

ISSN 3105-7098

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

Бахши Техника ва Ҷомеа

3(15)2026



ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Серия: Техника и Общество

POLYTECHNIC BULLETIN
Series: Technology and Society

ПАЁМИ ПОЛИТЕХНИКӢ

БАХШИ ТЕХНИКА ВА ҶОМЕА



ISSN
3105-7098

3(15)
2026



МАҶАЛЛАИ ИЛМӢ

<http://vp-tech.ttu.tj/>

E-mail: vestnik_politech@ttu.tj

Published since January 2023

Маҷалла ба рӯйхати нашрияҳои тақризии КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва КОА-и назди Вазорати таҳсилоти олий, илм ва инноватсияҳои Ҷумҳурии Ўзбекистон ворид карда шудааст.

Журнал включен в перечень рецензируемых изданий ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан.

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

Маҷалла дар Вазорати фарҳанги Ҷумҳурии Тоҷикистон таҳти № 407/МЧ аз 09 январи соли 2025 ба қайд гирифта шудааст.

Индекси обуна: 77762

РАВИЯҲОИ ИЛМИИ МАҶАЛЛА	НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЖУРНАЛА	SCIENTIFIC DIRECTIONS OF THE JOURNAL
2.4.7. Технологияи мошинсозӣ 2.9.1. Ҳифзи меҳнат 2.9.6. Экология 6.1.7. Таърихи илм 6.3.6. Фалсафаи илму техника	2.4.7. Технология машиностроения 2.9.1. Охрана труда 2.9.6. Экология 6.1.7. История науки 6.3.6. Философия науки и техники	2.4.7. Technology of Mechanical Engineering 2.9.1. Labor Protection 2.9.6. Ecology 6.1.7. History of Science 6.3.6. Philosophy of Science and Technology

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 Рачабовҳо, 10А Тел.: (+992 37) 227-04-67	734042, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10А Тел.: (+992 37) 221-68-81	734042, Dushanbe, Avenue of Academics Radjabovs, 10A Tel.: (+992 37) 221-68-81

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
СЕРИЯ: ТЕХНИКА И ОБЩЕСТВО

POLYTECHNIC BULLETEN
SERIES: TECHNOLOGY AND SOCIETY

САРМУҲАРИР

Қ.Қ. ДАВЛАТЗОДА

доктори илмҳои иқтисодӣ, профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент, муовини сармуҳаррир

М.А. АБДУЛЛО

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент, муовини сармуҳаррир

Ш.А. БОЗОРОВ

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент, муовини сармуҳаррир

АЪЗОЁН

М.М. МАҲМАДИЗОДА

доктори илмҳои техникаӣ, дотсент

Д.С. МАНСУРИ

доктори илмҳои техникаӣ, профессор

И.Т. АМОНЗОДА

доктори илмҳои техникаӣ, профессор

А. КОМИЛИ

номзади илмҳои таърих, доктори илмҳои физикаву математика, профессор

Ш.Б. НАЗАРОВ

доктори илмҳои техникаӣ, дотсент

Ҳ.Ш. ГУЛАҲМАДОВ

доктори илмҳои техникаӣ, дотсент

М. МУЗАФАРИ

доктори илмҳои фалсафа, профессор, узви вобастаи АМИТ

М.Ҳ. РАҲИМОВ

доктори илмҳои фалсафа, профессор

А.А. ШАМОЛОВ

доктори илмҳои фалсафа, профессор

Х.М. ЗИЁИ

доктори илмҳои фалсафа, профессор

Р.З. НАЗАРИЕВ

доктори илмҳои фалсафа, профессор

А.А. АБДУРАСУЛОВ

Номзади илмҳои физикаю математика, профессор

А.Ҳ. САИД

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент

О.У. РАСУЛОВ

доктор PhD, дотсент

Б.Н. АКРАМОВ

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент

И. МИРЗОАЛИЕВ

номзади илмҳои техникаӣ, дотсент

С.С. САИДУМАРОВ

номзади илмҳои фалсафа, дотсент

Э.У. ШАРОФОВ

номзади илмҳои таърих, дотсент

С.С. ТИЛЛОВ

доктори илмҳои таърих, дотсент

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

К.К. ДАВЛАТЗОДА

доктор экономических наук, профессор

Р.Т. АБДУЛЛОЗОДА

кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора

М.А. АБДУЛЛО

кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора

Ш.А. БОЗОРОВ

кандидат технических наук, доцент, зам. главного редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

М.М. МАҲМАДИЗОДА

доктор технических наук, доцент

Д.С. МАНСУРИ

доктор технических наук, профессор

И.Т. АМОНЗОДА

доктор технических наук, профессор

А. КОМИЛИ

кандидат исторических наук, доктор физико-математических наук, профессор

Ш.Б. НАЗАРОВ

доктор технических наук, доцент

Х.Ш. ГУЛАҲМАДОВ

доктор технических наук, доцент

М. МУЗАФАРИ

доктор философии, профессор, член-корреспондент НАНТ

М.Х. РАҲИМОВ

доктор философских наук, профессор

А.А. ШАМОЛОВ

доктор философских наук, профессор

Х.М. ЗИЁИ

доктор философских наук, профессор

Р.З. НАЗАРИЕВ

доктор философских наук, профессор

А.А. АБДУРАСУЛОВ

кандидат физико-математических наук, профессор

А.Ҳ. САИД

кандидат технических наук, доцент

О.У. РАСУЛОВ

доктор PhD, доцент

Б.Н. АКРАМОВ

кандидат технических наук, доцент

И. МИРЗОАЛИЕВ

кандидат технических наук, доцент

С.С. САИДУМАРОВ

кандидат философских наук, доцент

Э.У. ШАРОФОВ

кандидат исторических наук, доцент

С.С. ТИЛЛОВ

доктор исторических наук, доцент

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

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

МУНДАРИҶА – CONTENTS – ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯИ МОШИНСОЗӢ – ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ – TECHNOLOGY OF MECHANICAL ENGINEERING	4
<u>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ НАПРАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ПОДАЧИ ХЛОПКА-СЫРЦА К КОЛКОВЫМ БАРАБАНАМ</u> ¹ А.П. Парпиев, ¹ И.Б. Мардонов, ² Х.И. Иброхимзода, ³ Ф.М. Сафаров	
<u>PRODUCTION TESTS OF AN IMPROVED SAW SPACER OF A LINTER MACHINE</u> A.B. Kurbanov, O.SH. Abdurakhmonov	13
ЭКОЛОГИЯ – ECOLOGY	19
<u>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ</u> ¹ Н. Васиредди, ¹ Р.О. Азизов, ² Дж.Ш. Рахматов	19
<u>КЛИМАТИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ, ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ</u> Абдулло Мамадамон	26
<u>ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАД УРОВНЕМ МОРЯ НА СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ</u> М.Р. Саидзода, М.А. Абдулло, Р.Х. Саидзода, А.Д. Рахмонзода	38
<u>ТАҲҚИҚИ ТАРКИБИ ХИМИЯВИИ ТАҲШИНҲОИ ИНШООТҲОИ ТОЗАКУНИИ ОБҲОИ ПАРТОВИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ</u> ¹ Г.Б. Катағанова, ² А.А. Гулаҳмадзода	46
ҲИҶЗИ МЕҲНАТ - ОХРАНА ТРУДА - LABOR PROTECTION	53
<u>ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ ХИМИКАТОВ НА ЧЕЛОВЕКА И КОМПЛЕКСНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ИХ ВРЕДА</u> А.А. Акрамов, К.Р. Рахматзода	53
ФАЛСАФАИ ИЛМУ ТЕХНИКА - ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ - PHILOSOPHY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	61
<u>ТАҲЛИЛИ ФАЛСАФИИ БАЪЗЕ АРЗИШҲОИ СЕМАНТИКӢ ВА ЗЕБОИШИНОСӢ ДАР МЕЪМОРӢ</u> А.Б. Рамазониён	61
ТАЪРИХИ ИЛМ - ИСТОРИЯ НАУКИ - HISTORY OF SCIENCE	66
<u>СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ МНОГОЧЛЕНОВ НА КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛАХ</u> С.Н. Неъматзода, Н.Н. Назрублов	66
<u>АҲАММИЯТИ ЗЕҲНИ СУНӢ ДАР РУШДИ СОҲАИ САЙЁҲӢ: ТАҲАВВУЛОТИ ТАЪРИХӢ, ВАЗӢИ МУОСИР ВА ДУРНАМОИ РУШД</u> М.С. Шарипова	78

ТЕХНОЛОГИИ МОШИНСОЗЎ – ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ – TECHNOLOGY OF MECHANICAL ENGINEERING

УДК: 677.01+677.027(045)/ (575.3)

DOI: 10.65599/TS3999

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ НАПРАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ПОДАЧИ ХЛОПКА-СЫРЦА К КОЛКОВЫМ БАРАБАНАМ

¹А.П. Парпиев, ²И.Б. Мардонов, ³Х.И. Иброхимзода, ⁴Ф.М. Сафаров

¹Джизахский политехнический институт, г. Джизах, Республика Узбекистан

²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, г. Ташкент, Республика Узбекистан

³Технологический университет Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

⁴Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В данной статье приводятся результаты исследования проблемы обеспечения стабильной подачи потока хлопка-сырца между пыльчатым, щеточным отделительным, колково-лопастным и колково-планчатым барабанами очистительного агрегата. В ходе экспериментов установлено, что часть хлопковых летучек, не полностью поступая в следующую секцию, возвращается назад по поверхности пыльчатого барабана. Для устранения данного явления предложены направляющие элементы с выпуклой рабочей поверхностью. С учетом направления движения хлопка-сырца, расстояния между осями барабанов и углов траектории полета материала определены координаты расположения направляющих элементов, их криволинейный профиль и радиусы кривизны. Для первой направляющей получено уравнение параболы и определен радиус ее кривизны. Вторая направляющая была изготовлена и испытана в производственных условиях. В результате улучшено направление хлопковых летучек на сетчатую поверхность, повышены непрерывность и стабильность потока материала, обеспечена надежность протекания технологического процесса и расширены возможности устойчивой работы очистителя, что было практически подтверждено даже при повышенной производительности.

Ключевые слова: колковые и пыльчатые барабаны, эффективность очистки, мелкие и крупные сорные примеси, технологический зазор, сетчатая поверхность, колосниковая решетка, очистительная секция.

МУАЙЯН КАРДАНИ КООРДИНАТАОИ РОҲНАМО БАРОИ РАСОНИДАНИ АШЁИ ПАХТА БА УСТУВОНАҲОИ СИҲДОР

¹А.П. Парпиев, ²И.Б. Мардонов, ³Х.И. Иброхимзода, ⁴Ф.М. Сафаров

¹Донишқадаи политехникии Чизах, ш. Чизах, Ҷумҳурии Ўзбекистон

²Донишқадаи нассочӣ ва саноати сабуки Тошканд, ш. Тошканд, Ҷумҳурии Ўзбекистон

³Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

⁴Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар ин мақола натиҷаи тадқиқотҳо оид ба масъалаи таъмини ҷараёни устувори ашёи пахтаи байни устувонаҳои сиху паррадор ва сиху сехдори агрегати тозакунии баррасӣ шудааст. Таҷрибаҳо нишон доданд, ки баъзе аз ҳиссаҳои ашёи пахта пурра ба қисмати оянда ворид намешаванд, ба сатҳи устувонаи тасмааррадор бармегарданд. Барои бартараф кардани ин падида, унсурҳои роҳнамо бо сатҳи қорӣ барҷаста пешниҳод карда мешаванд. Бо назардошти самти ҷараёни ашёи пахта, масофаи байни меҳварҳои устувонаҳо ва кунҷҳои траектории парвози мавод, координатаҳои унсурҳои роҳнамо, профили қавқ ва радиусҳои қавқшавӣ муайян карда шуданд. Барои роҳнамои якум муодилаи параболро ба даст оварда, радиуси қавқшавии он муайян карда шуд. Роҳнамои дуюмро дар шароити истеҳсолот тайёр карда, санҷида шуд. Дар натиҷа, самти ҳаракати ҳиссаҳои ашёи пахта дар сатҳи тӯр бехтар мешавад, пайвастагӣ ва устувори ҷараёни мавод афзоиш меёбад, эътимоднокии раванд таъмин карда мешавад ва устувори қорӣ таҷҳизоти тозакунанда васеъ мешавад, ки ҳатто бо афзоиши маҳсулноки амалан тасдиқ шудааст.

Калидвожаҳо: устувонаҳои сих ва тасмааррадор, самаранокӣ тозакунии, ифлосҳои хурду калон, фосилаи технологӣ, сатҳи тӯрӣ, панҷараҳои хозагӣ, қисмати тозакунии.

DETERMINATION OF COORDINATES FOR GUIDE ELEMENTS FEEDING SEED COTTON TO SPIKED DRUMS

¹A.P. Parpiev, ²I.B. Mardonov, ³Kh.I. Ibrokhimzoda, ⁴F.M. Safarov

¹Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan

²Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Republic of Uzbekistan

³Technological University of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

⁴Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article presents the results of a study addressing the challenge of ensuring a stable seed cotton flow between the saw drum, brush separating drum, spiked-blade drum, and spiked-slat drum of a cleaning unit. Experiments revealed that a portion of the cotton tufts fails to fully enter the subsequent section and instead travels back along the surface of the saw drum. To eliminate this phenomenon, guide elements with a convex working surface were proposed. Based on the direction of seed cotton movement, the distance between drum axes, and the material's trajectory angles, the coordinates, curvilinear profile, and radii of curvature for the guide elements were determined. A parabolic equation and the radius of curvature were derived for the first guide element. The second guide element was manufactured and tested under industrial conditions. The results demonstrated improved guidance of cotton tufts onto the mesh surface, enhanced continuity and stability of the material flow, ensured process reliability, and expanded the cleaner's operational stability—outcomes practically confirmed even at increased throughput rates.

Keywords spike and serrated drums, cleaning efficiency, fine and coarse trash, operating clearance, mesh surface, grate, cleaning section.

Введение (Introduction)

В проведенных экспериментальных исследованиях установлено, что часть хлопка, поступающего из секции пильчатого барабана и передаваемого отделительным барабаном, не полностью поступает в секцию колково-лопастного барабана. При этом определенная часть хлопка изменяет направление движения и возвращается назад по верхней части пильчатого барабана. Такое явление нарушает равномерность подачи хлопка в последующую технологическую секцию, приводит к его повторному движению и может снижать эффективность процесса очистки [1-2].

Для устранения обратного движения хлопка и обеспечения его непрерывной подачи вместо направляющего лопастного барабана, расположенного в верхней части пильчатого барабана, предложено использовать направляющую с выпуклой рабочей поверхностью. Такая конструкция позволяет плавно изменять направление движения хлопка и направлять его в сторону следующей технологической секции. Эффективность работы предложенной направляющей зависит от правильного выбора ее геометрических параметров и положения относительно рабочих органов машины [3-7].

В связи с этим необходимо определить координаты расположения направляющей относительно пильчатого и колково-лопастного барабанов, а также установить оптимальный радиус выпуклости ее рабочей поверхности.

Материалы и методика проведения исследований

В исследованиях [8-10] приводятся траектория движения хлопковых летучек, выбрасываемые отделительным щеточным барабаном с пильчатого барабана должны быть направлены в нижнюю часть относительно горизонтальной оси принимающего колково-лопастного барабана. В противном случае под воздействием колков хлопок может изменить направление движения назад, не попав на сетчатую поверхность. Поэтому конечная точка **A** направляющей была установлена по горизонтальной оси на расстоянии 5 см от колка барабана (рис. 1).

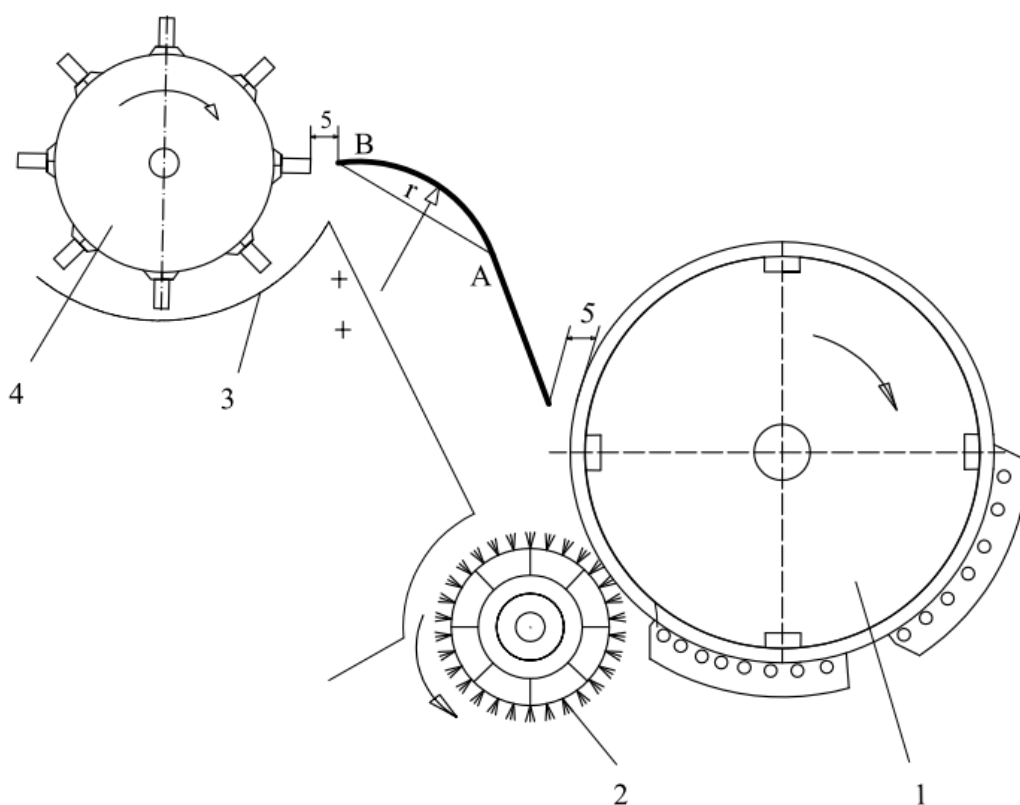


Рисунок 1 – Схема расположения направляющей для хлопка

1-пильчатый барабан; 2-отделительный щеточный барабан; 3-сетчатая поверхность; 4-колковый барабан.

Figure 1 – Layout of the cotton guide

1 – Saw-tooth drum; 2 – Separating brush drum; 3 – Mesh surface; 4 – Pin drum.



Рисунок 2 – Движение хлопка, выбрасываемого отделительным барабаном
Figure 2 – Movement of cotton ejected by the separating drum

Рассмотренные обозначения были установлены на основе изучения движения хлопка в технологическом оборудовании (рис. 2).

Как видно из рис. 2, движение хлопка ограничивается снизу и слева наклонным лотком, однако с правой стороны и в верхней части наблюдается частичный возврат хлопковых летучек назад [11-12].

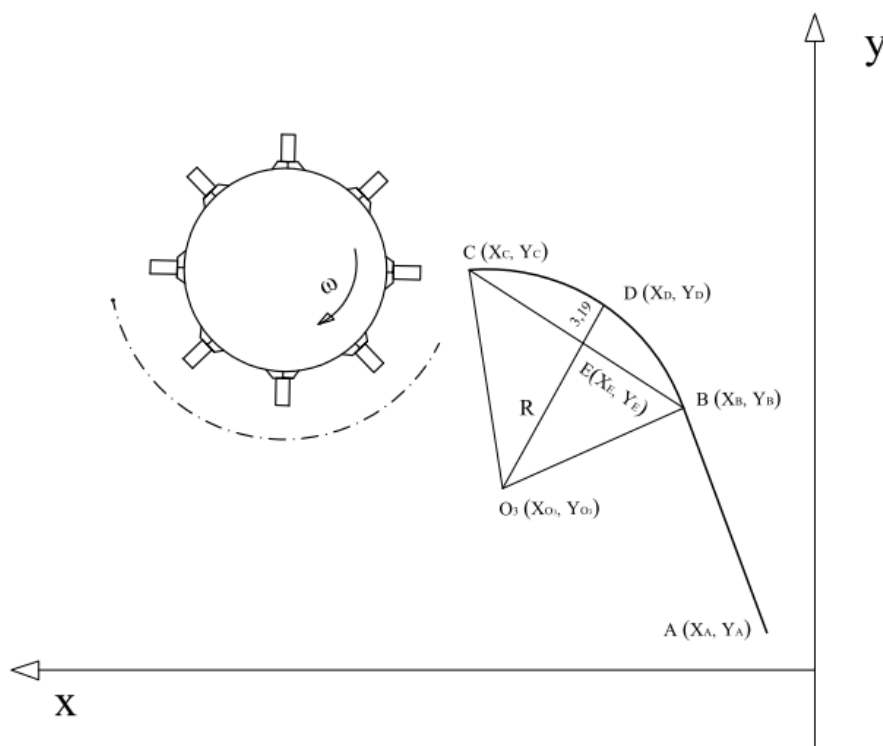


Рисунок 3 – Координаты расположения направляющей для хлопка в секции пильчатого барабана
Figure 3 – Coordinates of the cotton guide in the saw-toothed cylinder section

Результаты (Results)

В результате проведенного ряда экспериментов были определены форма, размеры и координаты расположения направляющей для хлопка-сырца, которые приведены на рис. 3.

