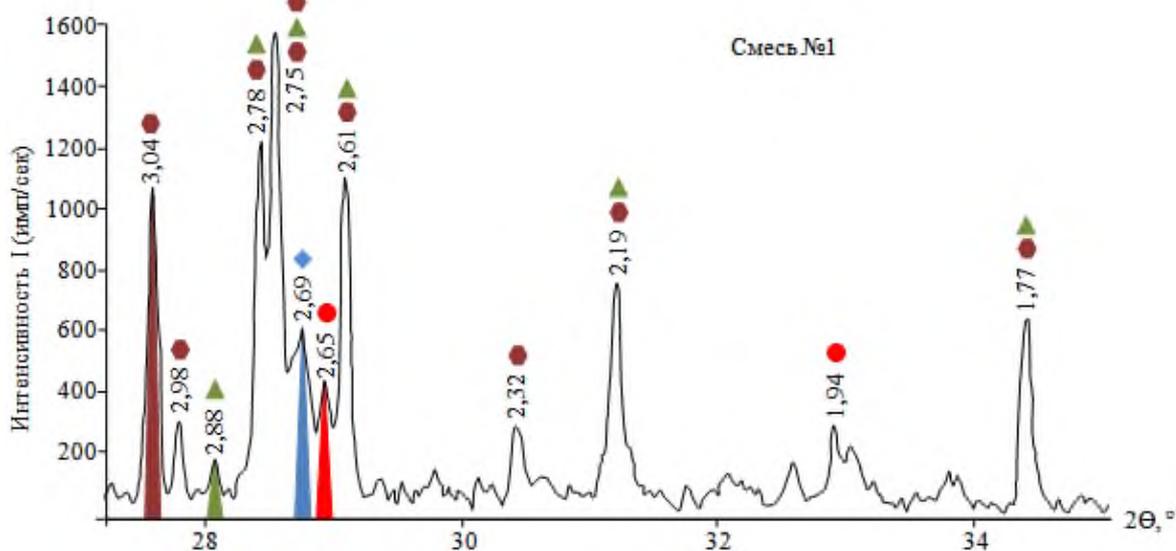


Рисунок 1 – Фазовый состав клинкеров с расчетным  $KH = 0,92$

Расчет коэффициента насыщения показал значения 0,86, что ниже расчетного равный 0,92. Поэтому нами была приготовлена смесь с повышенным расчетным коэффициентом насыщения  $KH=1$ .

На рисунке 2 показан фазовый состав клинкера с коэффициентом насыщения равный 1, который по данным рентгеноструктурного анализа составил около 0,92.



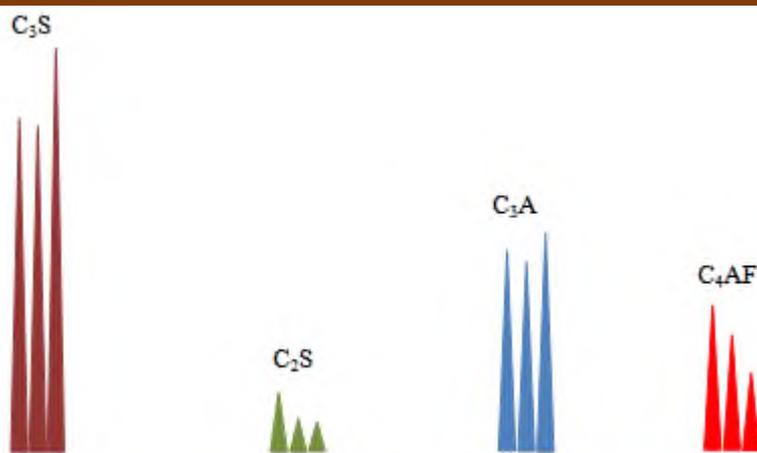


Рисунок 2 – Фазовый состав клинкеров с расчетным  $KH = 1$

Из рисунка 2 видно, что у алита интенсивность пика выше в третьей смеси, а в первой смеси у белита и тетракальцевого алюмоферрита интенсивность пика выше, но во второй смеси больших изменений не наблюдается, кроме трикальцевого алюмината, который имеет незначительное повышение пика.

## Выводы

Рентгеноструктурный анализ приведенных смесей указывает на то, что независимо от химического состава железосодержащих добавок формируются основные минералы клинкера. На это указывает рентгенограмма правой части второго рисунка, где имеют небольшие отклонения содержание  $MgO$  и  $SO_3$  в огарке №2, а в рисунке 1 наблюдается низкая интенсивность пика алита, чем в №1 и №3, оно выше на рисунке 2, в смеси №1. То же самое наблюдается у трикальцевого алюмината. Из вышеизложенного можно прийти к выводу, что железосодержащие добавки почти не влияют на образование клинкерных минералов.

*Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.*

## Литература

1. Бутт, Ю. М., Тимашев В. В. Портландцемент // М.: Стройиздат, 1974. – 300с.
2. Алексеев Б. В. Технология производства цемента // М.: Высшая школа, 1980. – 257с.
3. АкзоНобель [электронный ресурс]. Содержит информацию допустимых содержаниях оксидов в составе сырьевых материалов. – Режим доступа: <http://www.interpon.ru/> (URL:25 ноября 2015г.)
4. Колокольников В.С. Производство цемента // М.: Высшая школа, 1967. – 299 с.
5. Бутт Ю. М., Окорочков С.Д., Сычев М.М., Технология вяжущих веществ // М.: Высшая школа, 1965. – 611с.
6. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.
7. Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфатостойкого клинкера. / Акрамов А.А., Ашуров И.Ш., Муминов И.С., Саидов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.
8. Абдуганиев А.М. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия. / Абдуганиев А.М., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 255-260.
9. Акрамов А.А. Магнезиально-карналлитовое вяжущее. / Косимов О.Б, Акрамов А.А., Косимов К.О. углы. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(66), Душанбе. 2024. – С. 139-142.
10. Акрамов А.А. Исследование свойств магнезиально-карналлитовых вяжущих. / Косимов О.Б, Акрамов А.А. // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №3 – С. 175-177.
11. Акрамов А.А. Исследование возможности синтеза клинкера белого портландцемента на основе пиррофиллитсодержащего сырья и каолиновой глины. / Акрамов А.А // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(67), Душанбе. 2024. – С. 102-106.
12. Акрамов А.А. Влияние условий термического воздействия на процессы минералообразования на смеси ООО «Хуаксин Гаюр цемент» / Акрамов А.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Новые направления развития науки в технических отраслях» ТТУ им. акад. М.С. Осими. (10-11 октября 2024 г.) С.11-16.

13. Акрамов А.А. Влияние тепловой обработки на структурообразование шлакощелочного лёгкого бетона на органических заполнителях / Косимов О.Б., Акрамов А.А., Баракаев К. Т. Углы. // Материалы научно-технической конференции в рамках фестиваля “Архитекторов-строителей и дизайнеров” проводимая под лозунгом “История, настоящее и будущее Бухары” Бухарский инженерно-технологический институт (18-19 октября 2024 г.). С.559-562.

14. Akramov A.A. Changes in physical, mechanical and chemical properties of low water demanding cement strength over time / Mukhammadiyev I. A., Yusupov Kh. V., Akramov.A.A., Babayev S. // Scientific and technical magazine «Problems of architecture and construction». Special volume. Samarkand state named by Mirzo Ulug'bek university of architecture and construction. November 8, 2024. – P.582-589.

15. Акрамов А.А. Термохимическая активация сырьевой смеси на ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» / Джуракулов М.Р., Акрамов А.А. // Вестник Таджикского национального университета. Наука и инновация Серия геологических и технических наук. Душанбе. 2024. №4. С.37-42.

16. Акрамов А.А. Влияние углещелочной добавки на дегидратацию каолинита / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Материалы международной научно-технической конференции “В строительстве энергоэффективных и ресурсоэффективных зданий, современных строительных материалов и технологий”. Ферганский политехнический институт (19-20 декабря 2024 г.). С.382-385.

17. Акрамов А.А. Влияние алюмосиликатных минеральных добавок в производстве смешанных цементов // Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 171-177.

18. Акрамов А.А. Влияние термохимической активации сырьевых компонентов на процессы минералообразования и свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 190-195.

**МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФОН – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – AUTHORS  
BACKGROUND**

TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевич	Акрамов Авазҷон Абдуллоевич	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техники, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техники Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ кафедраи “Соҳтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ”	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими, кафедра “Промышленное и гражданское строительство”	Tajik Technical University named after Acadtmician M.S. Osimi, Department of Industrial and Civil Engineering
E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Юсупов Ҳомид Ваҳобович	Юсупов Хомид Вахобович	Yusupov Homid Vakhobovich
Номзади илмҳои техники, профессор	Кандидат технических наук, профессор	Candidate of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи давлатии меъморӣ ва соҳтмони ш. Самарқанд ба номи М. Улугбек, кафедраи “Истеҳсоли масоллеҳҳои соҳтмонӣ, маснуот ва конструкцияҳо”	Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, кафедра “Производство строительных материалов, изделий и конструкций”	Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after. M. Ulugbek, department of “Production of building materials, products and structures”
E-mail: <a href="mailto:yusupov@umail.uz">yusupov@umail.uz</a>		

ТДУ 624.012

## ИНТИХОБИ ҲАЛҲОИ МЕЪМОРӢ, ТАРҲИВУ ҲАЧМӢ ВА КОНСТРУКТИВӢ, КИ ГАРМИМУҲОФИЗИИ МУСОИДИ БИНОҲОРО ТАЪМИН МЕНАМОЯНД

Д.Ф.Сафарзода, Н.Н. Ҳасанов, К.Р. Рабиев

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақолаи мазкур ба мушкилоти истифодабарии босамару оқилонаи захираҳои энергетикӣ зарурати афзоиш додани сатҳу сифати гармимуҳофизии ихотадеворҳои берунаро аз ҳисоби баланд бардоштани хусусиятҳои гармимуҳофизӣ, ҳамзамон коҳиш додани вазни ҳоси онҳо, ки барои сохтмон дар шароити ноҳияҳои зилзиланокӣ баланддошта ниҳоят муҳим мебошад, талаб менамояд, бахшида шудааст. Бо назардошти муҳимият ва мубрамияти сарфаҷӯии захираҳои сӯзишвориву энергетикӣ, афзоиши нишондиҳандаҳои гармимуҳофизии биноҳои тарҳрезиванда, бояд дар асоси таҳия ва истифода намудани тарзу усулҳои пешрафтаи баланд бардоштани нишондиҳандаҳои гармимуҳофизӣ дар шароити ҳоси иқлимии Тоҷикистон, васеъ намудани номгӯи конструксияҳои энергиясамаранокӣ ихотадеворӣ ва истифодаи масолеҳҳои гармимуҳофизии самаранокӣ баланддошта, пешбинӣ карда шавад.