Полученные значения были следующими:

$$\begin{array}{ll} X_A = 3 \text{ sm} & Y_A = 18 \text{ sm} \\ X_B = 9 \text{ sm} & Y_B = 30,7 \text{ sm} \\ X_D = 15 \text{ sm} & Y_D = 39,5 \text{ sm} \\ X_C = 22 \text{ sm} & Y_C = 42 \text{ sm} \\ X_{O_3} = 21,6 \text{ sm} & Y_{O_3} = 28,3 \text{ sm} \end{array}$$

Направление выбрасывания хлопка отделительным барабаном и направление его движения были определены экспериментально. Для этого были установлены расстояние между осями пильчатого и отделительного барабанов, а также угол наклона α линии, соединяющей центры осей O_1 и O_2 (рис. 4).

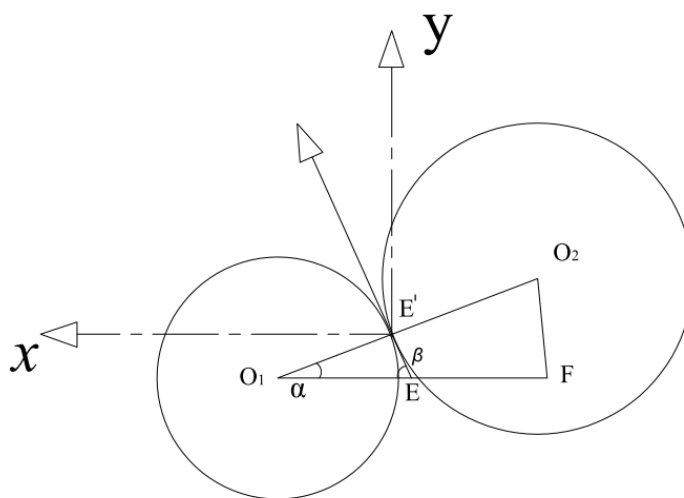


Рисунок 4 – Направление движения хлопка
Figure 4 – Direction of cotton movement

$$\sin \alpha = \frac{O_2 \cdot F}{O_1 \cdot O_2} = \frac{17}{34} = 0,5 \text{ то есть } \alpha = 30^\circ$$

Хлопковая летучка, отделившись от пильчатого барабана, движется в направлении, перпендикулярном прямой O_1O_2 . Следовательно, уравнение прямой, проходящей через начало координат, представляет собой уравнение траектории движения хлопковой летучки.

$$y = \tan \beta \cdot x + b \quad (1)$$

O_1 , E' , E из треугольника $\beta=60^\circ$, тогда

$$y = 1,74 \cdot x, \quad b = 0 \quad (2)$$

Направление начального участка направляющей параллельно прямой, заданной уравнением (5), проходит через точку **A(3;18)**.

Тогда уравнение прямой, проходящей через заданную точку:

$$y - y_1 = \tan \beta \cdot x - x_1$$

при этом

$$y - 18 = 1,74 \cdot x - 3$$

$$y = 1,74 \cdot x + 15 \quad (3)$$

Определим уравнение криволинейного участка направляющей. Для этого составим систему уравнений:

$$y_1 = a \cdot x_1^2 + b \cdot x_1 + c$$

$$\begin{aligned} y_2 &= a \cdot x_2^2 + b \cdot x_2 + c \\ y_3 &= a \cdot x_3^2 + b \cdot x_3 + c \end{aligned} \quad (4)$$

Подставим значения координат точек **В, D и С**:

$$\begin{aligned} 30.7 &= a \cdot 9^2 + b \cdot 9 + c \\ 39.5 &= a \cdot 15^2 + b \cdot 15 + c \\ 42 &= a \cdot 22^2 + b \cdot 22 + c \end{aligned} \quad (5)$$

Решая данную систему уравнений методом Крамера, получаем следующее уравнение:

$$y = -0,0085 \cdot x^2 + 3,51 \cdot x + 6 \quad (6)$$

Для изготовления направляющей необходимо определить радиус кривизны ее криволинейного участка. Для этого выполнены следующие расчеты.

1. Запишем уравнение прямой, проходящей через точки **В и С**:

$$\frac{X-X_B}{X_C-X_B} = \frac{Y-Y_B}{Y_C-Y_B} \quad (7)$$

из этого

$$\frac{X-9}{22-9} = \frac{Y-30,7}{42-30,7}$$

из этого

$$y = 0,87 \cdot x + 22,89 \quad (8)$$

2. Определены координаты точки **Е**, делящей отрезок **BC** пополам.

$$X_E = \frac{X_B + X_C}{2} = \frac{9 + 22}{2} = 15,5 \text{ m} \quad Y_E = \frac{Y_B + Y_C}{2} = \frac{30,7 + 42}{2} = 36,35 \text{ m}$$

3. Запишем уравнение прямой, проходящей через точку **Е** и перпендикулярной прямой **BC**:

$$y = -\frac{1}{K_E} \cdot x + b \quad (9)$$

при этом: $-\frac{1}{K_E}$ - условие перпендикулярности, K_E - угловой коэффициент прямой АВ, проходящей через точку, $K_E = 0,87$.

из уравнения (9)

$$\begin{aligned} b &= y_E + \frac{1}{K_E} \cdot x_E = 36,35 + 1,55 = 37,9 \text{ m} \\ y &= -1,15 \cdot x + 37,9 \end{aligned} \quad (10)$$

Радиус кривизны криволинейного участка направляющей лежит на прямой, выраженной уравнением (10).

4. Определим расстояние DE.

$$d_{DE} = \sqrt{(X_D - X_E)^2 + (Y_D - Y_E)^2} = \sqrt{(15 - 15,5)^2 + (39,5 - 36,35)^2} = 3,2 \text{ m}$$

5. Из треугольника **OCE** (рис. 4):

$$O_3 \cdot C^2 = C \cdot E^2 + O_3 \cdot E^2$$

отсюда:

$$R^2 = 8,6^2 + (R - 3,2)^2$$

получаем:

$$R^2 = 73,96 + R^2 - 6,4 \cdot R + 10,24$$

и далее:

$$R = \frac{84,14}{6,4} = 13,15 \text{ m}$$

Полученные результаты были использованы при изготовлении направляющей для хлопка.

Аналогичным образом для передачи хлопка-сырца от колково-планчатого барабана к пильчатому барабану вместо щеточного направляющего барабана была установлена направляющая (рис. 5).

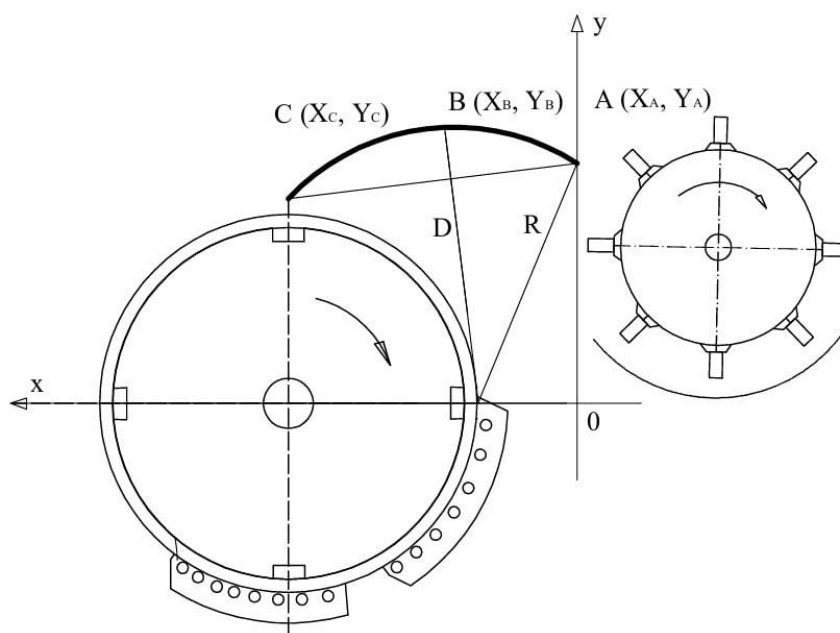


Рисунок 5 – Схема подачи хлопка к пильчатому барабану
Figure 5 – Diagram of cotton feeding to the saw cylinder

Для обеспечения непрерывного движения хлопка по направляющей без остановок необходимо определить координаты ее установки и радиус кривизны.

Для предотвращения столкновения хлопковой летучки, падающей на поверхность пильчатого барабана, со следующей летучкой (при столкновении может возникнуть забивание) необходимо, чтобы летучка попадала с правой стороны относительно вертикальной оси барабана.

В результате экспериментального исследования выбрасывания хлопковой летучки колково-планчатым барабаном под углом 45° установлено, что часть летучек отклоняется до 15° и выбрасывается под углом 60° .

С учетом установленных закономерностей две крайние точки направляющей были определены таким образом, чтобы расстояние от поверхностей колкового и пильчатого барабанов составляло 5–6 см. Координаты составили **A(0;16,8)** и **C(32;11,2)** (рис. 5). Данные координаты были определены путем измерения взаимного расположения колкового и пильчатого барабанов в существующем очистительном агрегате УХК.

Для определения радиуса кривизны направляющей и координат его центра, необходимых для изготовления направляющей и ее установки в очистителе, рассмотрим уравнение прямой **АС**, проходящей через точки **A** и **C**:

$$\frac{x-x_A}{x_C-x_A} = \frac{y-y_A}{y_C-y_A} \quad (11)$$

отсюда:

$$\frac{x-0}{32-0} = \frac{y-16,8}{11,2-16,8}$$

уравнение прямой AS

$$y = 0,17 \cdot x + 16,8 \quad (12)$$

расстояние между точками A и S

$$d = \sqrt{(32-0)^2 + (11,2-16,8)^2} = 38,8 \text{ см}$$

координаты точки D

$$x_D = \frac{x_C + x_A}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ см}$$

$$Y_D = \frac{Y_C + Y_A}{2} = \frac{11,2 + 16,8}{2} = 14 \text{ см}$$

уравнение перпендикулярной прямой, проходящей через точку D

$$y - y_D = \frac{1}{0,17} (x - x_D) \quad (13)$$

отсюда:

$$y - 14 = \frac{1}{0,17} (x - 16)$$

и далее:

Уравнение линии, проходящей через точку D перпендикулярно прямой AC:

$$y = 5,88 \cdot x + 108,12 \quad (14)$$

На данной линии располагается радиус кривизны криволинейного участка AS.

Направляющие были изготовлены с тремя различными радиусами кривизны: **R = 20; 25; 30 см**, при этом длина прямого участка AS, то есть расстояние между точками A и S, сохранялась одинаковой и составляла **32,8 см**. При этом расстояние BD соответственно при **R = 20; 25; 30 см** составляло **8; 6; 5 см**.

Три изготовленных варианта направляющей были подвергнуты экспериментальным испытаниям.

Наиболее стабильная и непрерывная подача хлопка была обеспечена направляющей с радиусом кривизны **30 см**.

На рис. 6 представлены фрагменты процесса работы направляющей.

При подаче хлопка в очиститель с производительностью до **9 т/ч** оборудование работало стабильно, без забиваний.

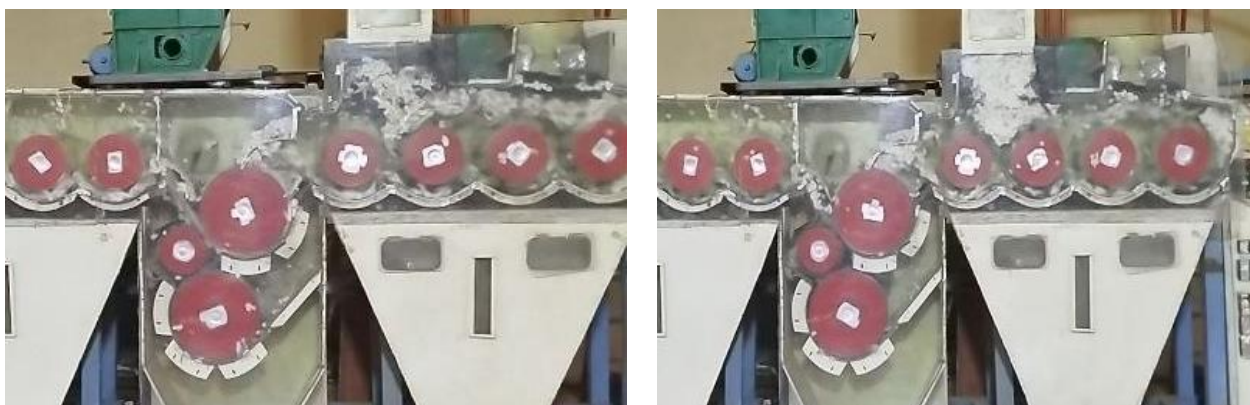


Рисунок 6 – Подача хлопка от колково-планчатого барабана к пильчатому барабану с помощью направляющей
Figure 6 – Cotton transfer from the pinned-slat cylinder to the saw cylinder via a guide

Обсуждение (Discussion)

Как следует из анализа работы универсального хлопкоочистительного агрегата, установленные некоторые органы очистителя являются ненужными. На основе длительного анализа работы агрегата УХК на хлопкоперерабатывающих предприятиях ученые ТИТЛП Узбекистана, Технологического университета Таджикистана и Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими выявили, что отсутствие направляющего элемента характеризует неправильное движение летучек хлопка-сырца по определенной траектории. С учетом ранее предложенных теорий и исходя из реального условия работы агрегата, низкий процент очистительного эффекта, повторного загрязнения материала нами исследованы и найдены координаты направляющего элемента падающего хлопка-сырца к колковым барабанам. Направляющие элементы были изготовлены из тонкой листовой стали с тремя различными радиусами кривизны: **R = 20; 25; 30 см**, при этом длина прямого участка AS, то есть расстояние между точками A и S, сохранялась одинаковой и составляла **32,8 см**. При этом расстояние BD соответственно при **R = 20; 25; 30 см** составляло **8; 6; 5 см**.

В результате все изготовленные варианты направляющего элемента были подвергнуты экспериментальным испытаниям. Результаты экспериментов показывают, что наиболее стабильная и непрерывная подача хлопка-сырца была обеспечена направляющей с радиусом кривизны **30 см**. При

подаче материала в очиститель с производительностью до 9 т/ч оборудование работало стабильно, без забиваний и с нормальной очистительной эффективностью.

Заклучение (Conclusions)

В ходе проведенных экспериментов установлено, что часть хлопковых летучек, не полностью поступающая в следующую секцию, возвращается назад по поверхности пыльчатого барабана. Для устранения данного негативного явления разработаны и предложены направляющие элементы с выпуклой рабочей поверхностью.

На основе направления движения хлопка, межосевого расстояния между барабанами и углов траектории полета определены координаты расположения направляющих, их криволинейные профили и радиусы кривизны.

Для первой направляющей составлено уравнение параболы и определен ее радиус кривизны. Вторая направляющая была изготовлена и испытана с различными радиусами кривизны $R = 20, 25, 30$ см. Наиболее оптимальная непрерывная подача хлопка наблюдалась при использовании направляющей с радиусом кривизны $R = 30$ см.

Предложенные направляющие с выпуклой рабочей поверхностью обеспечили правильное направление потока хлопка на сетчатую поверхность, повысили непрерывность и стабильность потока. В результате производительность очистителя была доведена до 9 т/ч, а его стабильная и надежная работа без забиваний при повышенных нагрузках была подтверждена экспериментально.

Рецензент: Гулмуродзода Х.Т. – д.т.н., доцент кафедры технологии текстильных изделий Технологического университета Таджикистана.

Литература

1. Paxtani dastlabki ishlashning muvofiqlashtirilgan texnologiyasi (PDI-72-2017). – Toshkent.
2. Parpiev, A.P. Analysis of the Interaction Between the SPIKED-SLAT Drum, Cotton and the Screen Surface / A.P. Parpiev, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, K.E. Shernazarov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2026. – Vol. 13, Issue 7. – July. – ISSN: 2350-0328.
3. Мардонов, И.Б. Исследование движения хлопкового потока в агрегате УХК / И.Б. Мардонов, А.П. Парпиев, Х.А. Гатаев, Х.С. Усманов, Н.А. Хусанова // Universum: технические науки. – 2025. – № 6 (135).
4. Parpiyev, A.P. UXK paxta tozalash uskunasi ajralib chiqqan chiqindining tuzilma tarkibi tahlili / A.P. Parpiyev, I.B. Mardonov, B.T. Bozorov, I.R. Shamsiyev // O'zbekiston to'qimachilik jurnali. – 2024. – № 4. – B. 4–9.
5. Parpiyev, A.P. A Comprehensive Study of the Operation of Equipment for Cleaning Raw Cotton at Cotton Mills in Uzbekistan / A.P. Parpiyev, N.A. Navruzov, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, F.S. Sadikov // American Journal of Research. – 2025. – No. 7–8. – July–August. – Available at: <https://www.journalofresearch.us>.
6. Parpiyev, A.P. O'zbekiston paxta zavodlarida paxta xom ashyosini tozalovchi uskunalar ish faoliyatini kompleks tadqiq qilish / A.P. Parpiyev, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, F.S. Sadikov, O.Q. Hamidov // JizPI xabarnomasi. – 2025. – № 3.
7. Агзамов, М. Повышение эффективности очистителей хлопка-сырца машинной сборки в пыльчатых очистителях: дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1981. – 156 с.
8. Хакимов, Ш.Ш. О разработке и внедрении сжимающих планчатых барабанов в секциях и очистителях хлопка-сырца / Ш.Ш. Хакимов // Universum: технические науки. – 2015. – № 11 (22). – С. 45–48.
9. Бозоров, Б.Т. Влияние количества установленных барабанов на качество волокна в процессе очистки хлопка / Б.Т. Бозоров, А. Парпиев, И.К. Собиров // Universum: технические науки. – 2021. – Ч. 2. – С. 5–9.
10. Parpiyev, A. Analysis of Cleaning Efficiency of Available Cotton Cleaners / A. Parpiyev, B.N. Kuziyev, A.O. Raxmonov // International Journal of Advanced Research in Education Technology and Management. – 2023. – Vol. 2, Issue 6. – P. 2020–2176. – ISSN: 2349-0012.
11. Шорпахмедова, М.Д. Paxtani mayda iflosliklardan tozalagichlarning ishchi elementlarini takomillashtirish asosida tozalash samaradorligini oshirish: дис. ... PhD. – Toshkent, 2022. – 151 b.
12. Иброгимов, Х.И. Теоретическое исследование параметров движения частиц хлопка-сырца по поверхности колков на хлопкоочистительных машинах для очистки от мелкого сора / Х.И. Иброгимов, С.М. Абдуллоев // Вестник Технологического университета Таджикистана. – Душанбе, 2022. – № 3 (50). – С. 15–22. – ISSN: 2707-8000.

Reference

1. Coordinated Technology for Primary Cotton Processing (PDI-72-2017). – Tashkent. [in Uzbek].
2. Parpiev, A.P. Analysis of the Interaction Between the SPIKED-SLAT Drum, Cotton and the Screen Surface / A.P. Parpiev, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, K.E. Shernazarov // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2026. – Vol. 13, Issue 7. – July. – ISSN: 2350-0328.
3. Mardonov, I.B. Investigation of Cotton Flow Movement in the UHK Unit / I.B. Mardonov, A.P. Parpiev, Kh.A. Gataev, Kh.S. Usmanov, N.A. Khusanova // Universum: Technical Sciences. – 2025. – No. 6 (135). [in Russian].
4. Parpiyev, A.P. Analysis of the Structural Composition of Waste Separated in the UXK Cotton-Cleaning Machine / A.P. Parpiyev, I.B. Mardonov, B.T. Bozorov, I.R. Shamsiyev // O'zbekiston to'qimachilik jurnali. – 2024. – No. 4. – P. 4–9. [in Uzbek].

5. Parpiyev, A.P. A Comprehensive Study of the Operation of Equipment for Cleaning Raw Cotton at Cotton Mills in Uzbekistan / A.P. Parpiyev, N.A. Navruzov, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, F.S. Sadikov // American Journal of Research. – 2025. – No. 7–8. – July–August. – Available at: <https://www.journalofresearch.us>.
6. Parpiyev, A.P. Comprehensive Study of the Performance of Raw Cotton Cleaning Equipment at Cotton Ginning Plants in Uzbekistan / A.P. Parpiyev, I.B. Mardonov, J.Sh. Mardonov, F.S. Sadikov, O.Q. Hamidov // JizPI Bulletin. – 2025. – No. 3. [in Uzbek].
7. Agzamov, M. Improving the Efficiency of Machine-Harvested Raw Cotton Cleaners in Saw-Type Cleaners: PhD Dissertation in Engineering. – Tashkent, 1981. – 156 p. [in Russian].
8. Khakimov, Sh.Sh. On the Development and Implementation of Compression Bar Drums in Sections and Raw Cotton Cleaners / Sh.Sh. Khakimov // Universum: Technical Sciences. – 2015. – No. 11 (22). – P. 45–48. [in Russian].
9. Bozorov, B.T. Influence of the Number of Installed Drums on Fiber Quality during Cotton Cleaning / B.T. Bozorov, A. Parpiyev, I.K. Sobirov // Universum: Technical Sciences. – 2021. – Part 2. – P. 5–9. [in Russian].
10. Parpiyev, A. Analysis of Cleaning Efficiency of Available Cotton Cleaners / A. Parpiyev, B.N. Kuzyayev, A.O. Raxmonov // International Journal of Advanced Research in Education Technology and Management. – 2023. – Vol. 2, Issue 6. – P. 2020–2176. – ISSN: 2349-0012.
11. Shorakhmedova, M.D. Improving Cleaning Efficiency by Enhancing the Working Elements of Fine-Impurity Cotton Cleaners: PhD Dissertation. – Tashkent, 2022. – 151 p. [in Uzbek].
12. Ibrohimov, Kh.I. Theoretical Investigation of the Motion Parameters of Raw Cotton Particles along the Surface of Spikes in Cotton-Cleaning Machines for Fine Trash Removal / Kh.I. Ibrohimov, S.M. Abdulloev // Bulletin of the Technological University of Tajikistan. – Dushanbe, 2022. – No. 3 (50). – P. 15–22. – ISSN: 2707-8000. [in Russian].

Сведения об авторах:

Парпиев Азимджон Парпиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии натуральных волокон и обработки тканей Джизакского политехнического института, Республика Узбекистан, г. Джизах. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6891-820X>.

Мардонов Ихтиёржон Баходир ўгли, докторант PhD кафедры первичной обработки волокнистых материалов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности Республики Узбекистан, г. Ташкент. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3480-8528>. E-mail: ixtiyorjon.mardnov1@gmail.com

Иброхимзода Холназар Ислом (Иброхимов Холназар Исломович), доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии текстильных изделий Технологического университета Таджикистана. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4490-7162>. E-mail: kholms78@internet.ru

Сафаров Фузайл Метинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования текстильной промышленности Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими.

E-mail: fmsafarov@mail.ru

Маълумот дар бораи муаллифон:

Парпиев Азимҷон Парпиевич, доктори илмҳои техникаӣ, профессор, профессори кафедраи технологияи нахҳои табиӣ ва коркарди матоъ, Донишқадаи политехникии Ҷиззах, ш. Ҷиззах, Ҷумҳурии Ўзбекистон. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6891-820X>.

Мардонов Ихтиёрҷон Баходир угли, докторанти PhD -и кафедраи коркарди аввалияи маводҳои нахдори Донишқадаи нассочӣ ва саноати сабуки Тошканд, ш. Тошканд, Ҷумҳурии Ўзбекистон. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3480-8528>. E-mail: ixtiyorjon.mardnov1@gmail.com

Иброҳимзода Холназар Ислом (Иброҳимов Холназар Исломович), доктори илмҳои техникаӣ, профессор, профессори кафедраи технологияи маснуоти нассочии Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4490-7162>. E-mail: kholms78@internet.ru

Сафаров Фузайл Метинович, номзоди илмҳои техникаӣ, дотсент, дотсенти кафедраи технология ва таҷҳизоти саноати нассочии Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.

E-mail: fmsafarov@mail.ru

Information about the authors:

Parpiev Azimjon Parpievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Natural Fiber Technology and Fabric Processing, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6891-820X>.

Mardonov Ikhtiyorjon Bahodir ugli, PhD candidate at the Department of Primary Processing of Fibrous Materials, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3480-8528>. E-mail: ixtiyorjon.mardnov1@gmail.com

Ibrohimzoda Kholnazar Islom (Ibrohimov Kholnazar Islomovich), Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Textile Product Technology, Technological University of Tajikistan. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4490-7162>. Email: kholms78@internet.ru

Safarov Fuzayl Metinovich, candidate of technical sciences, associate professor, department of technology and production equipment, Tajik technical university named after academician M.S. Osimi.

PRODUCTION TESTS OF AN IMPROVED SAW SPACER OF A LINTER MACHINE**A.B. Kurbanov, O.SH. Abdurakhmonov**

Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez city, Uzbekistan

The article presents the results of comparative tests of an improved 5LP linter equipped with increased-diameter saw spacers and the existing 5LP linter. The spacers were designed to increase the productivity of the linter and reduce energy consumption during seed linting. The mechanical damage of the seed cottonseed during the linter process, the degree of saturation, and the process of producing high-quality cottonseed products according to the established technical requirements were studied. The article analyzed that the actual productivity of the existing 5LP linter under current production conditions averaged 672 kg/h for cottonseed and 29.56 kg/h for lint, while the improved linter achieved 712 kg/h for cottonseed and 34.17 kg/h for lint. Information is provided on the manufacture of saw spacers with increased outer diameters in three variants for conducting experiments, as well as on the results of testing to determine the quality indicators of lint and linter seeds.

Keywords: lint, experiment, saw spacer, quality, layer, productivity, damaged.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕЖДУПИЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ ЛИНТЕРНОЙ МАШИНЫ**А.Б. Курбанов, О.Ш. Абдурахмонов**

Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, г.Термез, Республика Узбекистан

В статье представлены результаты сравнительных производственных испытаний усовершенствованной линтерной машины 5ЛП, оснащённой пильными прокладками увеличенного диаметра, и существующей линтерной машины 5ЛП. Прокладки разработаны для повышения производительности линтерной машины и снижения энергозатрат при линтеровании семян. Изучены механические повреждения зерна в процессе линообразования, степень насыщения и процесс производства высококачественной хлопчатобумажной продукции в соответствии с установленными техническими требованиями. В статье анализируется, что фактическая производительность существующего линтера 5ЛП в текущих условиях производства составляла в среднем 672 кг/ч для семян хлопчатника и 29,56 кг/ч для линта, в то время как усовершенствованный линтер достигал 712 кг/ч для семян хлопчатника и 34,17 кг/ч для линта. Представлены данные по изготовлению трех вариантов промежуточных прокладок пильного полотна увеличенного внешнего диаметра для проведения экспериментов и результаты испытаний по определению показателей качества пуха и семян, полученных из линтера.

Ключевые слова: линт, опыт, пила, качество, прокладка, производительность, повреждённость.

САНЧИШҲОИ ИСТЕҲСОЛИ ҚАБАТИ ТАКМИЛЁФТАИ БАЙНИАРАҒИ ТИБИТЧУДОКУНАК**А.Б. Курбанов, О.Ш. Абдурахмонов**

Донишгоҳи давлатии муҳандисӣ ва технологияҳои кишоварзии Термиз, Термиз, Ҷумҳурии Ўзбекистон

Дар мақола натиҷаҳои озмоишҳои муқоисавии истеҳсоли мошини линтерии такмилёфтаи 5ЛП, ки бо прокладкаи арраи диаметрашон калоншуда мучаҳҳаз шудааст ва мошини линтерии мавҷудаи 5ЛП пешниҳод шудаанд. Прокладкаи барои баланд бардоштани маҳсулнокии мошини линтерӣ ва кам кардани масрафи энергия хангоми линтеркунии тухмӣ таҳия шудаанд. Осеби механикии донаи тухмӣ хангоми раванди линткунӣ, дараҷаи сершавӣ ва раванди истеҳсоли маҳсулоти пахтаи баландсифат мувофиқи талаботи муқарраршудаи техникии омӯхта шуданд. Дар мақола таҳлил карда шудааст, ки маҳсулнокии воқеии линтери мавҷудаи 5ЛП дар шароити кунунии истеҳсолот ба ҳисоби миёна 672 кг/соат барои чигит ва 29,56 кг/соат барои линт буд, дар ҳоле ки линтери такмилдодашуда ба 712 кг/соат барои чигит ва 34,17 кг/соат барои линт мерасид. Маълумот дар бораи омода кардани се варианти прокладкаи миёнаи арра бо диаметрҳои берунии калон барои гузаронидани таҷрибаҳо ва натиҷаҳои санчиш барои муайян кардани нишондиҳандаҳои сифатии пашм ва тухмҳои аз линтерҳо гирифташуда оварда шудаанд.

Калидвожаҳо: тибит, таҷриба, арра, сифат, қабат, ҳосилнокӣ, зарардида.

Introduction

In the 5LP linters, which are currently widely used in the linting shops of cotton ginning enterprises, increasing the cross-section of the working chamber allowed to increase the linter's productivity by only 5-8%. However, increasing the volume of the chamber did not accelerate the timely exit of linted grains from the working chamber. As a result, the mass and density of the grain roller in the chamber increased. This, in turn, led to an increase in the load from the grain roller to the saw cylinder [1]. To overcome the overload, give the grain roller the required speed and ensure the linting process without jamming, an 18.5 kW electric motor was installed on the saw cylinder.

Researcher E.K. Nuraliev [2], as a result of theoretical research, offers a KL-7 working chamber for the linter with an increased volume. The chamber uses a mixer with an outer diameter of 240 mm. At the end of the research work, it was found that the proposed working chamber, due to the good mixing of the mixer with the grain roller used in it, had a positive effect on the productivity of the linter in terms of grain and lint. There have been attempts to improve the linter equipment by the "Cotton Industry Scientific Center" [3, 4]. However, the main problem is that the results that would significantly increase the productivity of the linter have not been achieved.

The purpose of our research is to increase the productivity of the linter and reduce the energy consumption spent on the linter process, which is to increase it by increasing the diameter of the saw cylinder spacer in the working chamber, thereby increasing the linter productivity.

The following are expected as a result of the implementation of the proposed working hypothesis: Accurate fastening of the saw shaft to the linter and the saw blades in it relative to the shaft, as well as alignment of each grid section along the saw gap, is ensured, due to which the deviation of one saw from the nominal position in the grid slot is expected to be much less than in the current 5LP linter. In addition, the deformation of the saws compressed by the intermediate gaskets of large-diameter saws can be completely eliminated, and as a result, the need to straighten the saws by hitting them with a hammer before assembling them on the shaft can be eliminated. The thickness of the sawdust layer in the working chamber of the developed improved linter can be reduced by an average of 1.4-1.5 times compared to the current 5LP linter. Due to this factor, as well as the fact that the large-diameter saw spacers in the rotating saw drum at the bottom of the chamber support the grain layer, the absolute and relative velocity of the grain layers increases, their better mixing in the chamber, and mass exchange accelerates, and the productivity of the developed linter is expected to increase by 1.3-1.4 times compared to the current 5LP linter.

Materials and methods

As a result of the analytical analysis, a working hypothesis was developed that replacing the saw spacers in the saw cylinder of the current 5LP linter with increased-diameter saw spacers (the width of the gaskets remains unchanged) can positively affect the processes in the linter's working chamber, reduce the grain density in the working chamber, and increase productivity due to better mixing [5, 6].

Calculations and measurements have shown that up to 85% of the energy consumption of the electric motor rotating the saw cylinder in the current 5LP linter is spent on the friction of the saw cylinder against the grain layer and up to 15% on the friction of the saw cylinder against the grate bars. In the improved linter under development, the penetration of the saw cylinder into the grain layer can be significantly reduced, in the current 5LP linter the penetration of the saw cylinder into the grain layer is 28 mm, therefore, all other conditions being equal, it is expected that the energy consumption for the friction of the side surfaces of the saws in the improved linter will be significantly reduced, i.e. by 10-15%.

Results

To determine the quality indicators of the seeds during processing according to the existing methodology, primary seeds, separated seeds, and lint samples were selected [1]. During the testing period, the productivity of the linter was determined by the mass of the lint and seeds produced during continuous operation. The productivity values presented in this study were determined experimentally under actual production conditions and do not represent the nominal passport productivity of the 5LP linter. The tests were carried out under the current technological scheme, in which linting is performed in the first removal. For comparison, the existing 5LP linter and the improved linter were tested under the same production conditions using the same type and grade of cottonseed. The productivity was determined from the mass of cottonseed processed and the mass of lint obtained during continuous operation. Thus, the obtained values characterize the actual operating productivity of the linter under the specified production conditions. In this case, the initial seeds, separated seeds, and lint masses were recorded. The results of the laboratory analysis of the primary seeds are presented in Table 1.

Table 1 – Results of laboratory analyses of the quality indicators of primary seeds

Seeds		Quality indicators of seeds, %			
Variety		hairiness	damagedness	pollution	humidity
Breeding	Industry				
Sultan	I	10.8	3.8	3.2	8.6

To study the performance and quality indicators of the proposed improved linter machine, comparative tests were conducted on ginned cotton seeds of industrial grade Sultan I from the existing 5LP linter in the wool seed preparation workshop of the cotton ginning enterprise in the Jarkurgan district of the Surkhandarya region (Fig. 1). Before conducting the tests, the technological parameters were adjusted in accordance with the technical specifications of the machines. During the work, the influence of the linter on the quality indicators of the manufactured products and the machine's productivity was studied.



Figure 1 – The process of conducting production research on an improved saw drum linter

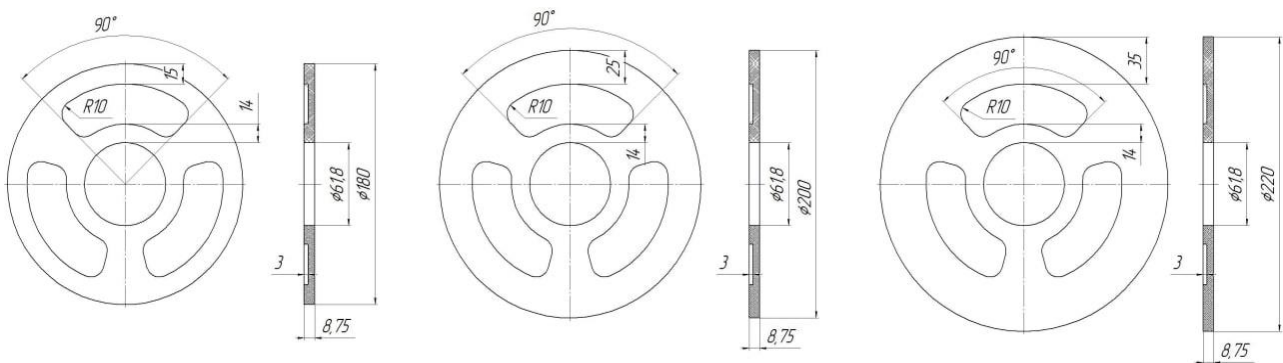


Figure 2 – Schematic drawing of the experimental saw spacers planned to be manufactured to improve the saw cylinder of the 5LP linter





Figure 3 – Scenes from the process of assembling the prepared saw spacers into the saw cylinder

Table 2 – Results of comparative studies of the experimental linter under production conditions at the cotton ginning plant with the existing 5LP linter

Indicators	Unit of measurement	Comparable cars	
		Existing 5LP linter	Improved linter
Seeds after ginning:			
- hairiness	%	10.8	10.8
- injury	%	3.8	3.8
Seeds after lint separation:			
- hairiness	%	7.81	6.9
- injury	%	4.46	4.3
Lint:			
- mass fraction of impurities and whole seeds in the lint;	%	6.44	5.94
- staple length	mm	6/7	6/7
- variety		I	I
- type		B	B
- class		"Dirty"	"Medium"
Productivity of the linter:			
- regarding seeds	kg/hour	672	712
- about lint		29.56	34.17

As shown in Table 2, the hairiness of the seeds obtained from the existing 5LP linter is lower than that of the experimental linter, averaging 7.81%, which, according to the current standard, is higher than the standard for grade I. Mechanical damage to the seeds was 4.46%. The mass fraction of impurities and whole seeds in the lint obtained from the 5LP linter averaged 6.44%, the staple length was 6-7 mm [2, 3], and according to the quality index, it corresponds to Class I type B of Class "Filt" according to the O'zDst 645:2016 state standard [1]. Under the current production conditions, the experimentally determined actual productivity of the existing 5LP linter averaged 672 kg/h for cottonseed and 29.56 kg/h for lint.

Discussions

In the improved linter, which is equipped with a saw cylinder with an increased diameter of the saw spacer, the hairiness of the separated seeds obtained from grade I ginned seeds averages 6.9%, which corresponds to the requirements of O'zDst 596:2016 "Technical seeds. According to the requirements of the state standard, grade I corresponds to class 1. The mechanical damage of the separated seeds was 4.3%,

which is 0.16 percentage points lower, corresponding to a relative reduction of 3.58%, compared with the existing 5LP linting machine. The mass fraction of impurities and whole seeds in the lint averaged 5.94%, which was less than the mass fraction of impurities and whole seeds obtained from the 5LP linter by 7.76% (abs.).

Under the same production conditions, the improved linter demonstrated an actual productivity of 712 kg/h for cottonseed and 34.17 kg/h for lint, which is 40 kg/h higher for seeds and 4.61 kg/h higher for lint compared with the existing 5LP linter.

The reduction in the penetration of the saw cylinder into the seed layer is also important for the operating conditions of the machine. In the existing 5LP linter, the saw cylinder penetrates approximately 28 mm into the seed layer, which increases the frictional interaction between the saw surfaces and seeds. The use of increased-diameter saw spacers changes the geometry of the seed layer in the working chamber and creates conditions for its less dense arrangement and more intensive movement. As a result, the saw cylinder can interact with the seed flow more effectively, which helps explain the higher lint productivity observed during the production tests.

The observed improvement in the performance of the experimental linter can be explained by the change in the working conditions of the saw cylinder caused by the increased-diameter saw spacers. According to the working hypothesis, the larger-diameter spacers reduce the density of the seed layer in the working chamber and improve the mixing and mass exchange of the seed flow. Experimental results showed that increasing the saw-spacer diameter from 160 mm to 220 mm reduced the volumetric density of the seed layer from 314 kg/m³ to 284 kg/m³, while its linear velocity increased from 1.13 m/s to 1.48 m/s. This change in the seed-layer characteristics created conditions for more intensive mixing and mass exchange in the working chamber, thereby contributing to the increased productivity of the improved linter. The reduced penetration of the saw cylinder into the seed layer also decreases the frictional interaction between the saw cylinder and the seed layer. This is particularly important because calculations and measurements showed that up to 85% of the energy consumption of the saw-cylinder drive in the existing 5LP linter is associated with friction against the seed layer. Therefore, the observed increase in productivity and the improvement in the quality indicators of the separated seeds and lint are consistent with the previously established theoretical and experimental relationships for the effect of saw-spacer diameter on the working process.

Thus, the results of the industrial research work on an improved linter with a saw cylinder with a saw spacer with increased diameters showed the reliability of the justified parameters obtained from theoretical and experimental studies presented in the previous chapters of this scientific work.

Reviewer: M.V. Izatov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Technology and Equipment of Textile Industry", Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi.

References

1. O'zDst 645:2016. Lint. Technical Specifications. – Tashkent, 2016.
2. O'zDst 660:2016. Lint. Methods for Determining Length. – Tashkent, 2016.
3. O'zDst 662:2016. Lint. Methods for Determining the Mass Fraction of Impurities and Whole Seeds. – Tashkent, 2016.
4. Abdurakhmonov, O.Sh. Substantiation of the Scientific Research Direction for the Improvement of the 5LP Linter / O.Sh. Abdurakhmonov, A.B. Kurbanov // Scientific and Technical Journal (STJ FerSTU, FarDTU ITJ, NTJ FerGTU). – 2025. – Vol. 29, No. 5.
5. Kurbanov, A.B. Ways to Improve the Performance of the 5LP Linter / A.B. Kurbanov, O.Sh. Abdurakhmonov, N.K. Safarov // Current Issues of Increasing the Competitiveness of Uzbekistan's Light Industry: Innovative Solutions and Digital Integration: Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference, Namangan, October 23–24, 2025.
6. Abdurakhmonov, O.Sh. Results of Preliminary Experiments Conducted on the Laboratory Stand of the UCHDM Machine / O.Sh. Abdurakhmonov, D.I. Artikova, A.B. Kurbanov // Current Issues of Increasing the Competitiveness of Uzbekistan's Light Industry: Innovative Solutions and Digital Integration: Proceedings of the Republican Scientific and Practical Conference, Namangan, October 23–24, 2025.
7. Nazirov, R.R. Preparation of Experimental Saw Intermediate Insets for the 5LP Linter and Methodological Procedures for Conducting Experiments / R.R. Nazirov, O.Sh. Abdurakhmonov, A.B. Kurbanov // Development of Science and Technology. – 2026. – No. 2.
8. Sulaymonov, R.Sh. Finding Ways to Improve the Efficiency of the Seed Lintering Process / R.Sh. Sulaymonov, B.Ya. Kushakeev, D.U. Madrakhimov. – Research report. – Tashkent: OJSC Paxtasanoat Ilmiy Markazi, 2011. – 65 p.
9. Kamalov, N.Z. Studying the Compatibility of Imported Equipment with Domestic Linters / N.Z. Kamalov, R.Sh. Sulaymonov. – Research report. – Tashkent: OJSC Paxtasanoat Ilmiy Markazi, 2011. – 86 p.
10. Sulaymonov, R.Sh. Studying Foreign-Made Technologies and Equipment for Raw Cotton Ginning, Seed Lintering, Fiber and Linter Cleaning Used at Domestic Ginneries, with Recommendations / R.Sh. Sulaymonov, U.K. Karimov, B.Kh. Marufkhanov. – Research report. – Tashkent: JSC Paxtasanoat Ilmiy Markazi, 2016. – 28 p.