**Калидвожаҳо:** энергия, самаранокӣ, гармимуҳофизӣ, сарфаҷӯии энергия, муқовимати гармигузаронӣ, конструксияҳои ихтавӣ

## ВЫБОР АРХИТЕКТУРНЫХ, ПРОЕКТНЫХ, ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНУЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЮ ЗДАНИЙ

Д.Г.Сафарзода, Н.Н. Ҳасанов, К.Р. Рабиев

Данная статья посвящена проблеме эффективного и рационального использования энергетических ресурсов, связанной с необходимостью повышения уровня и качества теплоизоляции наружных ограждений за счет повышения теплоизоляционных свойств при одновременном снижении их удельного веса, что крайне важно для строительства в условиях зон повышенной сейсмичности. Учитывая важность и актуальность экономии топливно-энергетических ресурсов, повышение теплозащитных показателей проектируемых зданий должно основываться на разработке и применении передовых методов и методов повышения теплозащитных показателей в типичных климатических условиях Таджикистана, расширении ассортимента энергоэффективных ограждающих конструкций и использовании высокоэффективных теплозащитных материалов.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплоизоляция, энергосбережение, сопротивление теплопроводности, ограждающие конструкции

## THE CHOICE OF ARCHITECTURAL, DESIGN, VOLUMETRIC AND CONSTRUCTIVE SOLUTIONS THAT ENSURE OPTIMAL THERMAL INSULATION OF BUILDINGS

D.G. Safarzoda, N.N. Khasanov, K.R. Rabiev

This article is devoted to the problem of efficient and rational use of energy resources related to the need to improve the level and quality of thermal insulation of external fences by increasing thermal insulation properties while reducing their specific gravity, which is extremely important for construction in areas of increased seismicity. Given the importance and relevance of saving fuel and energy resources, improving the thermal protection performance of designed buildings should be based on the development and application of advanced methods and techniques to improve thermal protection performance in typical climatic conditions of Tajikistan, expanding the range of energy-efficient enclosing structures and the use of highly efficient thermal protection materials.

**Keywords:** energy efficiency, thermal insulation, energy saving, thermal conductivity resistance, enclosing structures.

Истифодабарии босамару оқилонаи захираҳои энергетикӣ зарурати афзоиш додани сатҳу сифати гармимуҳофизии ихотадеворҳои берунаро аз ҳисоби баланд бардоштани хусусиятҳои гармимуҳофизӣ, ҳамзамон коҳиш додани вазни ҳоси онҳо, ки барои сохтмон дар шароити ноҳияҳои зилзиланокӣ баланддошта ниҳоят муҳим мебошад, талаб менамояд.

Аз ин лиҳоз, лоиҳакашии ихотадеворҳои беруна (деворҳо, бомпушҳо, тирезаҳо, миёнадеворҳо) бояд дар асоси риояи талаботи бандҳои МҚС оиди лоиҳакашии биноҳои мухталиф, инчунин МҚС ҚТ 23-02-2021 “Гармимуҳофизии биноҳо”, МҚС ҚТ 23-01-2018 “Иқлимшиносии сохтмонӣ”, МҚС ҚТ 22-07-2015 “Сохтмони зилзилатобовар”, СНИП 23-03-2007 “Защита от шума”, МҚШ ҚТ 23-03-2017. “Равшаникунонии бино, иншоот ва ҳудудҳо” амалӣ карда шавад [1,2,6.].

Бо назардошти муҳимият ва мубрамияти сарфаҷӯии захираҳои сӯзишвориву энергетикӣ, афзоиши нишондиҳандаҳои гармимуҳофизии биноҳои тарҳрезиванда, бояд дар асоси таҳия ва истифода намудани тарзу усулҳои пешрафтаи баланд бардоштани нишондиҳандаҳои гармимуҳофизӣ дар шароити ҳоси иқлимии Тоҷикистон, васеъ намудани номгӯи конструксияҳои энергиясамаранокӣ ихотадеворӣ ва истифодаи масолеҳҳои гармимуҳофизии самаранокӣ баланддошта, пешбинӣ карда шавад.

Интихоби ҳалли конструктиви деворҳои берунаро мебошад вобаста аз системаҳои конструктивӣ ва сохтмони биноҳо, дар асоси иҷрои талаботи муқаррарнамудаи МҚС ҚТ 22-07-2015 “Сохтмони зилзилатобовар”, ҳалли тарҳиву ҳаҷмӣ ва таъиноти биноҳо амалӣ намуд.

Дар мавриди интихоби ҳалҳои конструктиви ихотадеворҳои беруна аз лиҳози энергиясамаранокӣ ва иқтисодӣ бартари дошта, аз ҳама муҳим бояд таъминоти самаранокӣ гармимуҳофизии ҳуҷраҳо ба ҳисоб рафта, вазни конструксияҳо, арзиш ва меҳнатталабии бунёди онҳо коҳиш дода шавад.

Бо мақсади коҳиш додани ҳарҷоти энергияи гармӣ барои гармкунии биноҳо дар фасли сармои сол бояд чорабиниҳои зеринро пешбинӣ намуд:

- қабули ҳалли тарҳиву ҳаҷмии биноҳо, ки масоҳати камтарини ихотадеворҳои берунаро таъмин менамоянд;
- блокиронии биноҳо бо таъмини боэътимоди пайвастшавӣ бо биноҳои ҳамшафат;
- пешбинӣ намудани ҳучраҳои даромадгоҳӣ (тамбур), баъди дарҳои даромад;
- тамоюли тӯлии (меридиалии) намои қаддии бино ё наздик ба он;
- ҳалли конструктиви ихотадеворҳо, ки яқинсагии гармотехникии онҳоро (бо коэффитсиент яқинсагии гармотехникӣ  $r$ , баробар ба 0,7 ё зиёда аз он) таъмин менамояд;
- қабули ҳалли тарҳиву ҳаҷмӣ бо ҷойгир накардани тирезаҳои ҳучраҳои кунҷӣ дар ду девори берунаи онҳо.

Ҳамзамон, бояд нишондиҳандаи ҳисобии ихчамии биноҳои истиқоматӣ на зиёд аз бузургиҳои дар банди 32 МҚС ҚТ 23-02-2021 «Гармимуҳофизии биноҳо» муқарраргардида бошад.

Раванди лоиҳакашии гармимуҳофизӣ, бояд боэътимодӣ ва энергосамаранокии баланди биноҳо, паст намудани талафоти гармӣ дар давраи замистон ва кам намудани гармиворидшавӣ дар фасли тобистон, инчунин паст намудани сарфи хоси энергияи гармиро дар давраи гармкунӣ то сатҳи меъёрӣ, аз он ҷумла иҷрои талаботи бо нишондодҳои ҳаҷмию тарҳӣ вобаста, кори системаҳои муҳандисӣ, бехатарии зиддисӯхторӣ ва зилзилавиро таъмин намояд [3,7].

Баланд бардоштани энергосамаранокии тавораҳои беруна, аз ҷумла деворҳои аз масолеҳҳои анъанавӣ (хишт, бетони яклухт, оҳану бетон) сохташуда, бояд на аз ҳисоби зиёд намудани ғафсии онҳо, балки аз ҳисоби пешбинӣ намудани қабати гармимуҳофизӣ аз масолеҳҳои самаранокии гармимуҳофизатӣ амалӣ карда шавад. Муқовимати меъёрии гармигузаронӣ  $R_{req}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C/Wt$  ва сарфи хоси энергияи гармӣ дар давраи гармкунӣ мутобиқи шартҳои муқарраркардаи МҚС ҚТ 23-02-2021 «Гармимуҳофизии биноҳо» пешбинӣ карда мешавад.

Дар ҳолатҳои зарурӣ, бо мақсади таъмин намудани хусусиятҳои зарурии гармимуҳофизии биноҳо, қабатҳои иловагии гармимуҳофизӣ, дар намуди конструкцияҳои махсус, ки дар сатҳи деворҳои берунаи биноҳои ба лоиҳагирифташуда ва истифодашаванда устувор карда мешаванд, бояд пешбинӣ карда шаванд. Бо ин мақсад, қабати гармимуҳофизии иловагии конструкцияҳои таворавӣ асосан, аз конструкцияи ва маснуоти каплан дар корхонаҳо пурра омодагардида, бо хусусиятҳои устувори гармимуҳофизӣ истифода карда мешавад.

Гармимуҳофизии иловагии деворҳои беруна ва болопӯшҳои таҳхонаҳои гармнашаванда бояд аз тарафи берунаи тавора васл карда шаванд. Бо мақсади ба таври максималӣ кам намудани вазнҳои иловагӣ ба конструкцияҳои тавораҳои мавҷуда ва кам намудани ғафсии зарураи қабати иловагии муҳофизӣ, бояд қабати гармимуҳофизӣ аз масолеҳҳои самаранок бо коэффитсиенти гармигузаронии на зиёд аз 0,1 Вт/(м<sup>2</sup> · °C) мавриди истифода қарор гирад. Гармимуҳофизии дохила дар ҳолате қабул карда мешавад, ки норасогии муқовимати гармигузаронӣ фақат дар қисмҳои алоҳидаи маҳдуди девори берунаи биноҳои истифодашаванда назаррас мебошад. Аз ин лиҳоз, пешбинӣ намудани гармимуҳофизии яклухти беруна дар тамоми сатҳи симо мумкин аст, мувофиқи мақсад набошад. Дар ин ҳол, бо мақсади ҳифзи гармимуҳофизии дохила аз намнокшавӣ ва ҷамъ шудани намӣ дар қабати гармкунанда, ногузирии анҷом додани ҳисобҳои махсуси гармитехникӣ ба амал меояд [9].

Барои аз берун гарм намудани деворҳо 2 намуд ҳалли конструктивӣ технологӣ, «тар» (андова аз болои гармкунандаи дар девор мустақкам шуда) ва васлӣ (бо рӯйпӯш намудани девори гармкардашуда бо лавҳаҳои ороишии васлӣ) мавриди истифода қарор дода мешавад.

Тарзи аз тарафи берун гарм намудани деворҳо бо воситаи андова намудани гармкунанда аз он иборат аст, ки ба сатҳи девор лавҳаҳои гармимуҳофизатӣ бо ширеш ва ё бо роҳҳои механикӣ мустақкам карда шуда, аз рӯи он андоваи полимерисементӣ ё сементии бо симтурҳои шишанахию пӯлодин армиронида шуда, баъдан рӯйпӯш карда мешаванд. Бо мақсади мустақкам ва ҳамвор намудани тарафҳои қабати рӯйпӯши лавҳагӣ аз масолеҳи ба коррозия устувор, поливинилхлорид, хуллаи алюминий ва пӯлоди зангтобовар истифода мегардад.

Тарзи васлии гармкунӣ аз истифодаи синҷҳои металли сабук ё ҷубини ба сатҳи девори беруна мустақкам карда шуда, ки ба он баъдан лавҳаи ороиширо мечаспонанд, иборат мебошад. Дар фосилаи байни рӯйпӯши ороиши ва девор гармкунандаи лавҳагӣ ва ё рехта пур гардонидагӣ (силаст, неопор ва диг.) пешбинӣ карда мешавад. Гармкунандаи лавҳагиро ба девор ширеш намуда бо воситаи ангирҳо ва ё бо андова мачаспонанд. Истифодаи синҷ, хусусан синҷҳои металлӣ имконият медиҳад, ки лавҳаҳои ороиши дақиқ мустақкам карда шуда, фосилаҳои ҳавоии байни рӯйпӯш ва гармкунанда яхела бошад.

Ба сифати масолеҳи гармкунанда мумкин аст лавҳаҳои пенополистиролию пенополиуретанӣ, пенопластии дар асоси маҳлули формалдегидӣ тайёр гардида, лавҳаҳои пенофенопластӣ, нахҳои минералӣ ва растанӣ, шишанахҳои саҳту нимсаҳт ва инчунин лавҳаҳои омехта бо истифодаи масолеҳҳои дар боло зикр гардида, қабул карда шаванд.

Аз масолеҳҳои гармимуҳофизӣ бештар лавҳаҳои пенополистиролӣ мавриди истифода қарор мегиранд ва ба сифати рӯйпӯши ороишӣ лавҳаҳои тунуки бетони ороишӣ, лавҳаҳои сафолӣ, сементу нахӣ, лавҳаҳои сафолӣ дар варақи алюминий часпонидашуда, лавҳаҳои фибролитию асбестосементӣ

(ҳамвору мавҷдор) ва дар баъзе ҳолатҳо сангҳои тарошидашуда ва ё шишаҳои ранги гуногун дошта истифода мешаванд.

Гармимухофизии деворҳои берунаро бояд дар тамоми симои бино беист лоиҳасозӣ намуд. Дар ҳолати истифодаи гармкунадаҳои аз масолеҳи сӯзанда таркиб ёфта, дар равиши баландии бино аз масолеҳи насӯзанда, дар ҳудуди баландии на зиёд аз як ошёна ҷудокунадаҳои уфуқиро бояд пешбини намуд. Қабати гармкунада ба сатҳи берунаи девор бояд зич часпонида шуда, дар фосилаи байни он ва қабати рӯйпӯши ороишӣ пешбинӣ намудани қабати табиӣ ҳавогузар қобили қабул мебошад.

Барои паст намудани арзиши гармимухофизии тавораҳои беруна ба конструксияи онҳо ворид намудани қабатҳои маҳдуди ҳавой мувофиқи мақсад мебошад. Дар лоиҳасозии қабатҳои маҳдуди ҳавой иҷрои ҳолатҳои зерин тавсия дода мешавад [1,2]:

- андозаи қабат аз рӯи баландӣ бояд зиёд аз баландии ошёна ва на зиёдтар аз 6,0 м, ғафсии он на кам аз 60 мм ва на зиёд аз 100 мм қабул гардад;

- қабатҳои ҳавогузар бояд дар наздикии тарафи хуноки тавора ҷойгир бошанд.

Дар ҳолати лоиҳасозии деворҳои қабати ҳавогузар дошта, (деворҳои симои ҳавогузардошта) бояд аз талаботи зерин роҳрамой намуд:

- ғафсии қабати ҳавогузар на кам аз 60 мм ва на зиёд аз 150 мм буда, он бояд дар байни рӯйпӯши муҳофизию ороишии беруна ва гармимухофиз ҷойгир бошад;

- дар ҳолати сатҳи ҳамвор доштани қабати ҳавогузар ғафсии онро 40мм қабул намудан имконпазир мебошад;

- сатҳи ба тарафи қабати ҳавогузардоштаи гармимухофиз, бояд бо шишасимтур ё шишаматой пӯшонидани шавад;

- қабати берунаи ороишии девор бояд сӯрохиҳои ҳавогузар дошта, масоҳати онҳо аз ҳисоби 75 см<sup>2</sup> барои 20 м<sup>2</sup> масоҳати девор бо дарназардошти масоҳати тирезаҳо қабул карда шавад;

- дар ҳолати ба сифати қабати беруна истифода гардидани рӯйкаши лавҳагӣ ҷоқҳои уфуқӣ бояд қушода бошанд (бо масолеҳи қабати гармкунада пур карда нашаванд).

Қабати борбардори конструксияи дуқабатаи девор вобаста аз тартиби конструктивӣ ва баландии бино метавонад аз элементҳои хурдандозаи деворӣ (хишт, блокҳо аз бетони сабук), бетони яклухт, лавҳаҳои васлӣ иборат бошад. Ғафсии ин қабати конструксия дар асоси ҳисобҳои статикӣ ва иқтисодӣ муайян карда мешаванд.

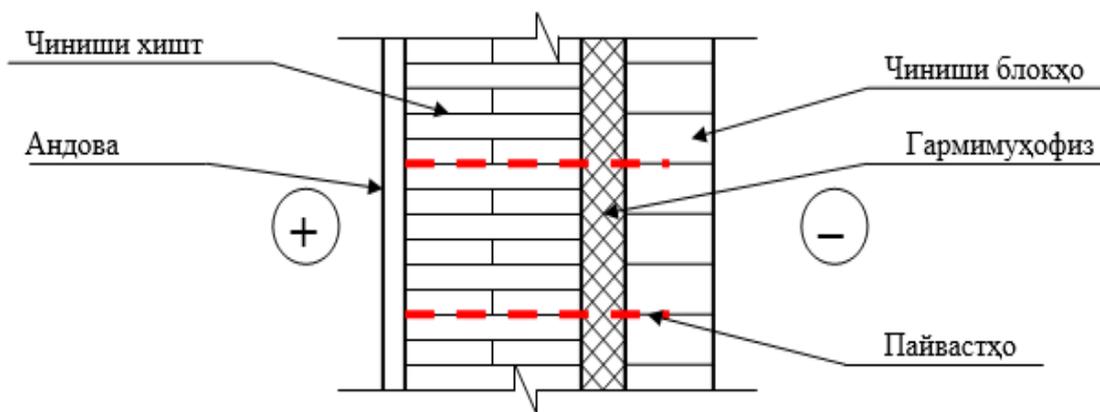
Дар рафти лоиҳасозии контруксияҳои ихтовавӣ биноҳои бисёрошёнаи системаи конструктивии синҷӣ, ки деворҳои он аз элементҳои хурдандоза иборат ҳастанд, таъмин намудани ҳалли мақсадноки пайвастиҳои байни элементҳо зарур мебошад.

Дар ҳама ҳолатҳо чунин пайвастиҳои бояд дорои устуворӣ ва чандирии кофӣ буда, ҳаво ва намногузар бошанд. Ғайр аз ин дар вақти ба сифати пуркунада истифода бурдани элементҳои калонандоза бояд ҷуброни шаклдигаркунии ҳароратии қисми берунаи конструксия таъмин карда шавад.

*Ҳалли пайвастиҳои, ки ҷавобгӯи талаботҳои зикргардианд, бо таъмин намудани шакли геометрии зарураи пайвандҳо ва пур намудани ҷойҳои мувофиқ бо қабатҳои чандир, ки тағйирёбии ҳаттии андозаҳои конструксияҳо дар ҳолати лаппишҳои ҳароратӣ ва зилзилаҳои ҷуброн менамоянд бояд амалӣ гардад.*

Ғафсии қабати гармимухофиз иловагӣ ба воситаи ҳисоби гармитехникӣ, муайян карда мешавад.

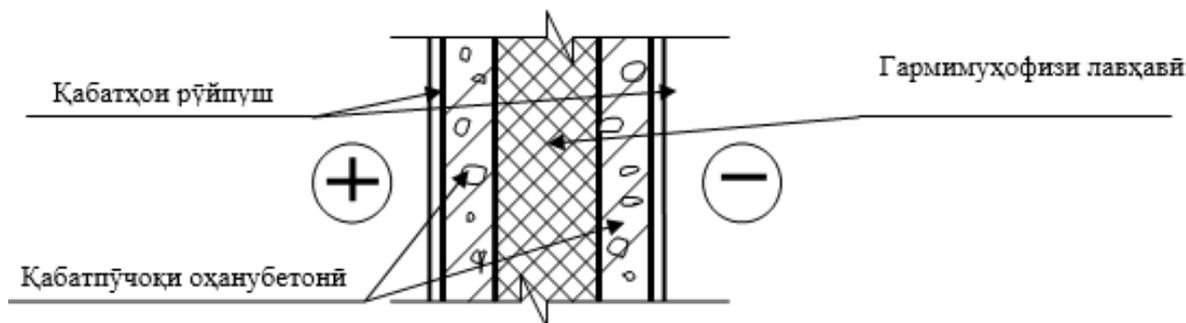
Дар таҷрибаи муосири сохтмонӣ истифодаи деворҳои берунаи бисёрқабата ба чашм мерасад, ки дар онҳо қабати гармимухофиз дар дохили ҳуди конструксияи деворӣ (чиниши ҷоқӣ) ҷойгир мебошад. Чунин системаи конструксияҳои ихтовавӣ аз ду қабати мувозии девораҳо иборат буда, онҳо бо ҳам ба воситаи пайвастиҳои мазбуту чандир алоқаманд мегарданд ва фосилаи ҳосилшудаи байни онҳо бо масолеҳи гармимухофизӣ пур карда мешавад (Расмҳои 1, 2). Аз нуқтаи назари гармотехникӣ, пайвастиҳои мазкур ҳамчун ҷойҳои интиқоли хуноқӣ буда, сабаби ба тарзи назаррас коҳиш додани муқовимати гармигузаронии умумии конструксияи деворӣ мебошанд. Мусоидтарини ин пайвастиҳо, воситаҳои пайвастии шишапластикӣ ба ҳисоб рафта, дар мавриби истифодаи онҳо талафоти гармии онҳо, чун қоида камтар аз 2%-ро ташкил медиҳанд. Чунин ҳалли конструктивии гармимухофизӣ дар яке аз намудҳои системаи «PAROC» мавриди истифодабарии васе қарор дода шудааст. Дар он ба сифати унсури гармимухофиз маҳсулоти муҳофизӣ (изолятсионӣ), дар асоси нахи рухонӣ (базалтӣ) қабул карда мешавад [10,11].



Расми 1 - Конструкцияи девори берунаи бисёрқабата бо рӯйпуши хиштин

Системаи мазкур дорои як қатор камбудихо мебошад, аз ҷумла: дар зери чунин конструкцияи деворӣ пешбинӣ намудани таҳкурсиҳои аз ҳад васеъ зарур мегардад, ки он хароҷоти назарраси масолеҳи оҳанубетониро барои бунёди онҳо, нисбат ба ҳолатҳои муқаррарӣ талаб менамояд; дар байни девораҳои берунаву дохила, дар рӯи масолеҳи гармимухофизӣ ва сатҳи дохилаи девораки беруна намӣ ба конденсат табдил меёбад. Дар ин ҳол гармимухофиз ҳатто дар давраи гармӣ, аз сабаби барои бухоршавӣ монеъ шудани қабати беруна, хушк намешавад, ки он дар натиҷа ба коҳиш ёфтани муқовимати гармигузарии конструкцияи ихтовайӣ ва тезонидани суръати фарсудашавии он сабаб мегардад.

Қабати гармимухофизӣ метавонад дар байни қабатпӯчоқҳои мазбут, масалан аз масолеҳи оҳанубетонӣ пешбинӣ шуда бошад (Расми 3). Бунёди қабатпӯчоқҳои яклухтреза бо истифода аз қолибҳои махсуси сипарӣ, бо ҷойгиронии пешакии қабати гармимухофизӣ лавҳавӣ амалӣ карда мешавад. Хусусиятҳои техниकीи конструкцияи деворӣ мазкур, хунукшавии қабати беруна дар фасли сармо ҳисобида шуда, ҳамзамон қабати гармимухофиз барои пешгирӣ намудани пайдоиши намнокии конденсатсионӣ, бояд дар давраи хунуки бӯғро аз худ нагузаронад.