Information about the authors:

Kurbanov A.B., (Eng.), Independent researcher, Department of Light Industry and Food Technologies, Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez city, Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6893-4198>. Email: qanvar94@mail.ru

Abdurakhmonov O.Sh., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Light Industry and Food Technologies, Termez State University of Engineering and Agrotechnologies, Termez city, Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-5923>. Email: olim9201@mail.ru

Сведения об авторах:

Курбонов Анвар Баходир угли, Независимый исследователь, кафедра легкой промышленности и пищевых технологий, Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, г.Термез, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6893-4198>. Email: qanvar94@mail.ru

Абдурахмонов Олим Шойкулович, кандидат технических наук, доцент, кафедра легкой промышленности и пищевых технологий, Термезский государственный университет инженерии и агротехнологий, г.Термез, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-5923>. Email: olim9201@mail.ru

Маълумот оид ба муаллифон:

Курбонов Анвар Баходир угли, Таҳқиқгари мустақил, кафедраи саноати сабук ва технологияи хӯрокворӣ, Донишгоҳи давлатии муҳандисӣ ва технологияи кишоварзии Термиз, Термиз, Ҷумҳурии Ўзбекистон. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6893-4198>. Email: qanvar94@mail.ru

Абдурахмонов Олим Шойкулович, Номзади илмҳои техники, дотсент, кафедраи саноати сабук ва технологияи хӯрокворӣ, Донишгоҳи давлатии муҳандисӣ ва технологияи кишоварзии Термиз, Термиз, Ҷумҳурии Ўзбекистон. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-5923>. Email: olim9201@mail.ru

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**¹Н. Васиредди, ¹Р.О. Азизов, ²Дж.Ш. Рахматов**¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан²Центр инновационного развития науки и цифровых технологий НАНТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В данной статье систематизирована роль искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT), блокчейн-технологий, цифровых двойников и систем дистанционного зондирования Земли в области экологического мониторинга и энергетического перехода. Проведён комплексный анализ современных цифровых решений, применяемых для отслеживания состояния окружающей среды, управления возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и оптимизации энергетической инфраструктуры в условиях растущей климатической нестабильности. Показано, что внедрение цифровых технологий обеспечивает прогнозирование выработки ВИЭ с точностью 90–95%, позволяет сократить простой оборудования на 20%, снизить время диагностики неисправностей на 87,5%, уменьшить эксплуатационные затраты на 11% и повысить точность углеродной отчётности на 25%, что в совокупности повышает эффективность управленческих решений. Наряду с положительным эффектом выявлены существенные барьеры, сдерживающие масштабное внедрение таких решений: экологические издержки, связанные с производством, эксплуатацией и утилизацией оборудования; растущие киберриски, обусловленные усложнением цифровой инфраструктуры; высокие первоначальные инвестиции; а также цифровое неравенство между регионами и странами, ограничивающее равный доступ к технологиям. На основе проведённого анализа обоснована необходимость формирования устойчивой синергии между цифровыми технологиями и принципами экологической ответственности как ключевого условия для достижения глобальных климатических целей устойчивого развития к 2030 году.

Ключевые слова: цифровые технологии, искусственный интеллект, интернет вещей, блокчейн, цифровые двойники, возобновляемая энергетика, экологический мониторинг.

ТЕХНОЛОГИЯҶОИ РАҚАМӢ ДАР ЭКОЛОГИЯ ВА ЭНЕРГЕТИКАИ БАҶҚАРОРШАВАНДА**¹Н. Васиредди, ¹Р.О. Азизов, ²Ҷ.Ш. Раҳматов**¹Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон²Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамӣ, АМИТ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақолаи мазкур нақши зехни сунъӣ (ЗС), интернетӣ ашё (IoT), технологияҳои блокчейн, дугоникҳои рақамӣ ва системаҳои муоинаи дурдаст аз Замин дар соҳаи мониторинги экологӣ ва гузариши энергетикӣ низомнок карда шудааст. Таҳлили ҳамаҷонибаи қарорҳои муносири рақамӣ, ки барои назорати ҳолати муҳити зист, идоракунии манбаъҳои бақароршавандаи энергия (МБЭ) ва беҳинасоии инфрасохтори энергетикӣ дар шароити афзоиши ноустувории иқлимӣ истифода мешаванд, гузаронида шудааст. Нишон дода шудааст, ки татбиқи технологияҳои рақамӣ пешгуи истихсоли МБЭ-ро бо дақиқияти 90–95% таъмин намуда, вақти таваққуфи таҷхизотро 20%, вақти ташхиси нуқсонҳоро 87,5% коҳиш медиҳад, хароҷоти истифодабариро 11% паст мекунад ва дақиқии ҳисоботи карбониро 25% баланд мебардорад, ки дар маҷмӯъ самаранокии қарорҳои идоракунии афзоиш медиҳад. Дар баробари таъсири мусбат монеаҳои асосие, ки татбиқи васеи ҷунин қарорҳоро коҳиш медиҳад, ошкор гардидаанд: хароҷоти экологӣ, ки бо истихсол, истифода ва партофтани таҷхизот алоқаманданд; хатарҳои афзоиандаи киберӣ, ки аз мураккабшавии инфрасохтори рақамӣ ба вучуд меоянд; сармоягузориҳои калони аввалия; инчунин нобаробарии рақамӣ байни минтақаҳо ва кишварҳо, ки дастрасии баробарро ба технологияҳо маҳдуд мекунад. Дар асоси таҳлили гузаронидашуда зарурати ташаққули ҳамкориҳои устувор байни технологияҳои рақамӣ ва принсипҳои масъулияти экологӣ ҳамчун шартӣ калидии расидан ба ҳадафҳои рушди устувор то соли 2030 асоснок карда шудааст.

Калидвожаҳо: технологияҳои рақамӣ, зехни сунъӣ, интернетӣ ашё, блокчейн, дугоникҳои рақамӣ, энергетикаи бақардор, мониторинги экологӣ.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN ECOLOGY AND RENEWABLE ENERGY**¹N. Vasireddi, ¹R.O. Azizov, ²J.S. Rakhmatov**¹Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan²Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies, NAST, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article systematizes the role of artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), blockchain technologies, digital twins, and remote sensing systems in environmental monitoring and the energy transition. A comprehensive analysis is conducted of current digital solutions applied to environmental condition tracking, renewable energy source (RES) management, and energy infrastructure optimization under conditions of growing climate instability. It is shown that the implementation of digital technologies ensures RES generation forecasting with an accuracy of 90–95%, reduces equipment downtime by 20%, decreases fault diagnosis time by 87.5%, lowers operating costs by 11%, and improves the accuracy of carbon reporting by 25%, thereby collectively enhancing the effectiveness of managerial decision-making. Alongside these positive effects, significant barriers constraining the large-scale adoption of such solutions have been identified: environmental costs associated with equipment manufacturing, operation, and disposal; growing cyber risks arising from the increasing complexity of digital infrastructure; high initial investment requirements; and digital inequality between regions and countries, which limits equitable access to technology. Based on the analysis conducted, the necessity of forming a sustainable synergy between digital technologies and environmental responsibility principles is substantiated as a key condition for achieving global sustainable development climate goals by 2030.

Keywords: digital technologies, artificial intelligence, Internet of Things, blockchain, digital twins, renewable energy, environmental monitoring.

Введение (Introduction)

Пересечение цифровых технологий и экологических наук определяет одну из наиболее значимых трансформаций XXI века. Искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей (IoT), блокчейн, цифровые двойники, дистанционное зондирование и аналитика больших данных в совокупности меняют мониторинг экосистем, управление природными ресурсами и глобальный переход к возобновляемой энергетике.

Наравне с вышесказанным, мир переживает беспрецедентное ускорение развёртывания чистой энергии. К примеру, глобальная установленная мощность возобновляемых источников энергии достигла 5 149 ГВт в 2025 году, что соответствует росту более чем на 312% по сравнению с 2010 годом (рис.1) [1,3,13]. Только в 2025 году в мире были добавлены рекордные 814 ГВт новых мощностей солнечной и ветровой энергии, что на 17% больше, чем годом ранее: солнечная энергия обеспечила 647 ГВт, ветровая -167 ГВт (ри.2) [3]. Возобновляемые источники теперь составляют 85,6% всех новых вводимых мощностей в глобальной электроэнергетике [2]. Тем не менее, общая установленная мощность по-прежнему не достигает целевого показателя 11,2 ТВт на 2030 год, что делает цифровое ускорение эффективности и управления сетями ключевым фактором преодоления этого разрыва [5].

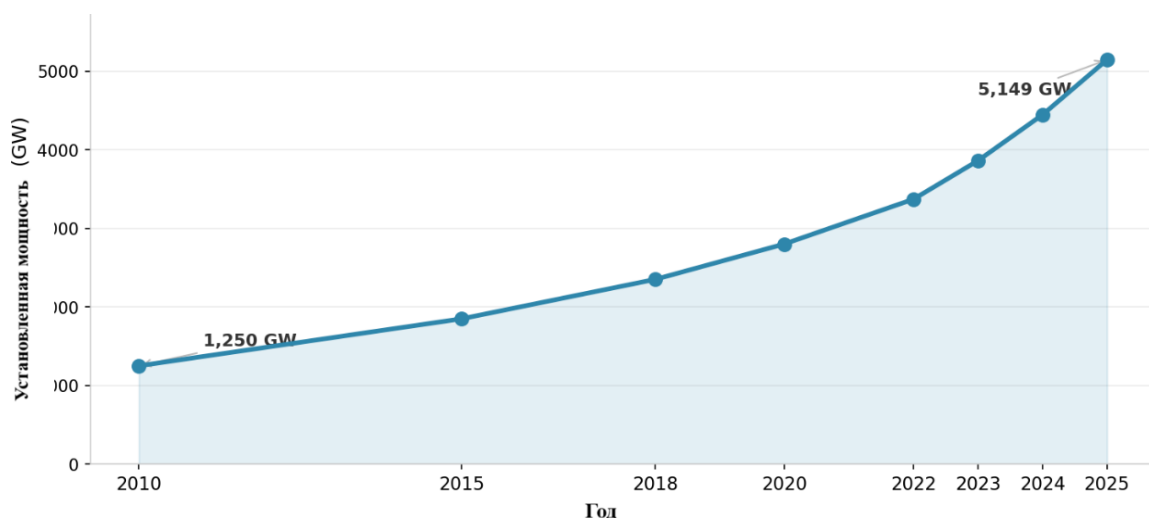


Рисунок 1 - Рост глобальной мощности возобновляемой энергетики (2010-2025г.)
Figure 1 – Growth of Global Renewable Energy Capacity (2010–2025)

Поскольку солнечная и ветровая энергия по своей природе непостоянны, управление их непрерывностью требует сложных цифровых систем прогнозирования и управления. Интеллектуальные сети с более чем 100 миллионами умных счётчиков по всему миру обеспечивают балансировку спроса и предложения в беспрецедентном масштабе [5]. Прогнозируемые глобальные инвестиции в размере 2,4 трлн долларов США с 2024 по 2030 год в передачу, распределение электроэнергии и системы хранения подчёркивают центральную роль цифровой инфраструктуры в энергетическом переходе [5].

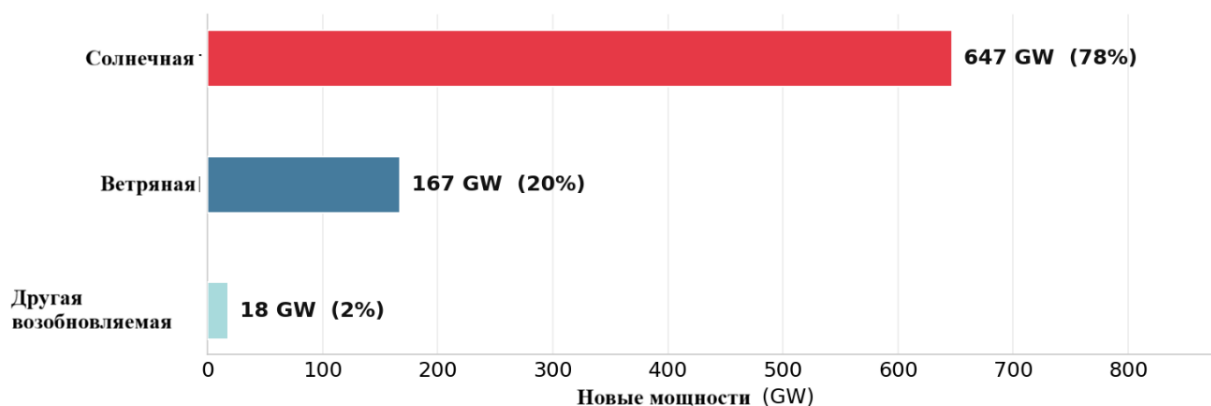


Рисунок 2 – Новые мощности ВИЭ по источникам в 2025 году
Figure 2 – New Renewable Energy Capacity by Source in 2025

Методология (Methodology)

Прогнозирование, оптимизация и прогностическое обслуживание/ ИИ трансформирует все этапы цепочки создания стоимости в возобновляемой энергетике. Модели машинного обучения и глубокого обучения теперь прогнозируют выработку солнечной и ветровой энергии с точностью 90–95% путём анализа погодных данных в реальном времени, исторических данных и экологических переменных, существенно снижая неопределённость при планировании сети [7,12]. Алгоритмы обучения с подкреплением позволяют автоматизированным системам управления сетью непрерывно отслеживать поток электроэнергии, выявлять узкие места и перенаправлять мощность в режиме реального времени — при этом ИИ и оптимизация ВИЭ совокупно обеспечивают 50% общей ценности трансформации интеллектуальных сетей [4].

Прогностическое обслуживание на основе ИИ использует данные датчиков и машинное обучение для раннего выявления признаков износа оборудования. Благодаря мониторингу с помощью ИИ GE Renewable Energy сообщила о снижении незапланированных простоев ветровых турбин на 20% и продлении срока службы активов на 15% [7,11]. Рынок управления накопителями энергии на базе ИИ вырос с 7,7 млрд долл. в 2024 году до 8,8 млрд долл. в 2025 году при среднегодовом темпе роста 13,9% и прогнозируется на уровне 14,68 млрд долл. к 2029 году (рис.3) [8].

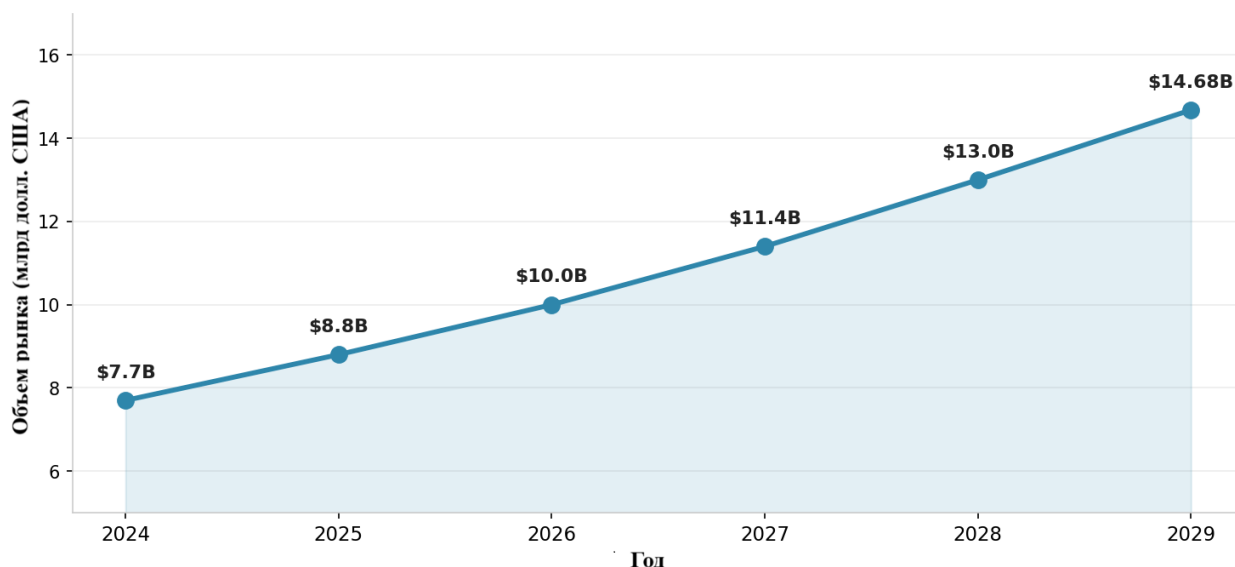


Рисунок 3— Рост рынка накопителей энергии на базе ИИ (2024–2029)
Figure 3 – Growth of the AI-Based Energy Storage Market (2024–2029)

Принимая во внимание быстрый рост энергопотребления производством, энергосеть следующего поколения требует четырёх ключевых составляющих: интеграции просьюмеров, управления на основе ИИ, децентрализованной устойчивости и принятия решений на основе данных. Усовершенствованные системы накопления энергии (BESS), управляемые ИИ, оптимизируют циклы зарядки и разрядки с учётом текущих цен на электроэнергию, прогнозов погоды и сигналов спроса — превращая накопители из пассивных активов в интеллектуальные ресурсы для генерации дохода в сети [8].

Экологический мониторинг. В настоящее время сенсорные сети интернет вещей IoT стали основой экологического мониторинга. Распределённые датчики непрерывно измеряют качество воздуха, параметры воды, состояние почвы и движение диких животных, обеспечивая немедленные данные об изменениях окружающей среды и загрязнении. Интегрированная система Индустрии 4.0, объединяющая ИИ, IoT и цифровые двойники, сократила время обнаружения неисправностей в системах возобновляемой энергии со 120 до 15 минут, повышая эффективность использования на 87,5% [6]. Применение системы мониторинга качества воды на базе IoT дают возможность измерять pH, мутность, температуру, растворённый кислород и химические загрязнители в режиме реального времени с точностью до 97-99% [6].

Наряду с этим, IoT расширяет экологический мониторинг биоразнообразия и дикой природы на ранее недоступные территории. Системы ИИ–IoT на базе 5G для идентификации видов демонстрируют измеримое повышение точности, обеспечивая лёгкое развёртывание устройств экологического мониторинга в отдалённых полевых условиях. Камеры с датчиками движения и аудио-датчики

отслеживают дикую природу в режиме реального времени, обеспечивая целевое планирование охраны природы на нескольких континентах.