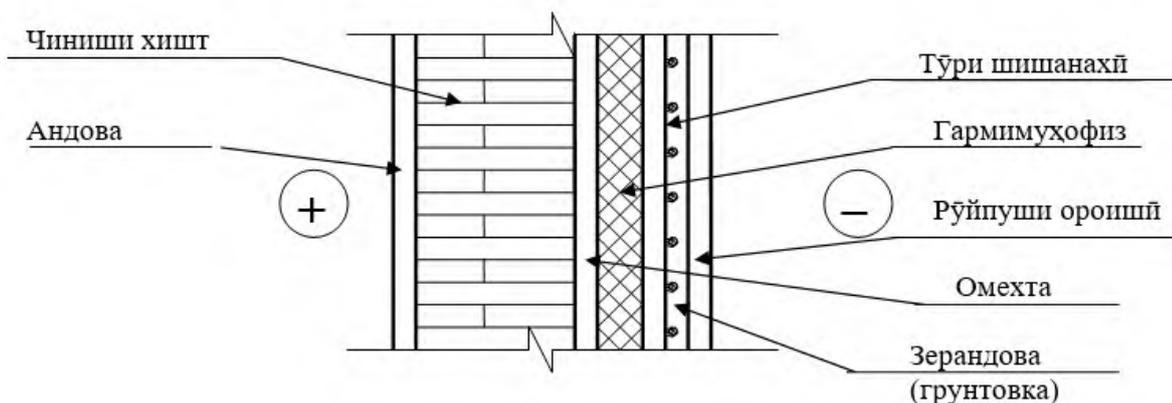


Расми 2 - Конструкцияи лавҳаи овезон бо ду қабатпӯчоқи оҳанубетонӣ ва гармимухофизӣ лавҳавӣ

Системаи гармимухофизии берунаи намуди “тар” аз се қабати асосии конструктивии зерин иборат мебошад (Расми 2.3):

- қабати гармимухофизӣ, аз масолеҳи гармимухофизӣ лавҳавӣ бо коэффициентҳои пасти гармигузаронӣ, ба монанди лавҳаи маъданпахтагӣ ё полистиролӣ;
- қабати армиронишуда, аз омехтаи ширешии махсус, ки бо тӯри ишқорустувор армиронида шудааст;
- қабати муҳофизиву ороишӣ, аз андоваи ороишӣ (маъданӣ ё полимерӣ), ки метавонад бо рангҳои махсусӣ “нафасгиранда” рангубор карда шавад. Инчунин, ба сифати қабати муҳофизиву ороишӣ истифодаи сафолакҳо ё сангҳои табиӣ имкон дорад.

Дар системаи конструктивии мазкур ҳар як қабати барои иҷрои вазифаи мушаххас пешбинӣ шудааст. Масолеҳи гармимухофизӣ гармии конструкцияи ихтоваро таъмин намуда, ғафсии он дар асоси ҳисобҳои гармотехникӣ ва намуди масолеҳ дар асоси талаботи бехатарии зиддисӯхторӣ муайян карда мешавад.



Расми 3 - Конструкцияи системаи гармимухофизии намуди "тар"

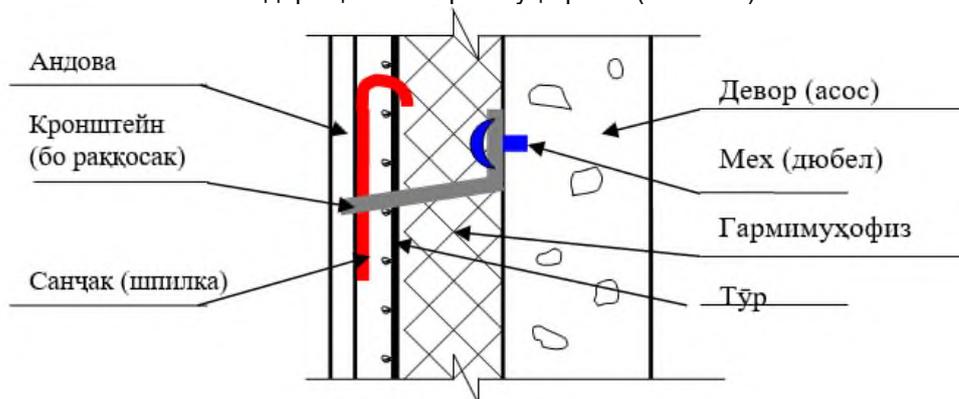
Қабати армиронидашуда барои таъмини часпоиши (адгезияи) қабати муҳофизиву ороишӣ ба сатҳи лавҳаи гармимухофизӣ зарур мебошад.

Қабати муҳофизиву ороишӣ бошад, ду вазифаро, муҳофизати қабат аз таъсироти беруна ва ороиши эстетикӣ намои берунаро иҷро менамояд.

Ба ғуруҳи ин намуди системаҳои конструктивии ихотадеворҳо бо гармимухофизии беруна системаҳои «ROCKWOOL», «БАУКОЛОП», «CERESIT», «PAROC», «TERMOMAX», «СИНТЕКО», «ISOTHERM», «ТЕРРАКО», «RELIUS» ва ғайра шомил мебошанд.

Дар лоиҳаҳои деворҳои бисёрқабата бояд мутобиқати қабатҳои ҳамҷавор аз нуқтаи назари васеҷавӣ аз гармӣ, обҷаббиш, сардиустуворӣ, буғногузаронӣ, инчунин часпоиши байниҳамдигарии онҳо ба назар гирифта шавад.

Системаҳои гармкунии намоҳо бо андова намудан аз болои қабати гармимухофизӣ ба ду намуди конструктивӣ ҷудо мешаванд: системаҳо ба пайвастшавии мазбути гармимухофиз ба девор ва системаҳои дорои воситаҳои пайвастшавии чандири қабати гармимухофизӣ (Расми 4).



Расми 4 - Нақшаи пайвасткунии кронштейнҳои ҳаракаткунанда (системаи "ТЕРМОФАСАД")

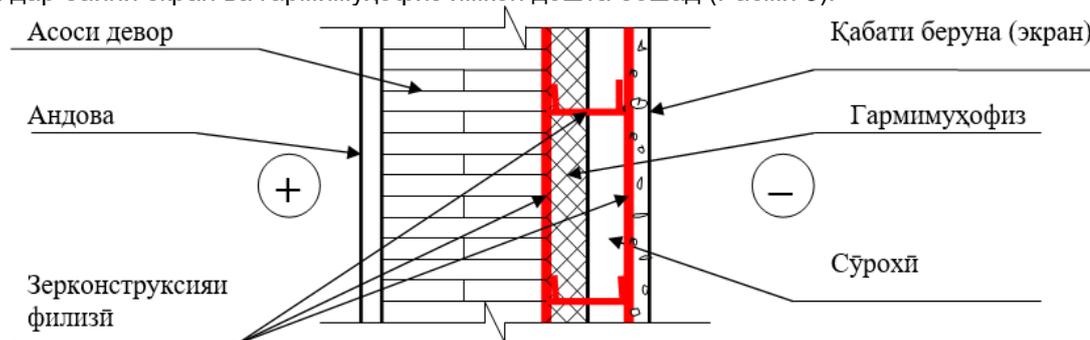
Дар системаҳои дорои воситаҳои чандири пайвастшавӣ «SERPOROCK», «ТЕРМОФАСАД») шакливазкуниҳои зичшавии қабати андоваи рӯйпушӣ, инчунин таъсироти ҳароратививу шамоли сатҳи андова ба асоси конструкцияи ихтавии бино (девори хиштӣ, лавҳаҳо) низ аз байн бурда мешавад.

Системаҳои гармимухофизии берунаи намуди "намнок" босамар буда, дар онҳо гармии дохили бино дар фасли сармо ғафсии асоси конструкцияи ихтавии деворро, ки дорои муқовимати начандон назарраси гармигузаронӣ мебошад, гарм мекунад. Нақши асосии нигоҳдории гармиро дар ин ҳол, қабати гармимухофизии самаранок иҷро менамояд. "Нуқтаи шабнам" дар ин маврид ба қабати гармимухофиз бароварда шуда, ҷамъшавии конденсат, аз сабаби дорои нишондиҳандаи пасти буғгузаронӣ будани масолеҳи конструкцияи борбардор, дида намешавад. Қабати гармимухофиз ва қабати тунуки андова бошад ба дараҷе буро аз худ мегузаронанд [5, 6].

Ҳалли конструктивии системаҳои намоҳои фосилаҳои ҳавогузардошта дар намудҳои гуногун пешбинӣ карда мешаванд.

Яке аз роҳҳои ҳалли он, аз тарафи берунаи конструкцияҳои борбардори деворҳои беруна (асос), ки метавонад аз оҳанубетон, хишт ё блокҳои гуногуни бетонӣ иборат бошад, синҷи филизӣ васл карда шуда, ба он қабати рӯйпушии лавҳавӣ ё варақӣ (экран) овехта мешавад. Фосилаи байни асос ва экран

чунон пешбинӣ мегардад, ки дар он ҷойгиронии қабати лавҳаҳои гармимухофизӣ ва сӯроҳӣ бо андозаи 40 – 100 мм дар байни экран ва гармимухофиз имкон дошта бошад (Расми 5).

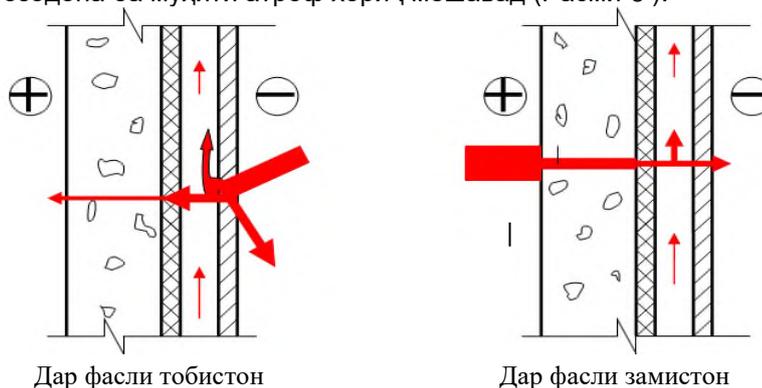


Расми 5 - Конструксияи системаи намоҳо бо фосилаҳои ҳавогузар

Нақшаи мазкурӣ ҷойгиршавии қабатҳо муносибтарин ба ҳисоб рафта, дар он қабатҳо аз масолеҳҳои гуногун то сӯроҳии ҳавогузар бо назардошти зиёдшавии коэффитсиенти буггузарониашон пешбинӣ карда мешаванд.

Бинобар сабаб, дар системаи мазкур қабати гармимухофиз аз тарафи берун ҷойгир карда шуда, асоси девор аз таъсироти навбати якҷунӣ ва обшавӣ ҳифз карда мешавад. Ҳамзамон, лапишҳои ҳарорати ғафсии девор баробар шуда, пайдошавии шаклағйирёбиро пешгирӣ менамоянд. Минтақаи конденсатсияшавӣ ба қабати берунаи гармимухофизӣ кӯчонида шуда, қисми дохилаи девор нам намегирад ва дар ин ҳол бугмухофизии иловагӣ зарурат надорад. Аз қабати гармимухофиз рутубат ба воситаи сӯроҳии ҳавогузари байни он рӯйпуш хориҷ карда мешавад.

Сӯроҳии ҳавогузар, бинобар сабаби фарқияти фишор, дар асоси қорӣ қубури ҳавокаш қор карда, дар натиҷа рутубати дохила озодона ба муҳити атроф хориҷ мешавад (Расми 6).