Результаты (Results)

Цифровые двойники в системах возобновляемой энергии. Цифровой двойник — это виртуальная копия физического актива в режиме реального времени (например, ветряной фермы, солнечной электростанции или сегмента сети), поддерживаемая непрерывными потоками данных датчиков. Ветряные фермы, использующие цифровые двойники, снижают затраты на техническое обслуживание на 11%, сокращают количество выездных проверок на 60% и уменьшают время устранения неисправностей на 85% [9]. Операторы солнечных электростанций используют цифровые двойники для мониторинга деградации панелей и предотвращения отказов. Комплексное применение ИИ, IoT и цифровых двойников в промышленной системе ВИЭ дало следующие измеримые результаты [6]:

Таблица 1 – Индустрия 4.0: до и после цифровой интеграции
Table 1 – Industry 4.0: Before and After Digital Integration

Показатель эффективности	До	После
Эффективность использования энергии	65%	85% (+20%)
Время обнаружения неисправностей	120 минут	15 минут (–87,5%)
Время безотказной работы системы	~80%	99,5%
Выбросы CO ₂	Базовый уровень	–20%
Операционные затраты	Базовый уровень	–15%

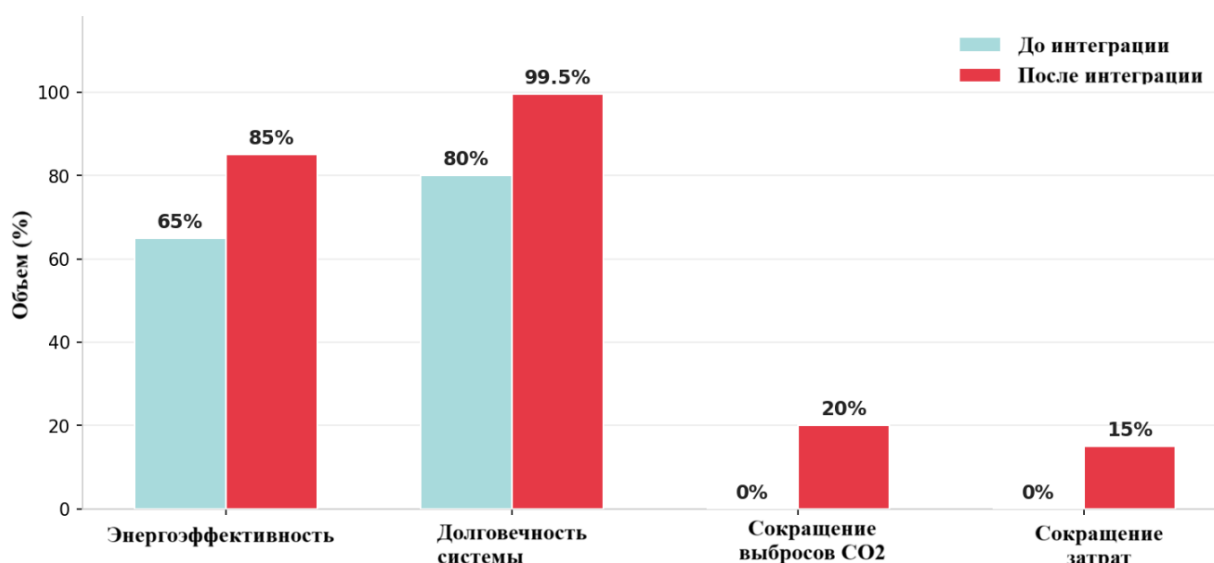


Рисунок 4 – Индустрия 4.0: визуализация до и после цифровой интеграции
Figure 4 – Industry 4.0: Visualization Before and After Digital Integration

Дистанционное зондирование и спутниковые технологии в экологии. Дистанционное зондирование произвело революцию в экологическом мониторинге на ландшафтном и глобальном уровнях. Высокоразрешающие спутниковые снимки — такие как Sentinel-2 и Landsat — в сочетании с вегетационными индексами (NDVI, EVI) обеспечивают точный непрерывный мониторинг лесного покрова, темпов вырубki лесов и состояния растительности на миллионах гектаров [10]. Алгоритмы машинного обучения, применяемые к временным рядам спутниковых данных, выявляют зоны риска обезлесения и формируют карты вмешательства. Технология LiDAR создаёт трёхмерные модели полога леса, открывая данные о распределении видов и позволяя количественно оценивать запасы углерода [10].

Аналитика больших данных (BDA) расширяет возможности дистанционного зондирования, обеспечивая прогностическое моделирование климатических тенденций. Платформы машинного

обучения и высокопроизводительных вычислений обрабатывают петабайтные массивы спутниковых данных для получения климатических прогнозов, значительно более точных, чем традиционные численные модели, информируя работников данной сферы о ресурсном управлении и снижении рисков стихийных бедствий [5].

Блокчейн для экологической ответственности. Технология блокчейн устраняет давние недостатки в области прозрачности, прослеживаемости и защиты от мошенничества на рынках углеродных кредитов и сертификатов на возобновляемую энергию (REC). Токенизируя углеродные кредиты в неизменяемом реестре, блокчейн предотвращает двойной учёт и обеспечивает полную проверяемость от выпуска до погашения [5]. Система управления зелёным предприятием на основе блокчейна продемонстрировала улучшение точности отчётности по выбросам углерода на 25%, рост соответствия целям устойчивого развития на 22% и снижение операционных затрат на 15%. В сочетании с IoT-датчиками для мониторинга выбросов в реальном времени блокчейн создаёт непрерывно проверяемые, защищённые от фальсификации ESG-записи, соответствующие стандартам GRI, SASB и TCFD.

Ключевые показатели эффективности цифровых технологий. Диаграмма ниже обобщает задокументированные улучшения эффективности, достигнутые благодаря конкретным цифровым технологиям в секторах экологии и энергетики, на основе рецензируемых и авторитетных источников, цитируемых в данном исследовании.

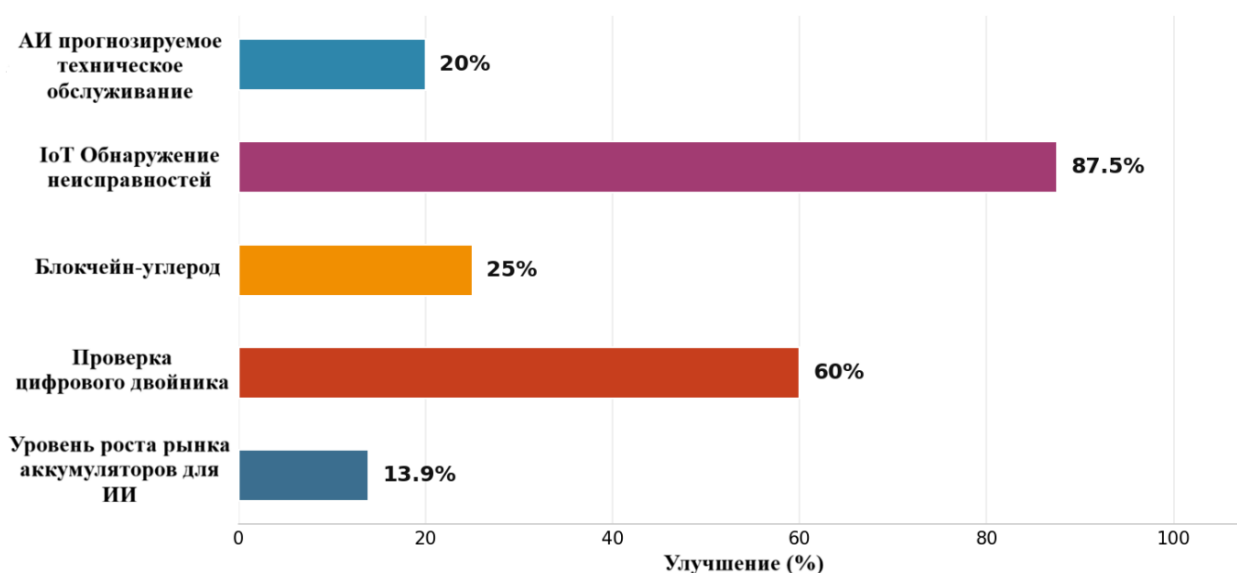


Рисунок 5 – Ключевые показатели эффективности цифровых технологий [6-9]
Figure 5 – Key Performance Indicators of Digital Technologies [6-9]

Обсуждение (Discussion)

Несмотря на трансформационный потенциал, существенные барьеры сохраняются. Адаптация сети отстаёт от темпов роста мощностей, создавая колебания напряжения, нестабильность частоты из-за снижения инерции и перегрузки сети, вызывающие около 5% глобального ограничения ВИЭ [5]. Затраты на интеграцию превышают 25–40 долл./МВт·ч при 50%-ном проникновении ВИЭ [5]. Сами цифровые технологии несут парадоксальные экологические издержки: высокое энергопотребление центров обработки данных и инфраструктуры обучения ИИ может частично нивелировать их экологические преимущества.

Экономические и социальные барьеры. По мере цифровизации энергетических систем риски кибербезопасности становятся главными целями кибератак. Энергетический сектор является четвёртой по уязвимости отраслью среди атак киберпреступников в 2023 году. Например, кибератака 2022 года на немецкого производителя ветровых турбин Enercon нарушила удалённый мониторинг и управление более чем 5 800 турбинами. Сегодня 71% специалистов в области энергетики сообщают о возросшей уязвимости к киберинцидентам в операционных технологиях (ОТ) по сравнению с предыдущим годом [15].

Высокие первоначальные затраты на цифровые инструменты непропорционально ограничивают доступ малых организаций и развивающихся регионов. Низкая воспринимаемая окупаемость инвестиций в ориентированные на устойчивость цифровые проекты затрудняет

привлечение финансирования. Цифровое неравенство — различия в доступе к технологиям, цифровой грамотности и подключении к интернету — рискует сосредоточить преимущества цифровых экологических инструментов в уже привилегированных странах, создавая новые измерения экологического неравенства. Обосновывает критический взгляд на «парадокс ИИ»: высокое энергопотребление дата-центров и инфраструктуры обучения моделей. Поддерживает дискуссию о том, что цифровизация несет собственные экологические риски [14,16].

Перспективные направления. Следующее поколение цифровых инструментов для охраны окружающей среды и энергетики будет отличаться конвергентной архитектурой. Подключение 5G и периферийные вычисления обеспечат время отклика менее секунды для экологического мониторинга в полевых условиях. Автономные системы ИИ—цифровой двойник эволюционируют от реактивного обнаружения неисправностей к полностью проактивному управлению инфраструктурой. Интеграция блокчейн—IoT создаст непрерывно обновляемые, защищённые от фальсификации системы учёта углерода, совместимые с Системой расширенной прозрачности Парижского соглашения (ETF) и обязательствами по Статье 5 [5]. Достижение глобальной цели 11,2 ТВт ВИЭ к 2030 году потребует скоординированного технологического прогресса, поддерживающего политическую базу и значительные устойчивые инвестиции [4-5].

Заключение (Conclusion)

Цифровые технологии — это не вспомогательные инструменты; они являются необходимыми движущими силами экологической и энергетической трансформации, которой требует XXI век. ИИ снижает простои ветровых турбин на 20% и прогнозирует выработку ВИЭ с точностью 90–95% [7]. Системы IoT сокращают время обнаружения неисправностей на 87,5% [6]. Блокчейн повышает точность отчётности по углеродным кредитам на 25%. Дистанционное зондирование обеспечивает мониторинг вырубки лесов в режиме, близком к реальному времени, на миллионах гектаров [10]. Синтез цифрового интеллекта и экологической ответственности представляет собой наиболее эффективную стратегию человечества для одновременного решения проблем изменения климата, утраты биоразнообразия и глобального энергетического перехода.

Рецензент: Акрамов М. — к.ф.-м.н., центр инновационного развития науки и цифровых технологий НАНТД.

Литература

1. Renewable-Energy-Industry.com — Глобальное рекордное расширение возобновляемой энергетики продолжается в 2025 г.
2. Renewable Capacity Statistics 2026 [Электронный ресурс] / International Renewable Energy Agency (IRENA). — Abu Dhabi : IRENA, 2026. — URL: <https://www.irena.org/Publications> (дата обращения: 21.09.2026)
3. Balkan Green Energy News — Мир добавил рекордные 814 ГВт солнечной и ветровой энергии в 2025 г. Опул. 22 марта 2026 г.
4. NextMSC — Как инновации интеллектуальных сетей преобразуют глобальные энергосистемы? Опул. 22 апреля 2026 г.
5. Ergun S., Dik A., Boukhanouf R., Omer S. Large-Scale Renewable Energy Integration: Tackling Technical Obstacles and Exploring Energy Storage Innovations // Sustainability. — 2025. — Vol. 17, № 3. — Art. 1311. — DOI: 10.3390/su17031311.
6. IJEM Journal — Система Индустрии 4.0 для управления умным производством: ИИ, IoT и цифровые двойники. 2024.
7. The Renewable Energy Institute — Как ИИ делает возобновляемую энергетику умнее. Опул. 22 июня 2025 г.
8. Yahoo Finance / Market Research — Глобальный отчёт о рынке ИИ-решений для хранения энергии 2026. Опул. 6 января 2026 г.
9. vHive — Понимание технологии цифровых двойников в ветроэнергетике. Опул. 16 июля 2024 г.
10. Supervision.earth — Дистанционное зондирование: жизненно важный инструмент в борьбе с обезлесением. Опул. 13 августа 2024 г.
11. Ilolov M. et al. ANFIS model for fault diagnosis in photovoltaic systems // Ilolov M., Kabirov Sh.O., Li P., Amonulloev A., Rasulov S., Ilolov A., Rahmatov J.Sh / Proceedings of International Scientific Conference «Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan». — Dushanbe, 2025. — P. 68–77.
12. Ilolov M. et al. Maximum Power Point Tracking Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems for the Photovoltaic Modules // Ilolov M., Kabirov Sh., Inagaki F., Amonulloev A., Rahmatov J. / Proceedings of International Scientific Conference «Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan». — Dushanbe, 2024. — P. 9–12.
13. Джумаев Д.Ш. и др. О проблемах развития солнечной энергетики в горных регионах Таджикистана // Джумаев Д.Ш., Илолов М., Расулов С., Рахматов Дж.Ш. / Доклады Национальной академии наук Таджикистана. — 2025. — Т. 68, № 1. — С. 58–63.
14. Илолов М. и др. Плюсы и минусы искусственного интеллекта // Илолов М., Рахматов Дж.Ш., Каримова С.М., Бобозода Г.Дж. / Материалы международной конференции «Роль цифровой экономики в ускоренной индустриализации страны». — Худжанд, 2025. — С. 9–18.

15. Раҳматов Дж.Ш. Фишинг и кибератаки: исторический анализ, статистическая динамика и современные методы противодействия // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. — 2025. — № 3 (200). — С. 67–74.

16. Илолов М., Раҳматов Дж.Ш. Применение нечетких дифференциальных уравнений для анализа и прогнозирования кибератак // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. — 2025. — Т. 68, № 8. — С. 743–749.

References

1. Renewable-Energy-Industry.com — Record global renewable energy expansion continues in 2025.
2. Renewable Capacity Statistics 2026 [Electronic resource] / International Renewable Energy Agency (IRENA). — Abu Dhabi : IRENA, 2026. — URL: <https://www.irena.org/Publications> (accessed: 21.09.2026).
3. Balkan Green Energy News — World added record 814 GW of solar and wind power in 2025. Publ. March 22, 2026.
4. NextMSC — How Are Smart Grid Innovations Transforming Global Energy Systems? Publ. April 22, 2026.
5. Ergun S., Dik A., Boukhanouf R., Omer S. Large-Scale Renewable Energy Integration: Tackling Technical Obstacles and Exploring Energy Storage Innovations // Sustainability. — 2025. — Vol. 17, № 3. — Art. 1311. — DOI: 10.3390/su17031311.
6. IJEM Journal — Industry 4.0 System for Smart Manufacturing Management: AI, IoT, and Digital Twins. 2024.
7. The Renewable Energy Institute — How AI Is Making Renewable Energy Smarter. Publ. June 22, 2025.
8. Yahoo Finance / Market Research — Global AI-Based Energy Storage Market Report 2026. Publ. January 6, 2026.
9. vHive — Understanding Digital Twin Technology in Wind Energy. Publ. July 16, 2024.
10. Supervision.earth — Remote Sensing: A Vital Tool in the Fight Against Deforestation. Publ. August 13, 2024.
11. Iolov M. et al. ANFIS model for fault diagnosis in photovoltaic systems // Iolov M., Kabirov Sh.O., Li P., Amonullov A., Rasulov S., Iolov A., Rahmatov J.Sh. / Proceedings of International Scientific Conference "Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan". — Dushanbe, 2025. — P. 68–77.
12. Iolov M. et al. Maximum Power Point Tracking Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems for the Photovoltaic Modules // Iolov M., Kabirov Sh., Inagaki F., Amonullov A., Rahmatov J. / Proceedings of International Scientific Conference "Status and Prospects for the Development of Renewable Energy in Tajikistan". — Dushanbe, 2024. — P. 9–12.
13. Jumaev D.Sh., et al. On the problems of solar energy development in the mountainous regions of Tajikistan // Jumaev D.Sh., Iolov M., Rasulov S., Rahmatov J.Sh. / Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan. — 2025. — Vol. 68, № 1. — P. 58–63.
14. Iolov M., et al. Pros and cons of artificial intelligence // Iolov M., Rahmatov J.Sh., Karimova S.M., Bobozoda G.J. / Proceedings of the International Conference "The Role of the Digital Economy in the Accelerated Industrialization of the Country". — Khujand, 2025. — P. 9–18.
15. Rahmatov J.Sh. Phishing and cyberattacks: historical analysis, statistical dynamics, and modern countermeasures // Bulletin of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Department of Physical-Mathematical, Chemical, Geological, and Technical Sciences. — 2025. — № 3 (200). — P. 67–74.
16. Iolov M., Rahmatov J.Sh. Application of fuzzy differential equations for cyberattack analysis and forecasting // Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan. — 2025. — Vol. 68, № 8. — P. 743–749.

Сведения об авторах:

Азизов Рустам Очилдиевич, д.т.н, профессор, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. E-mail: rustam.azizov57@gmail.com

Васиредди Нагешварао, докторант PhD, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. E-mail: nageshvar.vasireddy@gmail.com

Раҳматов Джамшед Шавкатович, к.ф.-м.н., Центр инновационного развития науки и цифровых технологий НАНТ. E-mail: jamesd007@rambler.ru

Маълумот оид ба муаллифон:

Азизов Рустам Очилдиевич, д.и.т, профессор, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ. E-mail: rustam.azizov57@gmail.com

Васиредди Нагешварао, докторанти PhD, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: nageshvar.vasireddy@gmail.com

Раҳматов Чамшед Шавкатович, н.и.ф.-м., Маркази рушди инноватсионии илм ва технологияҳои рақамии АМИТ. E-mail: jamesd007@rambler.ru

Information about the authors:

Azizov Rustam Ochildievich, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tajik technical university named after academician M.S. Osimi. E-mail: rustam.azizov57@gmail.com

Vasireddi Nageshwararao, PhD Candidate, Tajik technical university named after academician M.S. Osimi. E-mail: nageshvar.vasireddy@gmail.com

Rahmatov Jamshed Shavkatovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Center for Innovative Development of Science and Digital Technologies of NAST. E-mail: jamesd007@rambler.ru

КЛИМАТИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН: АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ, ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ

Абдулло Мамадамон

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

Девяносто три процента территории Республики Таджикистан занимают горы, и из этой одной цифры вытекает почти всё остальное: чувствительность дорожной сети к климату, стоимость её содержания, потери от каждого перерыва движения. Работа оценивает уязвимость транспортного сектора и разбирает складывающуюся систему адаптационного управления. Методология смешанная. Через контент-анализ пропущен корпус стратегических и нормативных документов, включая Четвёртое национальное сообщение по РККИ ООН и ОНУВ; экономические показатели взяты из отчётности Всемирного банка, Азиатского банка развития и ЕБРР; физические параметры среды получены синтезом данных климатического моделирования СМIP6 по региону Центральной Азии. Ежегодный ущерб дорожной сети от опасных природных явлений составляет 45 млн долл. США, или 0,5 % ВВП, а к середине 2030-х годов расчёты дают 80 млн долл. США. Сели формируют 36 % обследованных опасных участков, лавины 31 %, камнепады 13 %. Дорожает ремонт. Дорожает содержание. Вовремя сделанные адаптационные вложения разворачивают этот тренд, и ожидаемые потери ВВП снижаются с 5–6 % до 2,0–3,8 %. Приоритизацию инженерных проектов предложено вести по методологии «затраты–выгоды», климатические критерии вводить в регламенты дорожного планирования на основе оценки жизненного цикла; отдельно обоснованы дорожный фонд содержания и полномасштабное развёртывание систем раннего предупреждения.

Ключевые слова: изменение климата; адаптация; транспортная инфраструктура; Таджикистан; устойчивость; сели; лавины; климатические риски; дорожная сеть; снижение риска бедствий.

МУТОБИҚШАВӢ БА ТАҒЙИРОТИ ИҚЛИМ ДАР БАХШИ НАҚЛИЁТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: АРЗӢБИ ОСЕБПАЗИРӢ, ҶАҲОРЧӢБАИ ИНСТИТУСИОНАЛӢ ВА АМАЛИЯИ ТАТБИҚ

Абдулло Мамадамон

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе Ҷумҳурии Тоҷикистон

Наваду се фоизи қаламрави Ҷумҳурии Тоҷикистон кӯхистон аст. Ин хусусияти ҷуғрофӣ ҳассосияти баланди инфрасохтори логистикиро ба тағйирёбии иқлим муайян мекунад. Дар ин мақола арзёбии ҳамаҷонибаи осебпазирӣ бахши нақлиёт пешниҳод шудааст. Системаи навбунёди идоракунии мутобиқшавӣ таҳлил карда шудааст. Методологияи омехта истифода шудааст. Маҷмуи ҳуҷҷатҳои стратегӣ ва танзимкунада, аз ҷумла Гузориши чоруми миллий дар доираи Конвенсияи иқтисодии тағйирёбии иқлими СММ ва Саҳми дар сатҳи миллий муайяншуда мавриди таҳлил қарор дода шудаанд. Нишондиҳандаҳои иқтисодӣ ба гузоришҳои Бонки Ҷаҳонӣ, Бонки Рушди Осӣ ва Бонки Аврупои Таҷдид ва Рушд асос ёфтаанд. Параметрҳои физикии муҳити зист бо роҳи синтези маълумоти моделсозии иқлимӣ СМIP6 барои минтақаи Осӣи Марказӣ ба даст оварда шудаанд. Зарари иқтисодии солоне ба шабакаи роҳҳо аз офатҳои табиӣ 45 миллион доллари ИМА (0,5% ММД)-ро ташкил медиҳад. Тибқи таҳлилох ин рақам то миёнаҳои солҳои 2030 то 80 миллион доллари ИМА афзоиш хоҳад ёфт. Сел 36%, тарма ва сангрэзӣ мутаносибан 31% ва 13% минтақаҳои хатарнокро ташкил медиҳанд. Сенарияҳои иқлимӣ афзоиши хароҷоти иловагиро барои таъмир ва нигоҳдории роҳҳо пешгӯӣ мекунад. Сармоягузориҳои мутобиқшавии саривақтӣ метавонанд ин тамоюли манфиро баргардонанд. Талафоти пешбинишудаи ММД аз сабаби тағйирёбии иқлим аз 5-6% то 2.0-3.8% коҳиш дода мешавад. Пешниҳод мешавад, ки афзалияти лоиҳаҳои муҳандисӣ бар асоси методологияи хароҷот ва фонда асос ёбад. Таъсиси фонди нигоҳдории роҳ ва ҷойгиркунии пурраи системаҳои огоҳкунии барвақт зарур аст. Таъсис дода мешавад, ки меъёрҳои иқлимӣ бо истифода аз арзёбии давраи ҳаёт ба қоидаҳои банақшагирии роҳ ворид карда шаванд.

Калидвожаҳо: тағйирёбии иқлим; мутобиқшавӣ; инфрасохтори нақлиёт; Тоҷикистон; устуворӣ; сел; тармаҳо; хатарҳои иқлимӣ; шабакаи роҳҳо; коҳиши хатари офатҳо.

CLIMATE CHANGE ADAPTATION OF THE TRANSPORT SECTOR OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN: VULNERABILITY ASSESSMENT, INSTITUTIONAL FRAMEWORK AND IMPLEMENTATION PRACTICE

Abdullo Mamadamon

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Mountains cover ninety-three percent of Tajikistan. That single figure shapes the country's logistics: the road network absorbs climate stress with almost no modal alternative behind it. This article assesses the vulnerability of the transport sector and examines the adaptation governance system now taking shape. The design is mixed-method. Content analysis covers strategic and regulatory documents, among them the Fourth National Communication under the UNFCCC and the updated NDC; economic figures come from World Bank, Asian Development Bank and EBRD reporting; physical parameters of the environment were derived by synthesising CMIP6 climate modelling data for Central Asia. Annual damage to the road network from natural hazards stands at USD 45 million, or 0.5% of GDP, and projections push it to USD 80 million by the mid-2030s. Among the surveyed hazardous sites, mudflows account for 36%, avalanches for 31%, rockfalls for 13%. Repair and maintenance costs rise under every scenario examined. Adaptation investment made in time reverses the trend: expected GDP losses fall from 5-6% to 2.0-3.8%. Engineering priorities are best set through cost-benefit analysis. A road maintenance fund and the full deployment of early warning systems are treated here as prerequisites rather than options, while climate criteria should enter road planning regulations through life-cycle assessment.

Keywords: climate change; adaptation; transport infrastructure; Tajikistan; resilience; mudflows; avalanches; climate risks; road network; disaster risk reduction.

1. Введение (*Introduction*)

Климат ограничивает социально-экономическое развитие горных стран Центральной Азии жёстче, чем это принято закладывать в отраслевые планы. Таджикистан здесь случай предельный: горы занимают девяносто три процента территории, и природно-климатическая уязвимость государства оказывается не следствием отдельных неудачных решений, а свойством ландшафта. Сели, лавины, камнепады, оползни, наводнения, накладывающиеся на сейсмическую активность, фиксируются регулярно [6, 12, 21]. Страдают и сооружения, и люди. За период 1992–2016 гг. совокупные финансовые потери страны от стихийных бедствий превысили, по расчётам Всемирного банка, 1,8 млрд долл. США; прямым либо опосредованным воздействием климатических инцидентов было затронуто около 7 млн человек [25].

Транспорт в этой картине занимает особое место. Морского выхода нет. Отсюда абсолютная зависимость от эксплуатационного состояния автодорожной сети: внутреннюю связь между регионами, разделёнными хребтами, обеспечивают только наземные трассы, они же принимают транзитные грузопотоки международных коридоров Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества (ЦАРЭС). Значительная часть сети запроектирована в экстремальных геометрических параметрах, среди узких долин, перевалов и крутых склонов. Полотно испытывает здесь комбинированное гидрометеорологическое и геологическое давление. Что происходит при перерыве движения на транзитных артериях (Душанбе — Чанак, Душанбе — Куляб — Хорог, Памирский тракт), известно по многолетней практике: к физическому разрушению объектов добавляется изоляция населённых пунктов, а доступ к рынкам сбыта, профильным медицинским и образовательным учреждениям прекращается полностью [21, 25].

Динамика климата эту зависимость обостряет. Национальные сообщения Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата дают рост среднегодовой температуры воздуха в 0,1–0,2 °C за десятилетие, причём Центральная Азия теплеет быстрее мира в целом [11, 27]. Параллельно идёт деградация оледенения Памиро-Алая: с 1957 по 2000 г. запасы воды в ледниках сократились более чем на 25 %, свыше 1000 малых ледников исчезли полностью [2]. Меняется гидрологический режим рек. Чаше прорываются ледниковые озёра, чаше сходят селевые потоки, и нагрузка на транспортные коммуникации растёт напрямую.

Климатическая адаптация транспортной инфраструктуры горных стран разрабатывалась главным образом под эгидой Всемирного банка, Азиатского банка развития (АБР) и Глобального фонда по снижению риска бедствий и восстановлению (GFDRR) [12, 16, 25, 26]. Литература обширна. Комплексных же работ, где оценка физической уязвимости сети Таджикистана соединялась бы с экономическим анализом ущерба и разбором институциональной системы адаптационного управления, сложившейся после принятия Национальной стратегии адаптации к изменению климата на период до 2030 года, по-прежнему мало [3].

Цель работы состоит в комплексной оценке уязвимости транспортного сектора Республики Таджикистан к изменению климата, а вместе с ней институциональных механизмов и практики реализации адаптационных мер. Задач четыре: (1) систематизировать данные о наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменениях, значимых для транспортной инфраструктуры; (2) охарактеризовать профиль природно-климатических угроз дорожной сети и оценить экономический ущерб; (3) проанализировать национальную нормативно-стратегическую базу адаптации в части транспортного сектора; (4) обобщить опыт адаптационных инфраструктурных проектов и предложить рекомендации по повышению климатической устойчивости сектора.

2. Материалы и методы (*Materials and methods*)

Одномерная измерительная схема здесь не работает. Физические параметры климатических рисков, массивы экономических данных об ущербе и содержание политико-правовых документов приходится держать в поле зрения одновременно, иначе оценка распадается на три несвязанных сюжета. Исследование построено на смешанной методологии (*mixed methods*): качественные и количественные инструменты кабинетного анализа сведены в единый вычислительный и аналитический контур сообразно специфике предметной области.

Информационную базу составили четыре группы источников.

Первый массив образует корпус национальных стратегических и нормативных правовых документов Республики Таджикистан. Базовые векторы зафиксированы в Национальной стратегии развития на период до 2030 года [4] и Обновлённом определяемом на национальном уровне вкладе (ОНУВ, 2021 г.) [24]. Государственный алгоритм противодействия угрозам регламентирован Национальной стратегией адаптации к изменению климата на период до 2030 года, утверждённой

постановлением Правительства Республики Таджикистан от 2 октября 2019 г. № 482 [3]; механизмы её реализации детализирует План действий на 2025–2027 годы, принятый постановлением Правительства от 24 июля 2025 г. № 404 [5]. Замыкает блок Четвёртое национальное сообщение по РКК ООН [11].

Вторую группу составляет аналитика международных институтов. Экономические последствия климатических бедствий на основных транспортных коридорах рассчитаны по профильным оценкам Всемирного банка и GFDRR [21, 25], макроэкономический контекст извлечён из Странового доклада о климате и развитии (CCDR, 2024 г.) [26]. Отраслевую специфику раскрывают секторальная оценка транспорта АБР [12] и совместный страновой профиль климатических рисков АБР и Всемирного банка [16]. Инвестиционно-инженерные решения пришлось разбирать по первичной проектной документации АБР, ЕБРР и Азиатского банка инфраструктурных инвестиций, регламентирующей дорожные проекты [13–15, 23].

Третий кластер дало климатическое моделирование по территории Центральной Азии: пространственные проекции ансамблей CMIP5/CMIP6, сценарии SSP для бассейна реки Пяндж и высокогорных зон Таджикистана [17, 18, 27]. Прогностический компонент сверен с выкладками Четвёртого национального сообщения [11]. Привлечены и цифровые массивы Портала знаний об изменении климата Всемирного банка [22].

Четвёртую группу образует официальная национальная статистика. Макроэкономические показатели и характеристики дорожной сети взяты из сборника «Транспорт и связь Республики Таджикистан» [10] и Статистического ежегодника Республики Таджикистан [7]. Динамику и локализацию зарегистрированных опасных природных явлений протоколируют оперативные сводки Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан, а отдельные эпизоды, в официальные сводки не попавшие, восстанавливались по материалам национальных средств массовой информации [8, 9].

Методический аппарат распадается на пять направлений. Нормативно-стратегический массив пропущен через контент-анализ; профильные транспортные положения отбирались по трём критериям, а именно: наличие целевых показателей, закреплённость механизмов финансирования, прямое распределение институциональной ответственности. Формулировки, не отвечающие ни одному из трёх, в выборку не включались.

Оценка ущерба дорожной сети опирается на вторичный статистический анализ. Базовый массив дала инспекция 2020 года: полевое обследование в рамках проекта Всемирного банка и GFDRR [25] охватило более 2000 км магистралей, что позволило распределить опасные участки по типу физической угрозы.

Проектные подходы международных финансовых институтов к климатической устойчивости объектов сопоставлены сравнительно-аналитическим методом, а синтез и обобщение климатических проекций выполнены в проекции на инфраструктурные риски. Базовая экспозиция системы растёт. Подтверждение даёт статистический анализ динамики грузовых и пассажирских перевозок за 2018–2023 гг. по официальным сводкам [10].

Ограничения работы стоит назвать прямо. Национальная статистика потерь по железнодорожному и воздушному транспорту фрагментарна, источники считают ущерб по несогласованным методикам, а сложный горный рельеф даёт высокую степень неопределённости при наложении глобальных климатических проекций на локальные условия. Финансовые и количественные метрики зафиксированы на момент публикации профильных первоисточников и с их обновлением будут смещаться.

3. Результаты (Results)

3.1. Наблюдаемые и прогнозируемые климатические изменения, значимые для транспортного сектора

Центральная Азия теплеет быстрее планеты в среднем, и результаты моделирования CMIP6 эту динамику подтверждают [27]. Транспортная инфраструктура республики работает, следовательно, в среде, которая меняется быстрее заложенных когда-то проектных допущений: деградация криосферы сопровождается статистически значимым учащением волн экстремальной жары.

Градиент устойчив. За период 1940–2020 гг. температура воздуха повышалась на 0,1–0,2 °C за каждое десятилетие [11, 16, 22], причём распределение по территории неравномерно: на отдельных равнинных участках совокупный прирост среднегодовой температуры достигал 0,5–0,8 °C. Четвёртое национальное сообщение прогнозирует дальнейший сдвиг термического фона, к 2030 г. ещё на 0,2–0,4 °C [11].

С увлажнением картина сложнее. Национальный прогноз к 2050 г. указывает на сокращение годовой суммы осадков примерно на 5 % при выраженном сезонном перераспределении: зимняя норма снижается на 2 %, весенняя на 5 %, летняя прибавляет 1 %, осенняя 4 % [11]. Количество сухих дней растёт в среднем на 3 суток. Засушливая зима и влажное лето, взятые вместе, повышают вероятность и засух, и паводков, а для дорожной сети это сочетание едва ли не худшее из возможных. Оледенение уходит быстро. При сценарии потепления на 2 °C к 2050 г. в бассейне реки Зеравшан прогнозируется потеря 50 % ледников [11].

Региональные оценки ансамблей CMIP6 предсказывают, напротив, рост количества осадков в высокогорьях [17, 18]. С национальным прогнозом расчёт расходится, и расхождение показательно: гидродинамические проекции для сложного горного рельефа остаются неопределёнными, детерминированный расчёт инженерных параметров здесь невозможен. Значит, проектные решения инфраструктурных объектов приходится обосновывать многовариантным сценарным подходом, закладывая запас на обе ветви прогноза.

Итог трансформации гидрологического цикла для инженера прозаичен: разрушение мостовых переходов, потеря несущей способности дорожных оснований. Проекция осадков для горных территорий Таджикистана пространственно специфична, и прирост атмосферной влаги обеспечит преимущественно экстремальные ливни. Растёт селевая опасность.

Оценки с высоким пространственным разрешением задают чёткий тренд: к середине столетия отдельные сценарии SSP дают увеличение сумм осадков в высокогорных участках до 33 % [17, 18]. Юго-восточные районы страны выйдут на прирост до 16 % уже в ближнесрочной перспективе, то есть в 2021–2050 гг.

Паводковая нагрузка усилится многократно. Косвенное подтверждение даёт профильное моделирование бассейна реки Пяндж: дренаирующая массивы Памира речная система переживает удлинение периода абляции ледников, объём поверхностного стока в тёплый сезон растёт устойчиво [17]. Экстремальные пики расхода воды начинают напрямую ограничивать эксплуатационный ресурс инженерных объектов.

Термические максимумы дают пластическую деформацию и растрескивание асфальтобетона. Водоотводные системы, перегруженные ливневыми потоками, подмывают мостовые основания, разрушаются деформационные швы [8, 21]. Отдельный сюжет составляет земляное полотно высокогорных магистралей, включая Памирский тракт: его несущая способность падает по мере деградации горной многолетней мерзлоты, и остановить процесс в горизонте проектного срока службы нечем.

Комплекс физических воздействий климата на транспортную инфраструктуру систематизирован в оценках Всемирного банка [21, 25] по пяти базовым направлениям.

Начинается перечень с интенсификации дождевых осадков: кратно растёт число паводков и сходов селевых масс. Далее идут температурные аномалии зимнего периода, когда участвовавшие оттепели накладываются на циклы обильных снегопадов и лавинная опасность возрастает. Третий механизм тоньше. Сезонные границы промерзания смещаются, позднее установление отрицательных температур вкупе с ранним весенним таянием дестабилизирует склоны, отсюда оползневые сдвиги и камнепады. Замыкают список термический износ дорожных покрытий и потеря устойчивости мерзлотных грунтовых оснований.

Нагрузка многофакторна и разноскоростна. Мгновенное разрушение инфраструктуры инициируют экстремальные события: сели, сходы лавин, паводки. Медленные процессы идут параллельно, и деградация горной мерзлоты вместе с термическим старением покрытий истощает эксплуатационный ресурс непрерывно, без заметных событий, без сводок ЧС. Универсальное инженерное решение при такой разнице скоростей невозможно в принципе, нужны дифференцированные адаптационные стратегии.

3.2. Профиль уязвимости транспортной системы и динамика нагрузки на сеть

Модальных альтернатив наземным перевозкам практически нет, а экономическая экспозиция к климатическим рискам растёт пропорционально интенсивности транспортной работы: каждый перерыв движения парализует всё большие объёмы грузов. Цифры это подтверждают. За период 2018–2023 гг. совокупный объём транспортируемых грузов увеличился с 89,6 до 120,6 млн т, на 34,6 процента. Автомобильный сектор поднял показатель с 84,3 до 114,1 млн т, сформировав в 2023 году 94,6 процента общего объёма. База пассажирских перевозок выросла с 614,5 до 899,3 млн человек, из которых 97,5 процента пришлось на наземный автотранспорт [10]. Более чем на 90 процентов внутренние потоки, и грузовые, и пассажирские, привязаны к автомобильному сегменту [11].

Таблица 1 — Динамика перевозок грузов и пассажиров в Республике Таджикистан в 2018–2023 гг.

(составлено по данным [10])

Table 1 — Dynamics of freight and passenger transportation in the Republic of Tajikistan in 2018–2023

(compiled based on data from [10])

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Перевозка грузов, всего, млн т	89,6	85,4	85,4	94,6	113,9	120,6
в т. ч. автомобильным транспортом	84,3	79,6	79,1	88,9	107,8	114,1
в т. ч. железнодорожным транспортом	5,3	5,8	6,3	5,7	6,1	6,5
Перевозка пассажиров, всего, млн чел.	614,5	658,1	653,7	746,8	853,7	899,3
в т. ч. автомобильным транспортом	588,0	619,2	614,6	703,1	806,1	876,7

Сектор образуют автомобильный, железнодорожный и воздушный подсекторы; вместе с отраслью связи этот кластер обеспечил 8,9 процента ВВП в 2019 году [11]. Общая протяжённость автомобильных дорог по выкладкам Четвёртого национального сообщения достигает 26,3 тыс. км, статус путей общего пользования закреплён за 14 339 км магистралей. Распределение внутри сегмента неравномерное: 62 процента приходится на местные дороги, 23 процента на международные трассы, оставшиеся 15 процентов на республиканские линии. Железные дороги ограничены 987 км. Электрифицированных участков нет вовсе [11].

Административную принадлежность уточняют оценки АБР: порядка 14,0 тыс. км, или 52,2 процента, в ведении Министерства транспорта, остальные 12,8 тыс. км приходятся на ведомственные дороги [12].

Физический износ сети объясняется хронологией. Значительная часть магистралей проектировалась в 1960–1980-е годы по нормативам, которые современную климатическую нагрузку не учитывали в принципе, да и учитывать не могли.

Наиболее полная на сегодня оценка физической уязвимости выполнена в 2020 г. в рамках исследования Всемирного банка и GFDRR: обследовано более 2000 км ключевых коридоров, выявлен 331 участок с высокой подверженностью опасным природным явлениям [21, 25]. Их распределение по доминирующему типу угрозы приведено в таблице 2.

Таблица 2 — Распределение опасных участков ключевых дорожных коридоров Республики Таджикистан по видам стихийных бедствий (по данным [21, 25])

Table 2 — Distribution of hazardous sections of key road corridors of the Republic of Tajikistan by types of natural disasters (according to data from [21, 25])

Тип угрозы	Доля опасных участков, %	Основные климатические драйверы
Сели (селевые потоки)	36	Интенсивные ливни, прорывы ледниковых озёр
Снежные лавины	31	Обильные снегопады, чередование снегопадов и оттепелей
Камнепады	13	Циклы замерзания–оттаивания, дестабилизация склонов
Паводки и затопления	10	Экстремальные осадки, ускоренное снеготаяние
Оползни	8	Переувлажнение грунтов, подрезка склонов
Эрозия	3	Размыв обочин и оснований водными потоками

Две трети выявленных рисков, 67 %, дают сели и лавины. Интенсивность обоих процессов прямо связана с режимом осадков и температуры, а значит, будет нарастать по мере изменения климата. Территориально опасные участки концентрируются в Горно-Бадахшанской автономной области, Раштской долине и на горных отрезках коридора Душанбе — Худжанд.

Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне даёт за 1997–2018 гг. совокупный ущерб от связанных с климатом стихийных бедствий в 589 млн долл. США, в среднем более 25 млн долл. США в год; тяжелее всего бьют паводки и наводнения, оползни, сели, лавины, засухи (данные обобщены в Четвёртом национальном сообщении) [11].

Июль 2015 года, ГБАО. Массированный сход селей, паводки, несколько разрушенных мостов, отрезанные горные кишлаки. На восстановление 17 мостовых переходов потребовался отдельный проект Всемирного банка по укреплению критической инфраструктуры, причём реконструкция велась по принципу «строить лучше, чем было» [21].

Топология сети резервирования транзита не допускает: объездных путей в большинстве случаев нет, а вынужденное изменение маршрута даёт перепробег в сотни километров. Показателен эпизод с дорогой Обигарм — Нуробод. До её ввода в эксплуатацию потенциальное затопление участка действующей трассы водохранилищем Рогунской ГЭС блокировало прямой логистический коридор, и связь Душанбе с северо-восточными регионами страны и границей Кыргызстана потребовала бы объезда протяжённостью около 500 км [14]. Локальный дефицит альтернатив конвертируется в системную уязвимость всего комплекса.