Расми 6 – Нақшаи ҷараёнҳои гармӣ дар намоҳои ҳавогузар

Дар давраи гармидиҳӣ сӯроҳии ҳавогузари дар сатҳи берунаи девор пешбинишударо бо сабаби он, ки ҳарорати ҳавои дохили он нисбати ҳарорати беруна якҷанд дараҷа зиёдтар мебошад, талафоти гармиро коҳиш медиҳад.

Дар мавриди лоиҳакашии конструксияи намои биноҳо бо сӯроҳии ҳавогузар бояд диққати ҷиддӣ ба имконияти пайдо шудани циркулятсияи озоди ҳаво аҳамият дода шуда, дар ин ҳол ҳам ғафсии худӣ сӯроҳии ҳавогузар ва ҳам андозаҳои даромат ва баромади онҳо ҳисоб карда мешаванд.

Ба ин гуруҳи системаҳои гармимухофизии беруна системаҳои «ROCKWOOL», «BREVITOR», «PAROC», «GASELL», «АЙДО-С», «ДИАТ», «ДЮВИЛС» ва ғайраҳо шомил мебошанд.

Ба сифати гармимухофиз дар системаҳои намоҳои ҳавогузар аксаран гармимухофизҳои маъданпахтагӣ, ки аз руҳом- (базалт-) ва шишапахта тайёр карда мешаванд, истифода мегарданд. Аз сабабе, ки дар сӯроҳии ҳавогузар ҷараёнҳои пуршиддати ҳаво ба вуҷуд омода, онҳо метавонанд қабати бологии гармимухофизӣ мулоимро вайрон кунанд, бо мақсади ҳифзи он пардаи (пленкаи) ҳавоногузари шамолмухофизатиро истифода мебаранд. Ҳамзамон, мумкин аст, ки лавҳаҳои гармимухофизии саҳт мавриди истифода қарор дода шаванд. Гармимухофиз дар ин ҳолат ба сатҳи девор ба воситаи мехчаҳои (дюбелҳои) махсуси табақчадори пластикӣ часпонида мешавад.

Бояд қайд намуд, ки системаҳои намоҳои сӯроҳидошта (намоҳои ҳавогузар) дар қатори бартариҳо, дорои камбудиву мишқилоти зиёда мебошанд.

Пеш аз ҳама, намоҳои ҳавогузар системаҳои бисёрқисмата буда, онҳо аз ҷониби истеҳсолкунандагони гуногун омода мегарданд ва самаранокии ҳалли техникий он аз сифатнокии ҳар як

қисмат вобаста мебошад. Аз ин лиҳоз, дар мавриди истифодабарии чунин системаҳо бояд назорати техникӣ ҷиддӣ ҳар як қисмати таркибии он ва ва худӣ система дар умум амалӣ карда шавад.

Мушкилоти дуюм, масъалаи ҳалли мураккаби пайвастиҳои он ба конструксияҳои умумисохтмонӣ ба ҳисоб рафта, барои ҳар як системаи алоҳида, вобаста аз намуди масолеҳи истифодашаванда, воситаҳои махсус таҳиягардида зарур мбошад.

Мушкилоти сеюм ин аст, ки дар мавриди бунёди намоҳои ҳавогузар бояд қараёни бемонеа ва босамари гузариши ҳаво дар тамоми фосилаи сатҳи дохилаи девор, бо мақсади аз байн бурдани “минтақаҳои қарахт” таъмин карда шавад.

Чорум, барои аз байн бурдани воридшавии қатраҳои боришот ва фишори шамоли барзиёд ба қабати ҳавогузар дар давраи фишори тағйирёбандаи шамол, зуд таъмин намудани баробаркунии фишори ҳавои беруна ва фишори дохили қабати ҳавогузар зарур мебошад. Ин дар натиҷаи ҳисоби аниқу дақиқ ва таъмини зарурии васегии чокҳои кушодаи рӯйпуш, ғафсии қабати ҳавогузар ва ҳавоногузаронии конструксияҳои асосии девори беруна дар бунёди он ба даст оварда мешавад.

Панҷум, сӯроҳии ҳавогузар “қубури акустикӣ” ба ҳисоб рафта, ҳамаи садову ғалоғулаи дар он ҳосилшуда дар тамоми ҳамвории номо паҳн мешавад. Бо мақсади коҳиш додани садобарории намодар вақти вазиши шамол, бояд фосилаи байни лавҳаҳои рӯйпушӣ камтар карда шавад.

Мушкилоти шашуми намоҳои ҳавогузар, мавҷуд набудани тарзу усули ягонаи ҳисоби онҳо ба ҳисоб меравад.

Системаҳои намоҳои гармимуҳофизи берунаи муосири намуди “тар” ва системаҳои сӯроҳии ҳавогузардошта, асосан бо истифодабарии масолеҳҳои гармимуҳофизи гаронарзиши хоричӣ бунёд карда мешаванд. Аз ҷумла: маъданпахта дар асоси нахи базалти ва пенополистирол, ки ҳатто дар ФР, ҳамчун истеҳсолкунандаи масолеҳи мазкур мебошад, нархи 1 м<sup>2</sup> сатҳи гармимуҳофизишуда дар ҷойҳои қатории девор, дар ҳолати истифодабарии системаи гармимуҳофизи берунаи намуди “намнок” ба 35 – 55 ва дар системаҳои сӯроҳии ҳавогузардошта ба 55 -120 доллари ШМА баробар мебошад [1,2,6].

Интиҳоби тавораҳои шафоф бо дарназардошти таъмин намудани талаботи санитарии гигиенӣ, техникаи рушноӣ, гармитехникӣ, акустикӣ, меъёрҳои устуворӣ, камхарҷию пайдорӣ бояд амалӣ гардад.

Тавораҳои равшанигузарон бояд:

- қиммати меъёрии коэффитсиенти рушноии табиӣ ҳучраҳоро таъмин намоянд;
- инфилтратсияи ҳавои берунаро дар ҳучраҳо маҳдуд намуда, ба таъминоти қиммати меъёрии ҳарорат, намнокӣ ва суръату ҳаракати ҳаворо дар дохили ҳучраҳо тибқи талаботи МҚС ҚТ 23-02-2009 «Гармимуҳофизи биноҳо» мусоидат намоянд;
- дар истифодабарӣ қулай ва бехатар бошанд;
- аз ҷиҳати иқтисодӣ самаранок бошанд.

Дар лоиҳасозии тавораҳои равшанигузарон коэффитсиенти шишабандии симои бино барои биноҳои истиқоматӣ бояд на зиёд аз 18% ва ҷамъиятӣ - 25% бошад. Интиҳоби ҳалли конструктивӣ тирезаҳо вобаста ба муқвимати зарураи гармигузаронии элементҳои тиреза, вобаста ба таъиноти бино ва тарзи сохтмон, мувофиқи замимаҳои 14, 15 МҚС ҚТ 23-02-2021 «Гармимуҳофизи биноҳо» муайян карда мешавад.

Тавсия дода мешавад, ки пур намудани чокҳои алоқамандии тирезаю дарҳои балкон бо конструксияҳои деворҳои беруна бо истифодаи масолеҳҳои ҳафкунандаи синтетикӣ амалӣ карда шавад. Ҳамаи табақаҳои дару тирезаҳо бояд элементҳои зичкунанда (на кам аз ду), аз масолеҳи силиконӣ ва ё резинаи сармобардор бо пурдошти на кам аз 15 сола (ГОСТ 19177) дошта бошанд. Ҷобҷокунии шишаҳоро дар тирезаю дарҳо бо истифодаи самғи силикони мувофиқи мақсад мебошад. Қисмҳои маҳкамаи дарҳои балкон бо масолеҳи гармимуҳофизӣ бояд гарм карда шаванд [11].

Бо мақсади таъмин намудани ҳавоивазшавии зарура, чун қоида дар ҳолати истифодабарии конструксияҳои муосири тирезаҳо (ҳавогузаронии бандгоҳи тиреза; аз рӯи озмоишҳои шаҳодатӣ — 1,5 кг/м<sup>2</sup>. с ва пастар аз он) бояд дар конструксияҳои ихтотавӣ сӯроҳии махсуси ҳаводаро (сарпӯшак) пешбинӣ карда шавад.

Дар лоиҳасозии биноҳо барои муҳофизати сатҳи дохила ва берунаи деворҳоро аз таъсири номатлуби намнокӣ ва боришот бояд қабати рӯйпуш пешбинӣ қада шавад: рӯйкаш ё андова, рангубор бо рангҳои обногузар, ки вобаста аз масолеҳи девор ва шароитҳои истифодабарӣ интиҳоб мегардад. Конструксияҳои ихтотавие, ки бо замин алоқаманданд бо роҳи пешбинӣ намудани об ва намимуҳофизӣ аз таъсири намии хок бояд эмин ниғаҳ дошт.

Дар ноҳияҳои иқлимии II, III ва IV ҷумҳури лоиҳасозии биноҳои истиқоматӣ ва ҷамъиятии баландии 5 ва зиёд-ошёна бомҳои зербому гармшаванда ва хунукдошта имконпазир мебошад. Дар биноҳои истиқоматӣ ва ҷамъиятии то 4 ошёна истифодаи бомҳои безербому ҳавогузар имконпазир буда, пешбинӣ намудани бомҳои безербому яқлукти ҳамҷоя дар ноҳияҳои иқлимии III ва IV дар чунин биноҳо ғайриимкон аст.

*Муқарриз: Давлатов Д.Н. — н.и.т., мудири қабедраи сохтмони гидротехникӣ ва фанҳои умумитехникӣ  
Донишқадаи энергетикӣи ТПОи Қирғистон*

## Адабиёт

1. Шокиров Р.М. Повышение теплозащитных качеств наружных стен зданий из легких блоков (на примере Таджикистана) / Р.М. Шокиров, Н.М. Каримов, Н.М. Мухибуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. -№3 (53). – С. 133-138.

2. Хасанов Н.Н. Инженерный метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях жаркого климата / Н.Н. Хасанов, Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2020. -№3 (53). - С. 115-118.

3. Гулямов Б.А. Обеспечение энергоэффективности при проектировании гражданских зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2021. №1 (53).-С. 125-128.
4. Каримов, Н.М. Влияние объемно-планировочных решений на энергоэффективность зданий / Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2022. №3 (59). - С. 115-119.
5. Якубов, Н.Х. Тепловая защита зданий. Основы проектирования / Методическое пособие, - Душанбе. – 2014, - С. 159.
6. Хасанов, Н.Н. Современное состояние вопроса повышения энергоэффективности зданий общеобразовательных учреждений / Хасанов Н.Н., Нуров С.Р. // Материалы республиканской научно-практической конференции. «Практика, проблемы и перспективы повышения качества проектирования, строительства и производства строительных материалов». - Душанбе. 2016, - С.158-162.
7. Каримов, Н.М. Обеспечение энергоэффективности при проектировании гражданских зданий / Б.А. Гулямов, Н.М. Каримов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – Душанбе, 2021. №1 (53).-С. 125-128.
8. Хасанов, Н.Н. Архитектурно - строительные методы повышения энергосбережения и энергоэффективности в зданиях / Н.М. Каримов, Б.А. Гулямов // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Проблемы промышленной интеграции в Центральной Азии” (18 майи 2022 года). – Душанбе, 2022. - С. 212-215.
9. Ганизода, Д.Ш. Пути оздоровления микроклимата помещений зданий и территории застройки в условиях жаркого климата / Н.М. Каримов // Современная наука: Актуальные вопросы, достижения и инновации. XVI Международная научно-практическая конференция. Пенза. 2020,-С. 223-228.
10. Хужаев, П.С. Снижение энергопотребления здания путем применения теплоизоляционных материалов [Текст] / П.С. Хужаев, А.А. Сулейманов, М.М. Поччоев, З.А. Сулейманов // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, 2015 - №2 (30). – С.122-127.
11. Фазилов, А.Р. Нормативно-правовая база энергоэффективности в Республике Таджикистан / Фазилов А.Р., Шокиров Р.М. // Материалы научно-практической конференции-выставки «Дни возобновляемых источников энергии и энергосбережения в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими». Душанбе, - 2021. – С. 167-170.