3.3. Экономическая оценка ущерба и эффективности адаптации

Ежегодный экономический ущерб дорожной сети Таджикистана от опасных природных явлений достигает 45 млн долл. США, это 0,5 % ВВП страны [21, 25]. Интереснее структура убытков. Прямые затраты на восстановление полотна и потери от перебоев в сообщении дают лишь часть суммы; ещё около трети совокупного показателя генерирует территориальная изоляция населённых пунктов. В течение десятилетия при сохранении текущих климатических трендов ежегодный убыток вырастет до 80 млн долл. США [21, 25].

Макроэкономическую динамику фиксирует Страновой доклад о климате и развитии (CCDR, 2024 г.): только от наводнений ущерб транспортным коридорам и городам удвоится к 2050 г. Инерционный сценарий даёт совокупные потери ВВП на уровне 5–6 %, адаптационные инвестиции снижают показатель до 2,0–3,8 %, а физическое разрушение дорог и мостов паводками сокращается примерно на 60 % [26].

Секторальные проекции CCDR детализируют перспективу. Ремонт и содержание автодорог в 2041–2050 гг. потребуют превышения исторического базового бюджета на 145–165 млн долл. США ежегодно, и основным драйвером издержек выступают наводнения, что подтверждают и «влажный/тёплый», и «сухой/жаркий» климатические сценарии. Разрушения лягут неравномерно. Концентрация убытков ожидается на западе и северо-западе страны, максимум воздействия придётся на районы республиканского подчинения и Согдийскую область, инфраструктура Душанбе будет терять до 4000 долл. США на каждый километр. На восстановление мостовых переходов к 2050 г. по пессимистичному сценарию потребуются дополнительные 6 млн долл. США [26].

Потребность в финансировании климатоустойчивой инфраструктуры и сельского хозяйства на период до 2030 г. оценена в 2 млрд долл. США, к 2050 г. требуемые капиталовложения достигают 5,4 млрд долл. США, около 1,7 % ВВП. Три направления абсорбируют порядка 70 % государственных инвестиций: автомобильные дороги, ирригация, управление водными ресурсами [26].

Микроэкономику защитных мероприятий детализирует совместная оценка Всемирного банка и GFDRR [21, 25]. Полная инженерная защита 331 опасного участка обходится дороже 400 млн долл. США, и перечень работ показывает, откуда берётся сумма: противолавинные галереи, подпорные стены, селепропускные сооружения, снегозадерживающие и гибкие противокампнепадные барьеры, водоотводные системы, усиление мостов, увеличенные водопропускные трубы, поднятие земляного полотна, локальные переносы трасс.

Реализовать пакет целиком экономически бессмысленно. Показывает это анализ «затраты–выгоды», и удобнее всего разбирать его на противолавинных галереях: предложено 65 сооружений, средняя стоимость объекта превышает 4 млн долл. США, а защищает одна конструкция в среднем 175 м дороги. Там, где интенсивность движения низкая, такие вложения не окупятся.

Оправдана, следовательно, лишь выборочная реализация мер. Капитальные решения на отдельных отрезках необходимо связывать с системами раннего предупреждения, мониторингом опасностей, прогнозным моделированием и регламентным временным закрытием трасс в периоды пикового риска [21, 25].

Бюджет государства ограничен. Оптимум складывается из комбинации: адресные вложения в защиту критических звеньев сети плюс информационные и институциональные механизмы, поскольку именно некапиталоёмкие меры дают заметно более высокое соотношение выгод и затрат.

3.4. Институционально-правовая база адаптации транспортного сектора

Складывалась система стратегического управления климатической адаптацией в 2016–2025 гг. Профильные приоритеты транспортного сектора закреплёны в базовых документах (таблица 3).

Таблица 3 — Стратегический и нормативный каркас адаптации транспортного сектора Республики Таджикистан

Table 3 — Strategic and regulatory framework for the adaptation of the transport sector of the Republic of Tajikistan

Документ	Правовое основание, год	Положения, значимые для транспорта
Национальная стратегия развития РТ до 2030 г. [4] [2]	Пост. МН МО РТ № 636 от 01.12.2016	Преодоление коммуникационной изоляции и переход к транзитной модели отнесены к четырём стратегическим целям; изменение климата признано системным риском развития
Национальная стратегия адаптации к изменению климата до 2030 г. [3]	Пост. Правительства РТ № 482 от 02.10.2019	Транспорт закреплён среди четырёх приоритетных направлений адаптационной политики наряду с энергетическим комплексом, сельским хозяйством и управлением водными ресурсами [3, 11]
Государственная целевая программа развития транспортного комплекса РТ до 2025 г.	Утв. Правительством РТ	Продление эксплуатационного ресурса дорожной сети и её сопротивляемости климатическим аномалиям за счёт комплекса инженерно-технических решений [11]
Обновлённый ОНУВ (NDC) [24]	2021 г., представлен в РКИК ООН	Транспорт входит в пятёрку приоритетных секторов митигации и адаптации; на энергетику и транспорт прогнозируется по ~20 % совокупных климатических издержек
Четвёртое национальное сообщение по РКИК ООН [11]	Представлено в РКИК ООН	Оценка уязвимости инфраструктуры: риски деградации мерзлоты, термическое разрушение покрытий дорог и мостов
План действий НСАИК на 2025–2027 гг. [5]	Пост. Правительства РТ № 404 от 24.07.2025	Совокупный бюджет программных мероприятий составляет приблизительно 2,92 млрд сомони, из них на раздел «Транспорт» приходится 46,5 млн сомони. Средства распределены по трём направлениям: стимулирование экологически чистого транспорта, развёртывание сети зарядных станций для электромобилей, создание защитных лесополос вдоль автодорог.

Содержание повестки раскрыто в ОНУВ и Четвёртом национальном сообщении. Долгосрочное обслуживание инфраструктуры, усиление её защиты, придорожные лесонасаждения в полосе отвода, улучшение подъездных путей в уязвимых зонах с учётом гендерных, социальных и возрастных аспектов доступа населения к дорожной сети [1] — таков перечень адаптационных мер. Митигационный контур охватывает топливную экономичность, перевод парка на гибридные автомобили и электромобили, увязку транспортного и городского планирования с развитием общественного транспорта [11, 24]. Запланировано и обновление строительных норм, включая стандарты климатической устойчивости для дорог, путепроводов и мостов [1]. Повестка сводит адаптацию и митигацию воедино, однако остаётся рамочной: количественных показателей и гарантированных источников финансирования в документах нет.

Эволюция институциональной базы прослеживается отчётливо: от общего признания рисков в НСР-2030 [4] к секторальной приоритизации в НСАИК-2030 [3] и ОНУВ [24], далее к адресному Плану действий [5]. Три системных пробела при этом никуда не делись.

Диспропорция финансирования — первый. Транспортный раздел Плана действий на 2025–2027 годы сфокусирован на митигации (электромобильность) и некапиталоёмких мерах (лесополосы), тогда как капиталоемкая защита от лавин и селей держится преимущественно на внешних грантах и заимствованиях. Сопоставим порядки: 46,5 млн сомони, порядка 4–5 млн долл. США, против расчётной потребности в 400 млн долл. США [5, 9, 25].

Второй пробел связан с отсутствием обязательных нормативов. Разработка стандартов климатической устойчивости в ОНУВ декларирована [24], однако профильные кодексы дорожного проектирования не введены, и учёт климатических рисков в инфраструктурных проектах регулируется требованиями международных доноров, а не национальным законодательством.

Третий — институциональная фрагментация. Ответственность между Министерством транспорта, Комитетом по чрезвычайным ситуациям, Комитетом по охране окружающей среды и местными органами власти разграничена нечётко, единого регламента нет, и сквозной цикл управления рисками по схеме «прогноз — предупреждение — защита — восстановление» попросту не складывается.

3.5. Практика реализации

Практическая адаптация дорожной сети Таджикистана держится на внешнем финансировании (табл. 4). Инициативы сосредоточены в периметре проектов международных финансовых институтов, где требования климатической устойчивости выступают обязательным стандартом проектирования, а не пожеланием.

Таблица 4 — Крупнейшие инфраструктурные проекты с компонентами климатической адаптации в транспортном секторе Республики Таджикистан

Table 4 — Largest infrastructure projects with climate adaptation components in the transport sector of the Republic of Tajikistan

Проект	Финансирование	Параметры и адаптационные элементы
Дорога Обигарм — Нуробод (коридоры ЦАРЭС 2, 3, 5) [14, 15]	АБР — грант 110 млн долл.; ЕБРР — 44,8 км второго участка; АБИИ — 70 млн долл. (мост); ОПЕК-Фонд	72 км климатостойчивой дороги, 3 тоннеля (~6 км), высокий мост ~700 м и 13 мостов (~975 м); экспертиза климатических рисков по методологии FutureWater; трассировка в обход 500-километрового объезда
«Зелёный коридор» Дангара — Гулистон [13]	АБР — грант 86,67 млн долл.; ЕБРР — заём 40 млн долл.; Правительство РТ — 23 млн долл.	Расширение трассы до 4 полос на отрезке 49 км, пилотная эко-инициатива АБР; погодостойчивые технические решения, монтаж ЭЗС в гг. Дангара и Бохтар; сроки исполнения 2025–2030 гг.
Укрепление критической инфраструктуры против стихийных бедствий (Всемирный банк) [21]	Всемирный банк (МАР)	Реконструкция 17 мостовых переходов в ГБАО после гидрологических ЧС 2015 года с повышением исходных прочностных характеристик; комплекс инженерной защиты берегов
Проект готовности и устойчивости к бедствиям (Всемирный банк) [25]	Всемирный банк (МАР)	Укрепление опорных узлов инфраструктуры; развитие национальных механизмов управления риском бедствий и климатической адаптации

Проектная практика двигалась от ликвидации последствий к опережающему управлению рисками. Первое поколение проектов было реактивным: инфраструктуру восстанавливали постфактум, как после катастрофических паводков в ГБАО, где разрушенные мосты отстраивались заново с одновременным усилением защитных характеристик. Второй этап связан с проактивной оценкой. Проектирование трассы Обигарм — Нуробод изначально опиралось на специализированное исследование селевой, паводковой и лавинной опасности с наложением климатических сценариев [15].

Третье поколение формирует комплексный контур: реконструкция коридора Дангара — Гулистон объединяет жёсткую адаптацию с митигационными задачами [13], апробируются природоориентированные решения, закрепляющие стандарты «зелёных дорог» по методологии Азиатского банка развития.

Системному управлению климатической устойчивостью нужна методологическая опора, и концепцию жизненного цикла дорожной инфраструктуры для Таджикистана разработал Азиатский банк развития [19]. Логика её прозрачна. Вклад транспортного сектора в национальные выбросы парниковых газов оценивается приблизительно в 10 процентов, отсюда обоснование синергии адаптационных и митигационных мер на каждом этапе: проектирование, строительство, реабилитация, текущее содержание, эксплуатация увязаны в один контур.

Рекомендации концепции адресованы институциональным основам отрасли. Первоочередной задачей выступает устойчиво работающий дорожный фонд, который гарантирует бесперебойное финансирование содержания дорог [19]. Доходную базу фонда придётся диверсифицировать: переход на электромобили выводит финансирование за рамки традиционных топливных сборов. Параллельно необходимы обновление нормативной базы проектирования с одновременным учётом климатической адаптации и углеродной нейтральности, развитие механизмов государственно-частного партнёрства и профильных исследовательских платформ [19].

Пространственную конкретизацию капитальных вложений предлагает Страновой доклад о климате и развитии (CCDR) [26]. Приоритетные сегменты названы прямо: противолавинные галереи и снегозащитные барьеры критически необходимы на направлениях Лабиджар — Калайхумб, Мургаб — Каракуль — Кызыларт, Гулистон — Пяндж и Дехмой — Канибадам [26]. Для участков с низкой интенсивностью трафика расчёт даёт другой ответ, а именно системы раннего предупреждения вместо дорогостоящего капитального строительства [26].

Меняется и институциональная среда. Страновая стратегия ЕБРР на 2025–2030 годы закрепляет приоритет устойчивой инфраструктуры и зелёной экономики Таджикистана [23], а инструментарий CLIMADAPT решает смежную задачу, расширяя доступ частного сектора к профильным климатическим технологиям.

Реализованное на практике контрастирует с протяжённостью уязвимых зон. Глубокой модернизацией затронуто от 150 до 200 километров трасс против более чем 2000 километров детально обследованных высокорисковых коридоров [13, 14, 25]. Разрыв между точечными интервенциями и системной уязвимостью транспортного каркаса сохраняется.

4. Обсуждение (Discussions)

Институциональное становление адаптационного механизма идёт на фоне ресурсного дефицита, и масштаб физических угроз с текущим финансированием несопоставим. Потребность в капитальной инженерной защите превышает 400 млн долл. США [25]. Сопоставление с бюджетами национального плана действий и проектных инициатив даёт покрытие расчётных потребностей максимум на 10–15 процентов.

Паттерн этот характерен для государств с низким уровнем доходов и высокой уязвимостью к изменению климата, о чём и говорит Страновой доклад о климате и развитии (CCDR) [26]. Практика его подтверждает. Без масштабного притока внешнего климатического финансирования целевые показатели климатической устойчивости недостижимы, и признать это лучше на этапе планирования, чем по факту невыполнения.

Отсюда вопрос, от которого трудно уйти: удержит ли модель точечного донорского софинансирования инфраструктуру горных регионов при ускоренном таянии ледников, или сеть так и будет восстанавливаться после каждого разрушения?

Сплошное бетонирование горных склонов экономически несостоятельно [21, 25]. Распределять ограниченный бюджет придётся точно.

Швейцария, Австрия, Япония дают проверенную гибридную модель. Трёхуровневая стратегия оптимизирует расходы, не снижая уровень безопасности. Капитальные вложения концентрируются на критических участках с максимальной интенсивностью движения и отсутствием объезда. Там, где стационарные инженерные сооружения не окупаются, акцент переносится на предиктивный мониторинг, системы раннего предупреждения и регламенты временного закрытия трасс. Третий уровень отвечает за оперативное реагирование: аварийные резервы мостовых модулей, мобильные бригады экстренных служб.

Стоимость дорожного коллапса растёт вместе с загрузкой сети. За 2018–2023 годы объём грузовых перевозок увеличился более чем на треть [10], и при такой плотности потока каждый незапланированный перерыв движения обходится национальной экономике дороже, чем пять лет назад. Соединение точечной капитальной защиты с технологиями оперативного прогнозирования остаётся практически единственным работающим сценарием сохранения транспортной связности горных регионов.

Институциональный анализ вскрывает асимметрию: климатические требования к транспортным объектам де-факто импортируются через регламенты международных финансовых институтов, тогда как национальная нормативная база дорожного проектирования обновляется значительно медленнее.

Выход лежит в переносе практик, апробированных в проектах АБР и ЕБРР, в национальные строительные нормы. Приоритеты здесь такие:

- обязательная климатическая оценка для всех вновь проектируемых трасс;
- повышение расчётных параметров водопропускных сооружений с учётом проекций экстремальных осадков СМIP6;
- жёсткие требования к термической стабильности асфальтобетонных покрытий;
- унификация стандартов противоселевой и противолавинной защиты.

Тогда климатоустойчивое проектирование выйдет за пределы изолированных донорских коридоров и охватит всю дорожную сеть, включая местную инфраструктуру, на которую приходится основная доля аварийного ущерба.

Концепция жизненного цикла дорожной инфраструктуры, обоснованная АБР [19], добавляет ещё один императив, а именно устойчивый дорожный фонд целевого содержания. Регулярный уход за полотном остаётся самой дешёвой формой адаптации из существующих: исправная, вовремя обслуживаемая сеть сопротивляется экстремальным природным нагрузкам заметно лучше запущенной.

Исследования переходных рисков показывают, что адаптационную повестку и стратегию низкоуглеродного развития в Таджикистане разделять нецелесообразно: вести их следует синхронно, опираясь на технологическую взаимозависимость национальной транспортной и энергетической систем [20].

Социальная устойчивость региона производна от связности транспортной инфраструктуры. Около трети совокупного экономического ущерба формирует изоляция локальных сообществ [21]. Адаптация транспортного каркаса работает, следовательно, ещё и как инструмент защиты доступа населения к медицинским услугам и продовольственной логистике, а традиционные критерии отбора маршрутов, интенсивность движения и объём грузопотока, придётся дополнять индексами социальной критичности.

Нынешний профиль угроз стоит воспринимать как нижнюю границу оценки. Усиление экстремальных осадков в высокогорьях [17, 18] накладывается на прогрессирующую деградацию оледенения [2], и будущая нагрузка превысит текущую кратно. Максимум риска приходится на Горно-Бадахшанскую автономную область. Высокогорные трассы ГБАО собирают весь спектр деструктивных факторов, от селей и лавин до деградации мерзлоты, при нулевой дублируемости маршрутов и дефиците ресурсов местных дорожных служб; отдельная субрегиональная программа климатической устойчивости выглядит здесь разумным ответом.

Границы выполненной аналитики очевидны. Работа опирается на вторичные данные с неоднородным временным горизонтом, 2020–2025 годы. Уже названная неполнота открытой статистики по железнодорожному и воздушному транспорту оставляет за рамками отдельный сюжет: термические деформации рельсового полотна, влияние экстремальных температур на работу аэропортов Душанбе и Худжанда. Эти вопросы требуют самостоятельного изучения.

Направление дальнейших изысканий определено: количественные модели риска для ключевых транспортных коридоров на региональных климатических прогнозах высокого разрешения плюс оценка социально-экономической эффективности внедряемых систем раннего предупреждения.

5. Заключение (Conclusions)

Картина получается жёсткая. Транспортный каркас Таджикистана находится на пересечении нарастающих климатических угроз и критической зависимости страны от наземных перевозок.

Ключевые результаты работы сведены ниже.

— Масштаб экспозиции. Лавинам и селям подвержены шестьдесят семь процентов опасных участков ключевых коридоров. Ущерб достиг 0,5 процента ВВП, около 45 млн долл. США ежегодно, и к середине 2030-х годов вырастет до 80 млн долл. США [21, 25]. Грузопоток за тот же период прибавил 34,6 процента, почти 95 процентов работы приходится на автодороги [10]. Сеть работает на пределе пропускной способности.

— Физические драйверы. Региональное потепление и климатические проекции CMIP6 дают прирост экстремальных осадков в высокогорьях на 16–33 процента [17, 18], а ускоренная деградация ледников и вечной мерзлоты запускает каскадные механизмы разрушения, от термостарения асфальтобетона до крупных оползней.

— Институциональный дефицит. Стратегическая база сформирована [3, 5, 24]. Национальное финансирование покрывает реальные потребности в лучшем случае на 10–15 процентов, а требования климатической устойчивости приходят через проекты международных финансовых институтов, не через внутренние регламенты.

— Гибридная оптимизация. Сплошное инженерное укрепление тысяч километров горных трасс нереализуемо экономически, работоспособна трёхуровневая модель: точечная капитальная защита критических узлов, предиктивный мониторинг с регламентами временного закрытия дорог, укрепление потенциала оперативного реагирования.

Расчётная потребность во внешнем климатическом финансировании оценивается в 2,0 млрд долл. США до 2030 года и 5,4 млрд долл. США до 2050 года; его мобилизация способна сократить макроэкономические потери с 5–6 процентов до 2,0–3,8 процента ВВП [26]. Иначе финансирование ремонта будет и дальше следовать за разрушениями, а не опережать их.

Рецензент: Джурахонзода Р. — доктор PhD, доцент кафедры БЖД и Экология, ТПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Абдулло, М. А. Бехатарии автомобилҳои барқӣ ва таъсири онҳо ба партови газҳои гулхонагӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон / М. А. Абдулло, Р. Д. Чурахонзода, С. Х. Давлатзода // Фурӯғи Илм. – 2025. – № 3. – С. 36–46. – Текст : непосредственный. – ISSN 3078-395X. – DOI: 10.5281/zenodo.19108735.
2. Ледники — водные ресурсы Таджикистана в условиях изменения климата. – Душанбе : Государственное Учреждение по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистана. – Текст : электронный.
3. Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года : утв. постановлением Правительства Респ. Таджикистан от 2 окт. 2019 г. № 482. – Душанбе, 2019. – Текст : электронный.
4. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года : утв. постановлением Маджлиси намояндагон Маджлиси Оли Республики Таджикистан от 1 дек. 2016 г. № 636. – Душанбе, 2019. – Текст : электронный.
5. О Плана действий Национальной стратегии адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года на 2025–2027 годы : постановление Правительства Респ. Таджикистан от 24 июля 2025 г. № 404. – 2025. – Текст : электронный.
6. Сайфиддинзода, О. С. Углеродный след и климатическая уязвимость Республики Таджикистан / О. С. Сайфиддинзода, М. А. Абдулло, Р. Д. Джурахонзода, С. Х. Давлатзода // Фуруги илм (Сияние науки). – 2025. – № 4. – С. 53–62. – Текст : непосредственный. – ISSN 3078-395X. – DOI: 10.5281/zenodo.18910312.
7. Статистический ежегодник Республики Таджикистан : статистический сборник. — Душанбе : Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2025. – Текст : непосредственный.
8. Стратегия выживания: Таджикистан готовится к изменению климата - Азия-Плюс. – Текст : электронный. URL: <https://asiaplus.news/2024/11/26/strategiya-vyzhivaniya-tadzhikistan-gotovitsya-k-izmeneniyu-klimata/> (дата обращения: 08.09.2026).
9. Таджикистан против изменения климата: план на 3 года и 3 миллиарда - Азия-Плюс. – Текст : электронный. URL: <https://asiaplus.news/2025/08/21/tadzhikistan-protiv-izmeneniya-klimata-plan-na-3-goda-i-3-milliarda/> (дата обращения: 08.09.2026).
10. Транспорт и связь Республики Таджикистан : статистический сборник. — Душанбе : Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 2024. – Текст : непосредственный.
11. Четвёртое национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Душанбе : Комитет по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан, 2021. – Текст : электронный.
12. Asian Development Bank Tajikistan Transport Sector Assessment / Asian Development Bank. – Manila, Philippines : Asian Development Bank, 2021. – ISBN 978-92-9269-215-5. – Текст : электронный. – DOI: 10.22617/TCS210478-2.