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

TJ	RU	EN
Сафарзода Дилшод Ганӣ унвонҷӯӣ	Сафарзода Дилшод Ганӣ соискатель	Safarzoda Dilshod Ghani applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
TJ	RU	EN
Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич	Хасанов Нозимшо Назокатшоевич	Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich
Доктори меъморӣ, профессор Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Доктор арх., профессор Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Dr. Arch., Professor Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Рабиев Комрон Раҳматович	Рабиев Комрон Раҳматович	Komron Rabiev Rakhmatovich
Доктори PhD	Доктор PhD	Doctor of Philosophy
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:comron@mail.ru">comron@mail.ru</a>		

## МАҒҲУМҲОИ АСОСИИ ДИЗАЙНИ АКУСТИКӢ

Б.С. Ашурзода, Н.Н. Ҳасанов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Мақола ба омӯзиш ва таҳлили мағҳумҳои асоситарини дизайни акустикӣ, ки барои беҳдошти хузуру ҳаловати одамон дар хучраҳо ва истифодаи босамари биноҳо дар умум мусоидат менамоянд, бахшида шудааст. Муҳити акустики дуруст тарҳрезӣшуда имкон медиҳад, ки сатҳи мағалро дар хучраҳо ба андозаи қоҳиш дода, сифати садонокӣ хучраҳоро баланд бардорад. Ин ҳолат на танҳо барои толорҳои консертӣ ва театрҳо, балки барои хучраҳои маъмурӣ, синфхонаҳо, беморхонаву биноҳои дигар низ ниҳоям муҳим мебошад. Методи таҳқиқоти мазкур аз шарҳу тафсири адабиёти соҳаи акустикаи меъморӣ иборат мебошад.

**Калидвожаҳо:** дизайни акустикӣ, акустикаи меъморӣ, муҳити садо, зудӣ, суръат, энергия, зичии садо, шиддатнокӣ.

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА

Б.С. Ашурзода, Н.Н. Ҳасанов

Статья посвящена изучению и анализу основных концепций акустического проектирования, которые способствуют улучшению присутствия и комфорта людей в помещениях и эффективному использованию зданий в целом. Правильно спроектированная акустическая среда позволяет снизить уровень шума в помещениях и повысить качество звука в помещениях. Такое положение чрезвычайно важно не только для концертных залов и театров, но и для административных помещений, учебных аудиторий, больниц и других зданий. Метод данного исследования заключается в интерпретации литературы в области архитектурной акустики.

**Ключевые слова:** акустическое проектирование, архитектурная акустика, звуковая среда, скорость, скорость, энергия, плотность звука, интенсивность.

## BASIC CONCEPTS OF ACOUSTIC DESIGN

B.S. Ashurzoda, N.N. Khasanov

The article is devoted to the study and analysis of the basic concepts of acoustic design, which contribute to improving the presence and comfort of people in the premises and the efficient use of buildings in general. A properly designed acoustic environment can reduce indoor noise levels and improve indoor sound quality. This position is extremely important not only for concert halls and theaters, but also for administrative offices, classrooms, hospitals and other buildings. The method of this study is to interpret the literature in the field of architectural acoustics.

**Keywords:** acoustic design, architectural acoustics, sound environment, speed, velocity, energy, sound density, intensity.

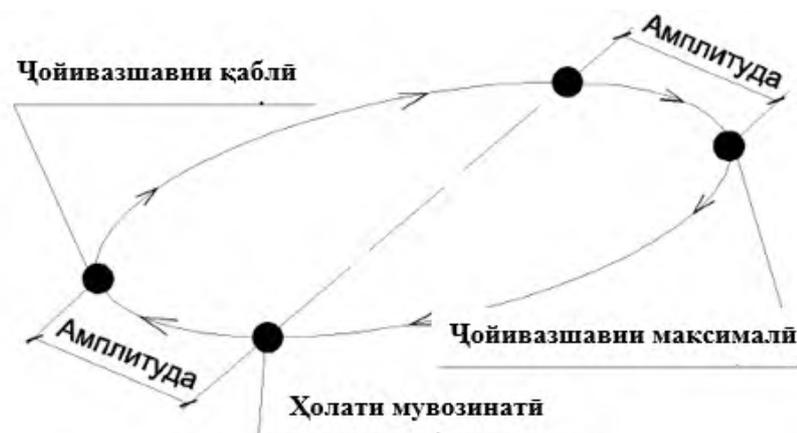
### Муқаддима

Муҳити акустики дуруст тарҳрезӣшуда имкон медиҳад, ки сатҳи мағалро дар хучраҳо ба андозаи қоҳиш дода, сифати садонокӣ хучраҳоро баланд бардорад. Ин ҳолат на танҳо барои толорҳои консертӣ ва театрҳо, балки барои хучраҳои маъмурӣ, синфхонаҳо, беморхонаву биноҳои дигар низ ниҳоям муҳим мебошад. Методи таҳқиқоти мазкур аз шарҳу тафсири адабиёти соҳаи акустикаи меъморӣ иборат мебошад.

Яке аз мағҳумҳои муҳими дизайни акустикӣ (акустикаи меъморӣ) садо ба ҳисоб рафта, он дар маънои васеаш, мавҷҳои чандирест, ки дар муҳит паҳн мешаванд ва лаппишҳои механикиро ба вуҷуд меоваранд. Маънои тангназартари садо, дарки субективонаи лаппишҳоро васоити узвҳои эҳсосоти одамизот ва ҳайвонот буда, тимсоли мавҷҳои дигар, он бо вусъат (амплитуда ва зудӣ) тавсиф карда мешавад. Мавҷҳои садоро ҳамчун намунаи раванди лаппишӣ муаррифӣ намудан имкон доранд. Ҳар гуна лаппиш бевосита бо вайроншавии мувозинати ҳолати ягон система вобаста буда, бо тағйирёбии тавсифоти он аз қиматҳои тавозунӣ фарқ менамояд. Барои лаппишҳои садогӣ ба сифати чунин тавсифот фишор дар нуқтаи муайяни муҳит ба ҳисоб рафта, фарқиати он фишори садо қабул гардидааст [1,4].

### Мавод ва усулҳои таҳқиқот

Мавҷҳои садо дар ҳолатҳои ба вуҷуд меоянд, ки дар муҳити чандир қисми лаппишхуранда мавҷуд аст ё зарраҳои муҳити чандир (газмонанд, моеъ ё сахт) дар натиҷаи таъсири ягон намуди қувва ба онҳо, ба ҳаракати лаппишхуранда мебароянд. Дар ин ҳол, энергия аз манбаъ бо ёрии мавҷҳои садо ва зарраҳои муҳити чандир ҳаракатҳои лаппишхурандаро нисбати ҳолати мувозинатӣ анҷом медиҳанд (Расми 1).



Расми 1 – Лаппиши зарраҳои муҳити чандир

Мавҷҳои садо, ки дар фазо (ҳаво) паҳн мешаванд, садои фазогӣ, лаппиши заррачаҳои садои дар ҷисмҳои нисбатан саҳти дар фосилаи зиёд паҳншавандаро садои сохторӣ ва мавҷҳои садои дар қишри замин мавҷдубударо садои зилзилавӣ меноманд.

Мавҷҳои садои дар муҳит пайдошуда аз нуқтаи пайдоиш (манбаи садо) паҳн гардида, барои як як нуқта ба нуқтаи дигар расидани онҳо вақте муайяне сарф мегардад. Суръати паҳншавии садо дар ин ҳолат, аз тавсифоти муҳит ва намуди мавҷи садои дар он паҳншаванда вобаста мебошад. Масалан, суръати ҳаракати садо дар фазо (ҳаво) бо ҳарорати 20 °C ба 340 м/с баробар мебошад. Онро (с) набояд бо суръати лаппиши заррачаҳои муҳит (V), ҳамчун бузургии нишонаивазкунанда, ки ҳам аз зудӣ ва ҳам аз фишори садо вобастагӣ дорад, омехта намоем [2, 5].

Тавсифоти дигари садо, дарозии мавҷи садо (λ) буда, он фосилаи дар равиши паҳншавии мавҷи садоро дар байни ду нуқтаи наздиктарини майдони садо, ки дар онҳо марҳалаи лаппиши заррачаҳои муҳит якхелаанд, ифода менамояд.

Дар муҳитҳои изотропӣ дарозии мавҷ бо зудӣ (f) ва суръати садо (C) дар асоси таносуби оддӣ вобастагӣ доранд (расми 2):

$$\lambda = C / f. \quad (1)$$



Расми 4 – Вобастагии дарозии мавҷҳои садо аз зудии садо дар ҳоли паҳншавии онҳо дар фазо

Суръати садо C, ин бузургииест, ки маънои суръати паҳншавии мавҷҳои садоро дар муҳит дошта, он аз масолеҳи садо дар он паҳншаванда, ҳарорати масолеҳи мазкур ва зудӣ вобаста мебошад.

Бо сабаби он, ки молекулаҳои гарм нисбат ба молекулаҳои хуноки масолеҳҳо серҳаракатар мебошанд, чӣ қадаре, ки ҳарорати масолеҳ баланд бошад, қобилияти садогузаронии он афзоиш меёбад. Дар масолеҳҳои газмонанд бошад, ҳамавақт суръати садо нисбат ба масолеҳҳои моеъгӣ ва дар моеъҳо суръати садо нисбат ба ҷисмҳои саҳт пастар аст. Дар шароитҳои мусоиди ҳаво суръати садо ба 331,46 м/с баробар буда, барои ҳаво формулаи зерин мувофиқ мебошад [1, 2, 5, 8]:

$$C_i = 331,2 + 0,6\Delta T, \quad (2)$$

дар ин ҷо:  $C_i$  – суръати садо дар ҳаво вобаста ба бузургии ҳарорат;

331,2 – суръати садо дар ҳаво бо ҳарорати 0 °C;

$\Delta T$  – фарқияти ҳароратҳои ченшаванда ва 0 °C.

Дар таркиби об суръати садо ба 1485 м/с баробар буда, дар таркиби ҷисмҳои саҳт он баробари 2000–6000 м/с шуда метавонад.

Дар ҳолати умумӣ суръати садо бо формулаи зерин ҳисобида мешавад:

$$C = \sqrt{(E_{\text{динам}} / \rho)}, \quad (3)$$

дар ин ҷо:  $E_{\text{динам}}$  – модули динамикии чандирии масолеҳ, МН/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – зичии масолеҳ, кг/м<sup>3</sup>.

Суръати садо дар масолеҳҳои сохтмони гуногун дар ҷадвали 1 дарҷ шудааст [10]:.

Дар баробари паҳншавии мавҷҳои садо, **энергияи садо** низ паҳн гардида, он бевосита аз иқтидори садо (P) ва аз вақти таъсири он (t) вобаста мебошад.

$$E = P \cdot t. \quad (4)$$

Ҳама гуна манбаи садо метавонад бо **иқтидори садо** (P), яъне бо миқдори энергияи садо (E) ватт, ки аз манбаи садо дар води вақт (t) ба ҳама тараф меафканад тавсиф карда шуда, иқтидори садо нишондиҳандаи асоситарини тавсифоти манбаи садо ё мағал ба ҳисоб меравад [1, 3, 11].

$$P = E / t. \quad (5)$$

Дар ҷадвали 2 иқтидорҳои муқоисавии аз манбаҳои гуногуни садо пайдошаванда оварда шудааст.

Ҷадвали 1 - Суръати садо дар масолахҳои сохтмони гуногун

Масолах	Модули чандирии масолах $E_{динам}$ МН/м <sup>2</sup>	Зичии $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Суръати садо $C$ , м/с
Бетони вазнин	$48 \cdot 10^3$	2400	4472
Бетони сабук	$4 \cdot 10^3$	1000	2000
Хишти деворӣ	$1 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3$	600 - 2000	1290-1580
Сангп силиката	$310^3 - 5 \cdot 10^3$	600 - 1200	2236-2580
Гачкогаз	$3 \cdot 10^3$	900	1826
Пулод	$208 \cdot 10^3$	7800	5164
Шиша	$52 \cdot 10^3$	2500	4560
Чуб	$7 \cdot 10^3 - 15 \cdot 10^3$	600	3416-5000
Рег	$0,02 \cdot 10^3 - 0,2 \cdot 10^3$	2000	100-317

Ҷадвали 2- Иқтидорҳои муқоисавии манбаҳои гуногуни садо

Манбаи садо	Иқтидор (Вт)
Нутқи муоширати одам	10-5
Иқтидори максималии овози одам	2.103
Фортопеано	2.10 <sup>3</sup>
Карнай	3.10 <sup>1</sup>
Бонги автомобил	5
Садоафзо	102
Бонги хатар (серена)	3.10 <sup>3</sup>
Ғавғои муҳаррики реактивӣ	104
Ғавғои муҳаррики ракета	106

## Натиҷаҳо

Дар таҷрибаи бисёрсолаи лоиҳакашии акустикаи меъморӣ ё дизайни меъморӣ қариб дар тамоми ҷаҳони муттамадин мутахассисони соҳа ба сифати воҳиди ченаки сатҳ ё шиддатнокии садо аз детсибел (дБ) қабул намуда, онро барои маънидод намудани таносуби байни ду бузургӣ, аксаран иқтидор ё зудии мавҷи садо истифода мебаранд. Детсибел, аз 1/10 қисмати бузургии бел, воҳиди бе ченак барои ченкунии баъзе аз бузургиҳо (масалан, энергетикӣ – иқтидор ва энергия ё қуввагӣ – шиддат ва қувваи ҷраён) аз рӯи ҷадвали логарифмӣ мебошад. Ин мафҳум чунин маъно дорад, ки зиёдшавӣ ба 10 дБ, ба афзоиши даҳкратии шиддатнокии садо мувофиқ мебошад. Масалан, 0 дБ – ҳади шунавоии гӯши одамизод; 10 дБ даҳ маротиба зиёдтар аз ҳади шунавоӣ; 20 дБ сад маротиба зиёд ва 30 дБ ҳазор маротиба зиёд ва ғайра.

Ҳоло, чун қоида мафҳуми детсибел асосан дар соҳаи акустика, ки ба воситаи он баландии садо чен карда мешавад, мавриди истифодабарӣ қарор дода шуда, воҳиди ченаки мазкур барои ба осонӣ арзёбӣ намудани сатҳи садо ё тағйирёбии иқтидори садо ёрӣ мерасонад.

Ба сифати нишондиҳандаи асосии майдони садо, энергияи садо истифода мегардад, ки он дар воҳиди ҳаҷми муҳид мавҷуд буда, зичии энергияи садо ( $D$ ) номида шудааст ва бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад [12]:

$$D = p^2 / \rho \cdot C^2, \quad (6)$$

дар ин ҷо:  $\rho$  – зичии муҳит;  $C$  – суръати садо дар муҳит.

Зичии энергияи садо бузургии скалярӣ ба ҳисоб рафта, он энергияи майдони садоро дар ҳолати номуайянии равиши мавҷҳои садо дар воҳиди вақт тавсиф менамояд ва барои намудҳои гуногуни майдонҳои садогӣ, ҳархела мебошад. Барои майдони садогии озод, ки дар он мавҷҳои садо аз манбаъ танҳо аз як равиш ворид мегарданд, шиддатнокии садо ( $I$ ) тибқи формулаи зерин муайян карда мешавад [1, 3].

$$I = p^2 / \rho c, \quad (7)$$

Барои майдони садогии омехта (диффузионӣ), дар ҳуҷрачаи (камераи) ревербератсионии идеалӣ, воридоти мавҷҳои садо аз ҳама ҷонибҳо баробаримкон мебошад, шиддатнокии умумӣ ба сифр баробар

аст. Ҳамзамон, шиддатнокии садо, ки аз воҳиди сатҳи ҳамвор танҳо аз як тараф мегузарад баробари таносуби зерин шуда метавонад.

$$I = p^2 / 4\rho_c, \quad (8)$$

дар ин ҷо:  $\rho_c$  – муқовимати акустикаи муҳит (импеданс) дар ҳарорати 20 °С, барои ҳаво баробар ба 407 рел ( $\text{кг м}^2 \text{с}^{-1}$ ).

Қимати фишори садо, шиддатнокӣ ва иқтидори садои манбаъҳои ғавғо метавонанд дар ҳудудҳои васеъ таъйир ёбанд, масалан аз  $2 \cdot 10^4$  то  $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup> (барои фишори садо), яъне  $10^9$  маротиба.

Истифодабарии қиматҳои мутлақӣ чунин бузургҳои аз якдигар саҳт фарқунанда ниҳоят мушқил буда, дар илми акустикаи меъморӣ ва умуман акустика, барои арзёбии шиддатнокии садо, фишор, зичии энергияи садо ва иқтидори садо бештар на ба воситаи воҳидҳои мутлақ, балки бо воҳидҳои нисбии логарифмӣ, яъне детсибелҳо истифода менамоянд.

Мафҳуми дигари акустикаи меъморӣ, сатҳи шиддатнокии садо буда, барои ҳисоби он аз формулаи зерин истифода кардан имконпазир мебошад [3, 5]:

$$L_i = 10 \lg(I / I_0), \quad (9)$$

дар ин ҷо:  $I_0$  – шиддатнокии садо, тибқи меъёрҳои байналмиллалӣ шиддатнокии  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> қабул шудааст.

Чуноне, ки аз формулаи (11) бар меояд, шиддатнокии садо ба квадрати фишори садо мутаносиб буда, сатҳи шиддатнокии садоро низ метавон вобаста аз бузургии фишори садо мутобиқи формула муайян намоём:

$$L_i = 10 \lg(I / I_0) = 10 \lg(p^2 / \rho^2) = 20 \lg(p / \rho_0) = L. \quad (10)$$

Сатҳи дар асоси формулаи (14) муайяншударо сатҳи фишори садо меноманд. Бо мақсади мувофиқ гардонидани сатҳи фишори садо бо сатҳи шиддатнокӣ, бояд ба сифати бузургии ҳади фишори садо ( $p_0$ ) қимати  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup> қабул гардад, ки он ба шиддатнокии ҳади  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> мувофиқ мебошад. Сатҳи мутлақӣ фишори садо дар ҳолатҳои гуногун дар ҷадвали 3 оварда шудаанд [9,10].

Ҷадвали 3 - Сатҳи мутлақӣ фишори садо дар ҳолатҳои гуногун

Шароити дарки манбаи садо ё ҷойи садодихӣ	Сатҳи фишори садо (дБ)
Ҳади эҳсоси дард	134
Болғаи пневмотикӣ	124
Бонги баланди автомобил (дар фосилаи 1 метр)	114
Дар дохили поезди метро	94
Дар дохили автобус	85
Кунҷи буриши кучаҳо бо ҳаракати миёна	74
Нутки муоширатӣ (гуфтугузор)	65
Хучраҳои маъмурӣ	54
Хучраҳои истиқоматӣ	44
Китобхона	30
Хучраи хоб, шабона	25
Студияи радиошунавоӣ	15
Ҳади шунавоӣ	0

Дар қатори мафҳуми сатҳи шиддатнокӣ ва сатҳи фишори садо солҳои охир мафҳуми сатҳи иқтидори садои манбаъи мағал мавриди истифодабарии васеъ қарор дода шудааст ва он ба воситаи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$L_p = 10 \lg(p/p_0). \quad (11)$$

Ба сифати қимати ҳади иқтидори садо, маъмулан бузургии  $P_0 = 10^{-12}$  Вт интиҳоб гардидааст.

Тавсифоти самти афканиши манбаъҳои мағалро мебошад барои ҳисоби сатҳҳои фишори садо дар ҷойҳои корӣ ё нуқтаҳои дигари хучраҳо ва инчунин дар ҳолатҳое, ки таҷҳизот дар майдончаҳои кушода ҷойгиронида шудааст ва ғалоғулаи онҳо метавонад дар тамоми ҳудуди иморатсозишуда паҳн гардад, донист.

### Муҳокима

Муҳаққиқони соҳаи акустикаи меъморӣ ба мафҳуми дигар, баландии садо (овоз) низ аҳамияти хосае зоҳир менамоянд. Мафҳуми мазкур дарки субективонаи қувваи садоро (бузургии мутлақӣ эҳсоси шунавоӣ) ифода намуда, он бевосита аз фишори садо ва зудии лаппиши садо вобаста мебошад.

Ҳамзамон, баландии садо ба лаҳн (тембр), давомнокии таъсири лаппишҳои садо ва омилҳои дигар таъсир мерасонад [1, 9].

Воҳиди чадвали мутлақи баландии садо сон ба ҳисоб рафта, он баландии садои баробар ба 1 сон, баландии садои мунтазами овози синусоидалии зудии 1 кГц, ки фишори садои 2 мПа-ро ҳосил менамояд, ифода мекунад.

Мафҳуми дигари акустикӣ сатҳи баландии садо, бузургии нисбӣ буда, бо воҳиди ченаки фон чен карда мешавад ва он миқдоран ба сатҳи фишори садо (бо детсибелҳо - дБ) баробар аст.

Бояд қайд намуд, ки бузургиҳои физикӣ, ки садоро тавсиф менамоянд, функцияи вақт ба ҳисоб рафта, аз ин лиҳоз ин равандҳо имкон доранд, ки онҳоро ҳамчун маҷмӯи ноустувории синусоидалий бо давра ва лаппишҳо гуногун баррасӣ карда шаванд. Ҳар як ноустуворӣ ё тағйирёбӣ бо қимати миёнакватратии бузургии физикӣ ва зудӣ тавсиф гардида, мутобиати онҳо ҳамчун спектри зудии (тағйирёбии) садо ё спектр номида мешавад [10].

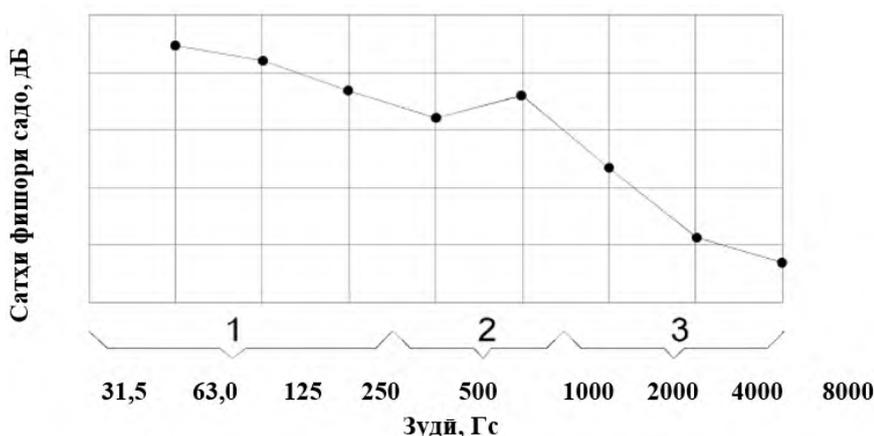
Зудии спектр, чун қоида дар намуди паҳншавии сатҳҳо (фишори садо, иқтидори садо) дар ҳудудҳои зудӣ ифода ёфта, ба сифати зудии миёнаи ҳудуд, аксаран зудии миёнаи геометрӣ, ки бо формулаи зерин ҳисобида мешавад, қабул мегардад.

$$f_{cp} = \sqrt{f_1 / f_2}. \quad (12)$$

Зудии  $f_1$  зудии шафати поёнии ҳудуди спектр ва  $f_2$  зудии шафати бологии ҳудуди спектр номида мешавад.

Дар таҷрибаи муосири ченкунии садову мағал ва иҷрои ҳисобҳои акустикӣ пешбини спектри ҳудудҳои зудии васегии муайяношта мувофиқи матлаб ҳисоб мегардад. Ҳудуди зудӣ, ки дар он таносуби  $f_1/f_2 = 2$  мебошад, ҳудуди октавий номида мешавад.

Дар расми 5 спектри садо (мағал) дар ҳудудҳои октавии зудӣ бо тағйирёбии миёнаи геометрии 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ва 8000 Гс тасвир карда шудааст.



Расми 5 – Спектри садо: 1,2,3 мувофиқан зудихоии наст, миёна ва баланд

Ноустувории (пасту баландшавии) давравии шаклҳои мураккабдоштаро метавон ҳамчун маҷмӯи синусоидҳои лаппиши гуногундошта тасавур намоем, ки чунин синусоидҳои спектри ҳаттиро ба вучуд меоваранд. Ноустувории ғайридаврии шаклҳои мураккабдоштаро бошад, дар намуди маҷмӯи миқдори бениҳоят калони синусоидҳо, ки спектри яклухтро ташкил медиҳанд, ифода менамоянд. Инчунин, бояд қайд намуд, ки равандҳои бо садо алоқамандбуда, спектри омехтае мебошанд, ки дар намуди спектри яклухту дискретии болои ҳам хобида тасвир карда мешаванд.

## Хулосаҳо

Дизайни акустики яке равияҳои илмии раванди лоиҳакашии акустикаи меъморӣ ба ҳисоб рафта, ҳадафи асосии он аз муносибгардонии муҳити садо дар фазоҳои гуногуни меъморӣ иборат мебошад. Он мафҳумҳои асоситарини самтро, ба монанди садо, мағал, резонанс, интиқоли садо, садомуҳофизӣ, ревербератсия, муҳити садогӣ ва масолеҳҳои акустикӣ дар бар мегирад, ки онҳо дар ташаккули муҳити атрофи мусоиди акустикӣ дар биноҳои гуногунтаъинота ниҳоятдараҷа муҳим мебошанд.

Муқаррир: Ҳақдод М.М. — д.и.т., профессор узви вобастаи АМҶП.

## Адабиёт

1. Бутко О. Архитектурная акустика, ее особенности и применение // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 1–30 мая 2015. Белгород, 2015. С. 1647–165
2. Ильичев И.А., Рыжих И.Н. Архитектурная акустика // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2016. С. 2672–2675.

3. Мельников Е.Д., Агеенко М.В. Архитектурно-строительная акустика. Воронеж. гос. архитектурно-строительный ун-т, 2015. 60 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/54990.html> .
4. Архитектурная физика / под ред. Н.Ф. Оболенского. – М. : Стройиздат, 2005. – 443 с.
5. Архитектурно-строительная энциклопедия : словарь-справочник / под ред. В.И. Колчунова. – М. : АСВ, 2006.
6. Блази, В. Справочник проектировщика / В. Блази. – М. : Техносфера, 2005. – 536 с.
7. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975. – 278 с.
8. Ковригин, В.М. Архитектурно-строительная акустика / В.М. Ковригин, С.И. Крышов. – М. : Высшая школа, 1986. – 218 с.
9. Овсянников, С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях / С.Н. Овсянников. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2000.
10. Ahn, J., & Nan, J. Advanced Topics in Acoustics: Insights into Architectural Acoustics. Berlin, 2017. Springer.
11. Гольдштейн, А. А. Основы акустического проектирования в архитектуре. [Текст] / А. А. Гольдштейн // Архитектура-С. - Москва, 2008. – С. 118-124.
12. Шершнева, А. И. Акустический дизайн: теория и практика. [Текст] / А. И. Шершнева // Архитектура и строительство - М: Прогресс, -2011. – С. 142-146.

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

TJ	RU	EN
Ашурзода Бахтиёр Саидкул унвонҷӯӣ	Ашурзода Бахтиёр Саидкул соискатель	Ashurzoda Bakhtier Saidkul applicant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Ҳасанов Нозимшо Назокатшоевич	Хасанов Нозимшо Назокатшоевич	Khasanov Nozimsho Nazokatshoevich
Доктори меъморӣ, профессор Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Доктор арх., профессор Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Dr. Arch., Professor Tajik Technical University named after acadevician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:kapitelh@mail.ru">kapitelh@mail.ru</a>		

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>7</sup> на таджикском, английском или русском языке:

<b>ВВЕДЕНИЕ (Introduction)</b>	Почему проведено исследование? Что было исследовано, или цель исследования, какие гипотезы проверены? Включает: актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
<b>МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)</b>	Когда, где и как были проведены исследования? Какие материалы были использованы или кто был включен в выборку? Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)</b>	Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).
<b>ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)</b>	Что подразумевает ответ и почему это имеет значение? Как это вписывается в то, что нашли другие исследователи? Каковы перспективы для будущих исследований? Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: соответствие полученных результатов гипотезе исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)</b>	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)</b>	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)</b>	оформляется в конце статьи в следующем виде:

<sup>7</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.

	TJ	RU	EN
	Ному насаб, ФИО, Name Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title <sup>8</sup> Ташкилот, Организация, Organization e-mail ORCID <sup>9</sup> Id Телефон		
<b>КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)</b>	<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 (AUTHOR CONTRIBUTIONS).</b>	<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 (по желанию автора)</b>			
<b>БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)</b>	<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 (FUNDING)</b>	<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 (ADDITIONAL INFORMATION)</b>	<p>В этом разделе могут быть помещены: Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них. Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе). Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладов на конференциях и семинарах.</p>		

## 5. Требования к оформлению статей

<sup>8</sup> Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

<sup>9</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](http://www.orcid.org).

Рекомендуемый объем оригинальной статьи – до 10 страниц, обзора – до 15 страниц, включая рисунки, таблицы, библиографический список. В рубрику «Краткие сообщения» принимаются статьи объемом не более 3 страниц, включая 1 таблицу и 2 рисунка.

Рекомендации по набору и оформлению текста

Наименование	Требования	Примечания
Формат страницы	A4	
Параметры страницы и абзаца	отступы сверху и снизу - 2.5 см; слева и справа - 2 см; табуляция - 2 см;	ориентация - книжная
Редактор текста	Microsoft Office Word	
Шрифт	Times New Roman, 12 пунктов	
межстрочный интервал	Одинарный, выравнивание по ширине	Не использовать более одного пробела между словами, пробелы для выравнивания, автоматический запрет переносов, подчеркивания.
Единица измерения	Международная система единиц СИ	
Сокращения терминов и названий	В соответствии с ГОСТ 7.12-93.	должны быть сведены к минимуму
Формулы	Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские курсивом. Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются.	Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо
Таблицы	При создании таблиц рекомендуется использовать возможности MS Word (Таблица – Добавить таблицу) или MS Excel. Таблицы должны иметь порядковые номера, название и ссылку в тексте. Таблицу следует располагать в тексте после первого упоминания о ней. Интервал между строчками в таблице можно уменьшать до одинарного, размер шрифта – до 9 пунктов.	Внутри таблицы заголовки пишутся с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Заголовки центрируются. Боковые – по центру или слева. Диагональное деление ячеек не рекомендуется. В пустой ячейке обязателен прочерк (тире –). Количество знаков после запятой (точность измерения) должно быть одинаковым.
Рисунки (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы)	Должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте, которую следует располагать в тексте после первого упоминания о рисунке. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с MS Word (*JPEG, *BIF, *TIFF (толщина линий не менее 3 пкс) Фотографии должны быть предельно четкими, с разрешением 300 dpi. Максимальный размер рисунка: ширина 150 мм, высота 245 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись, в которой дается объяснение всех его элементов. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами и комментируются в подписях к рисункам.	Заголовки таблиц и подрисуночные подписи должны быть по возможности лаконичными, а также точно отражающими смысл содержания таблиц и рисунков. Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Все надписи на рисунках (наименования осей, цифры на осях, значки точек и комментарии к ним и проч.) должны быть выполнены достаточно крупно, одинаковым шрифтом, чтобы они легко читались при воспроизведении на печати. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском языке. Не допускается наличие рамок вокруг и внутри графиков и диаграмм. Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel.

Рукопись должна быть построена следующим образом:

Раздел	Содержание (пример)	Расположение
Индекс УДК <sup>10</sup>	УДК 62.214.4; 621.791.05	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>11</sup> , организации <sup>12</sup> , заголовки и реферат <sup>13</sup> и ключевые слова <sup>14</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>10</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>11</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>12</sup> Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

<sup>13</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>14</sup> В английском переводе ключевых слов не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не должен использоваться непереводимый сленг, известный только ограниченному кругу специалистов.

<b>Мухаррири матни русӣ:</b>	<b>М.М. Якубова</b>
<b>Мухаррири матни тоҷикӣ:</b>	<b>Муаллифон</b>
<b>Мухаррири матни англисӣ:</b>	<b>Муаллифон</b>
<b>Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:</b>	<b>М.А. Иззатуллоев</b>

<b>Редактор русского текста:</b>	<b>М.М. Якубова</b>
<b>Редактор таджикского текста:</b>	<b>Авторская редакция</b>
<b>Редактор английского текста:</b>	<b>Авторская редакция</b>
<b>Компьютерный дизайн и верстка:</b>	<b>М.А. Иззатуллоев</b>

**Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Рачабовҳо, 10<sup>А</sup>**  
**Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10<sup>А</sup>**

Ба чоп 10.04.2025 имзо шуд. Ба матбаа 11.04.2025 супорида шуд.  
Чопи офсетӣ. Коғазӣ офсет. Андозаи 60x84 1/8  
**Адади нашр 50 нусха.**

**Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ**  
**ш. Душанбе, кӯчаи акад. Рачабовҳо, 10<sup>А</sup>**