13. Bank, A. D. ADB Approves \$86.67 Million Grant to Develop Green Road Corridor in Tajikistan / A. D. Bank. – Текст : электронный. URL: <https://www.adb.org/news/adb-approves-86-67-million-grant-develop-green-road-corridor-tajikistan> (дата обращения: 08.09.2026).
14. Central Asia Regional Economic Cooperation Corridors 2, 3, and 5 (Obigarm-Nurobod) Road Project. – Текст : электронный. URL: <https://www.adb.org/projects/52042-001/main> (дата обращения: 08.09.2026).
15. Climate Risk Assessment CAREC Road Project, Tajikistan – FutureWater. – Текст : электронный. URL: <https://www.futurewater.eu/projects/climate-risk-assessment-carec-corridors-road-project-tajikistan/> (дата обращения: 08.09.2026).
16. Climate Risk Country Profile: Tajikistan // 2021. – Текст : электронный. URL: <https://www.adb.org/publications/climate-risk-country-profile-tajikistan> (дата обращения: 25.12.2025).
17. Gulakhmadov, A. Modeling of historical and future changes in temperature and precipitation in the Panj River Basin in Central Asia under the CMIP5 RCP and CMIP6 SSP scenarios / A. Gulakhmadov, X. Chen, N. Gulahmadov, M. Rizwan, M. Gulakhmadov, M. U. Nadeem, M. Rakhimova, T. Liu // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 3037. – Текст : непосредственный. – ISSN 2045-2322. – DOI: 10.1038/s41598-025-86366-4.
18. Gummadi, S. Assessing high-resolution precipitation extremes in Central Asia: evaluation and future projections / S. Gummadi, S. Samineni, L. A. B. Lopez-Lavalle // Climatic Change. – 2025. – Т. 178, № 2. – С. 29. – Текст : непосредственный. – ISSN 1573-1480. – DOI: 10.1007/s10584-025-03872-0.
19. Idei, R. Proposed Life Cycle Approach for Promoting Climate Resilience and Carbon Neutrality: Case of the Road Subsector in Tajikistan / R. Idei // 2024. – Текст : электронный. URL: <https://www.adb.org/publications/climate-resilience-carbon-neutrality-road-tajikistan> (дата обращения: 23.11.2025).
20. Opitz-Stapleton, S. Understanding the climate and net-zero transition risks and opportunities in Tajikistan / S. Opitz-Stapleton, V. Panwar, O. Borodyna, I. Nijhar, R. Nadin // 2022. – Текст : электронный. URL: <https://search.issuelab.org/resources/43470/43470.pdf> (дата обращения: 23.11.2025).
21. Resilient roads: Protecting critical lifelines in mountainous Tajikistan // World Bank Blogs. – Текст : электронный. URL: <https://blogs.worldbank.org/en/europeandcentralasia/resilient-roads-protecting-critical-lifelines-mountainous-tajikistan> (дата обращения: 08.09.2026).
22. Tajikistan - Country Overview | Climate Change Knowledge Portal. – Текст : электронный. URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/tajikistan> (дата обращения: 08.09.2026).
23. Tajikistan Country Strategy 2025–2030. – London : European Bank for Reconstruction and Development, 2025. – Текст : электронный.
24. Tajikistan First NDC (Updated submission) | UNFCCC. – Текст : электронный. URL: <https://unfccc.int/documents/497987> (дата обращения: 24.12.2025).
25. World Bank Assessment of Economic Impacts from Disasters Along Key Corridors : Final Report / World Bank. – Washington, DC : GFDRR, 2021. – Текст : электронный.
26. World Bank Group Tajikistan Country Climate and Development Report / World Bank Group. – Washington, DC, 2024. – Текст : электронный.
27. Fallah, B. H. Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections / B. H. Fallah, I. Didovets, M. Rostami, M. Hamidi // International Journal of Climatology. – 2024. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.1002/joc.8519.

References

1. Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Bekhatarii avtomobilhoi barqi va tasiri onho ba partovi gazhoi gulkhonagi dar Jumhuri Tojikiston [Safety of electric vehicles and their impact on greenhouse gas emissions in the Republic of Tajikistan]. Furughi Ilm [The Glow of Science], (3), 36–46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19108735>
2. State Agency for Hydrometeorology of the Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan. (2021). Ledniki — vodnyye resursy Tadjikistana v usloviyakh izmeneniya klimata [Glaciers — water resources of Tajikistan in conditions of climate change].
3. Government of the Republic of Tajikistan. (2019, October 2). Natsional'naya strategiya adaptatsii k izmeneniyu klimata Respubliki Tadjikistan na period do 2030 goda [National Strategy for Adaptation to Climate Change of the Republic of Tajikistan for the period up to 2030] (Decree No. 482).
4. Majlisi Namoyandagon of the Majlisi Oli of the Republic of Tajikistan. (2016, December 1). Natsional'naya strategiya razvitiya Respubliki Tadjikistan na period do 2030 goda [National Development Strategy of the Republic of Tajikistan for the period up to 2030] (Resolution No. 636).
5. Government of the Republic of Tajikistan. (2025, July 24). O Plane deystviy Natsional'noy strategii adaptatsii k izmeneniyu klimata Respubliki Tadjikistan na period do 2030 goda na 2025–2027 gody [On the Action Plan of the National Strategy for Adaptation to Climate Change of the Republic of Tajikistan for the period up to 2030 for 2025–2027] (Decree No. 404).
6. Sayfiddinzoda, O. S., Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Uglerodnyy sled i klimaticheskaya uyazvimost' Respubliki Tadjikistan [Carbon footprint and climate vulnerability of the Republic of Tajikistan]. Furugi ilm (Siyanie nauki) [The Glow of Science], (4), 53–62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18910312>
7. Agency for Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. (2025). Statisticheskii yezhegodnik Respubliki Tadjikistan [Statistical yearbook of the Republic of Tajikistan] (Statistical compendium).
8. Asia-Plus. (2024, November 26). Strategiya vyzhivaniya: Tadjikistan gotovitsya k izmeneniyu klimata [Survival strategy: Tajikistan prepares for climate change]. <https://asiaplus.news/2024/11/26/strategiya-vyzhivaniya-tadjikistan-gotovitsya-k-izmeneniyu-klimata/>

9. Asia-Plus. (2025, August 21). Tadjikistan protiv izmeneniya klimata: plan na 3 goda i 3 milliarda [Tajikistan against climate change: 3-year and 3-billion plan]. <https://asiaplus.news/2025/08/21/tadjikistan-protiv-izmeneniya-klimata-plan-na-3-goda-i-3-milliarda/>
10. Agency for Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. (2024). Transport i svyaz' Respubliki Tadjikistan [Transport and communication of the Republic of Tajikistan] (Statistical compendium).
11. Committee for Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan. (2021). Chetvortoye natsional'noye soobshcheniye Respubliki Tadjikistan po Ramochnoy konventsii OON ob izmenenii klimata [Fourth National Communication of the Republic of Tajikistan under the UN Framework Convention on Climate Change].
12. Asian Development Bank. (2021). Tajikistan transport sector assessment. Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/TCS210478-2>
13. Asian Development Bank. (2023). ADB approves \$86.67 million grant to develop green road corridor in Tajikistan. <https://www.adb.org/news/adb-approves-86-67-million-grant-develop-green-road-corridor-tajikistan>
14. Asian Development Bank. (2021). Central Asia Regional Economic Cooperation Corridors 2, 3, and 5 (Obigarm-Nurobod) Road Project. <https://www.adb.org/projects/52042-001/main>
15. FutureWater. (2021). Climate risk assessment CAREC road project, Tajikistan. <https://www.futurewater.eu/projects/climate-risk-assessment-carec-corridors-road-project-tajikistan/>
16. Asian Development Bank, & World Bank Group. (2021). Climate risk country profile: Tajikistan. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/climate-risk-country-profile-tajikistan>
17. Gulakhmadov, A., Chen, X., Gulakhmadov, N., Rizwan, M., Gulakhmadov, M., Nadeem, M. U., Rakhimova, M., & Liu, T. (2025). Modeling of historical and future changes in temperature and precipitation in the Panj River Basin in Central Asia under the CMIP5 RCP and CMIP6 SSP scenarios. *Scientific Reports*, 15(1), 3037. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86366-4>
18. Gummadi, S., Samineni, S., & Lopez-Lavalle, L. A. B. (2025). Assessing high-resolution precipitation extremes in Central Asia: Evaluation and future projections. *Climatic Change*, 178(2), 29. <https://doi.org/10.1007/s10584-025-03872-0>
19. Idei, R. (2024). Proposed life cycle approach for promoting climate resilience and carbon neutrality: Case of the road subsector in Tajikistan (ADB Sustainable Development Working Paper Series No. 91). Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/climate-resilience-carbon-neutrality-road-tajikistan>
20. Opitz-Stapleton, S., Panwar, V., Borodyna, O., Nijhar, I., & Nadin, R. (2022). Understanding the climate and net-zero transition risks and opportunities in Tajikistan. Overseas Development Institute (ODI). <https://search.israelab.org/resources/43470/43470.pdf>
21. World Bank. (2023). Resilient roads: Protecting critical lifelines in mountainous Tajikistan. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/en/europeandcentralasia/resilient-roads-protecting-critical-lifelines-mountainous-tajikistan>
22. World Bank Group. (2021). Tajikistan country overview. Climate Change Knowledge Portal. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/tajikistan>
23. European Bank for Reconstruction and Development. (2025). Tajikistan country strategy 2025–2030. European Bank for Reconstruction and Development.
24. Government of the Republic of Tajikistan. (2021). Tajikistan first NDC (Updated submission). United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). <https://unfccc.int/documents/497987>
25. World Bank. (2021). Assessment of economic impacts from disasters along key corridors: Final report. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR).
26. World Bank Group. (2024). Tajikistan country climate and development report. World Bank Group.
27. Fallah, B. H., Didovets, I., Rostami, M., & Hamidi, M. (2024). Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections. *International Journal of Climatology*, 44(11), 3912–3929. <https://doi.org/10.1002/joc.8519>

Сведения об авторе:

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета по им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Маълумот оид ба муаллиф:

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, номзади илмҳои техника, дотсенти кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Information about the author:

Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАД УРОВНЕМ МОРЯ НА СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

М.Р. Саидзода, М.А. Абдулло, Р.Х. Саидзода, А.Д. Рахмонзода

Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими

Рассмотрено изменение состава отработавших газов легкового автомобиля с гибридной силовой установкой при подъёме по горной дороге. Измерения выполнены 22.09.2026 на автомобиле Lexus RX 450h (2015 г.) на шести отметках от 801 до 2615 м над уровнем моря вдоль дороги Душанбе – тоннель «Истиклол»; атмосферное давление при этом снижалось с 92,3 до 74,6 кПа. Содержание CO, CH, NOx и CO₂ определяли газоанализатором «Автотест» на холостом ходу и при повышенной частоте вращения коленчатого вала, по шесть замеров в каждой серии (всего 72). Результаты обработаны по распределению Стьюдента ($P = 0,95$), зависимость от высоты оценена линейной регрессией и дисперсионным анализом. Концентрация углеводородов увеличилась с 15,2 до 32,3 млн–1 на холостом ходу и с 14,5 до 32,7 млн–1 при повышенной частоте вращения, то есть примерно на 9,4–9,7 млн–1 на каждые 1000 м ($R^2 = 0,95–0,98$). Оксиды азота, напротив, снизились на 83–89 %, объёмная доля CO₂ на 8–14 %. Для CO устойчивой высотной зависимости не выявлено, средние значения не превышали 0,18 %. Полученные зависимости можно использовать при корректировке методик контроля токсичности автомобилей, эксплуатируемых в горных районах Республики Таджикистан.

Ключевые слова: горная дорога; высота над уровнем моря; отработавшие газы; углеводороды; оксиды азота; гибридный автомобиль; газоанализатор; Варзоб.

ТАЪСИРИ БАЛАНДИ АЗ САТҲИ БАҲР БА ТАРКИБИ ГАЗҲОИ ИСТИФОДАШУДАИ АВТОМОБИЛИ ГИБРИДӢ БО МУҲАРРИКИ БЕНЗИНӢ

М.Р. Саидзода, М.А. Абдулло, Р.Х. Саидзода, А.Д. Рахмонзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола тағйирёбии таркиби газҳои истифодашудаи автомобили сабукрав бо дастгоҳи қувваи гибриди Ҳангоми баромадан аз роҳи кӯҳӣ баррасӣ шудааст. Ченкуниҳо 22.09.2026 дар автомобили Lexus RX 450h (соли 2015) дар шаш нукта аз 801 то 2615 м аз сатҳи баҳр дар роҳи Душанбе – нақби «Истиклол» гузаронида шуданд; фишори атмосферӣ аз 92,3 то 74,6 кПа паст шуд. Микдори CO, CH, NOx ва CO₂ бо газтаҳлилқунадаи «Автотест» дар гардиши холӣ ва гардиши баланди валли зонуюкӣ муайян карда шуд, дар ҳар як силсила шаш ченкунӣ (ҳамагӣ 72). Натиҷаҳо бо тақсмоти Студент ($P = 0,95$) коркард шуда, вобастагӣ аз баландӣ бо регрессияи хаттӣ ва таҳлили дисперсионӣ арзёбӣ гардид. Концентрацияи карбогидрогенҳо дар гардиши холӣ аз 15,2 то 32,3 млн–1 ва дар гардиши баланд аз 14,5 то 32,7 млн–1 афзуд, яъне тақрибан 9,4–9,7 млн–1 ба ҳар 1000 м. Оксидҳои нитроген 83–89 % ва ҳиссаи ҳаҷмии CO₂ 8–14 % кам шуданд. Барои CO вобастагии устувор аз баландӣ ошкор нашуд. Натиҷаҳо Ҳангоми ислоҳи усулҳои назорати захрнокии автомобилҳое, ки дар минтақаҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода мешаванд, истифода бурдан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: роҳи кӯҳӣ; баландӣ аз сатҳи баҳр; газҳои истифодашуда; карбогидрогенҳо; оксидҳои нитроген; автомобили гибриди; газтаҳлилқунада; Варзоб.

EFFECT OF ALTITUDE ON EXHAUST GAS COMPOSITION OF A PETROL HYBRID PASSENGER CAR

M.R. Saidzoda, M.A. Abdullo, R.H. Saidzoda, A.J. Rahmonzoda

Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi

The paper examines how the exhaust composition of a petrol hybrid passenger car changes as it climbs a mountain road. On 22 September 2026 a Lexus RX 450h (2015) was tested at six stations between 801 and 2615 m above sea level along the Dushanbe – Istiqlol tunnel road, where ambient pressure fell from 92.3 to 74.6 kPa. CO, HC, NOx and CO₂ were measured with an Avtotest gas analyser at idle and at elevated crankshaft speed, six readings per series (72 in total). Data were processed with Student's t-distribution ($P = 0.95$); the altitude effect was assessed by linear regression and one-way ANOVA. Hydrocarbon concentration rose from 15.2 to 32.3 ppm at idle and from 14.5 to 32.7 ppm at elevated speed, i.e. by about 9.4–9.7 ppm per 1000 m ($R^2 = 0.95–0.98$). Nitrogen oxides fell by 83–89 % and the CO₂ volume fraction by 8–14 %. No consistent altitude dependence was found for CO, whose mean values stayed at or below 0.18 %. The relationships obtained can support the adjustment of exhaust inspection procedures for vehicles operated in the mountain regions of Tajikistan.

Keywords: mountain road; altitude; exhaust gases; hydrocarbons; nitrogen oxides; hybrid vehicle; gas analyser; Varzob.

1. Введение (Introduction)

От Душанбе до южного портала тоннеля «Истиклол» дорога набирает около 1800 м высоты на расстоянии порядка 55 км по прямой. На этом участке двигатель одного и того же автомобиля попадает в среду, где атмосферное давление ниже примерно на пятую часть. Для технического контроля такой перепад почти не учитывается: нормы содержания вредных веществ в отработавших газах и методы их проверки едины для равнины и высокогорья [2].

С высотой меняются давление, плотность и температура воздуха, а через них состав горючей смеси, индикаторный КПД и мощность двигателя [1, 7, 8]. Для Таджикистана горные условия изучались главным образом с позиций расхода топлива и безопасности: разработана методика нормирования расхода сжиженного газа легковыми автомобилями на горных маршрутах [5], исследована

термонагруженность тормозных систем на затяжных уклонах [3]. Экологическая сторона вопроса проработана слабее.

В зарубежных работах высотный эффект измеряли в климатических камерах и на дорогах. Нао и соавт. показали, что максимальный крутящий момент бензинового двигателя уменьшается с ростом высоты, а зона минимальных удельных расходов топлива сужается [11]. В высотной камере Ren и соавт. зафиксировали рост выбросов CO и суммарных углеводородов при ухудшении сгорания; оксиды азота сначала снижались, а затем росли по мере падения эффективности трёхкомпонентного нейтрализатора [14]. У дизельного фургона на холостом ходу выброс CO на 3200 м оказался более чем на 150 % выше, чем у уровня моря, тогда как NOx почти не менялся [18]. Дорожные испытания с бортовыми системами PEMS на Цинхай-Тибетском плато дают иную картину: выброс CO₂ бензиновых автомобилей вырос менее чем на 15 % в диапазоне 2270–4540 м, а CO и NOx изменялись немонотонно [13]; по другим данным, для лёгких бензиновых автомобилей прирост выброса CO₂ при подъёме с 2,0 до 4,5 км составил 38,5 % [17], а в сопоставлении низко- и высокогорного городов влияние давления на сгорание названо одним из ведущих факторов [16].

Сопоставлять эти результаты напрямую мешает разнородность методов: одни авторы измеряют массовые выбросы на километр пробега в ездовом цикле, другие концентрации на неподвижном автомобиле. На дорожный эффект накладываются уклон [15], интенсивность и характер движения [12], возраст и техническое состояние парка [4, 9]. Гибридные силовые установки в высотных испытаниях представлены скупо, хотя в европейских лабораторных программах их уже включают в испытываемый парк [10].

Цель работы состоит в количественной оценке изменения концентраций CO, CH, NOx и CO₂ в отработавших газах гибридного автомобиля с бензиновым двигателем в диапазоне высот 801–2615 м в реальных условиях дороги Душанбе – тоннель «Истиклол».

2. Материалы и методы (Materials and methods)

Объектом испытаний был легковой автомобиль Lexus RX 450h 2015 г. выпуска с гибридной силовой установкой и бензиновым двигателем. Измерения провели 22.09.2026 при подъёме по дороге Душанбе – тоннель «Истиклол» вдоль долины р. Варзоб: от района Душанбинской ТЭЦ до южного портала тоннеля. Пункты измерений (табл. 1) выбраны на отметках 801, 1049, 1488, 1660, 2171 и 2615 м; координаты и высоты определены приложением GPS Info со спутниковой точностью 4–9 м. Продольный профиль участка показан на рис. 1.

Таблица 1 – Пункты измерений и условия проведения испытаний

Table 1 – Measurement points and test conditions

Высота, м	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.	Давление, кПа	t_v , °C	n_{xx} , мин ⁻¹	$n_{пчв}$, мин ⁻¹
801	38,60528	68,77242	92,3	31	677	2547
1049	38,76874	68,81922	87,45	29	672	2533
1488	38,92015	68,80927	85,36	27	665	2533
1660	38,96203	68,77771	83,9	26	673	2583
2171	39,05289	68,74636	78,3	25	672	2583
2615	39,06175	68,70007	74,6	24	673	2558

Примечание: t_v – температура воздуха; n – средняя частота вращения коленчатого вала в серии.

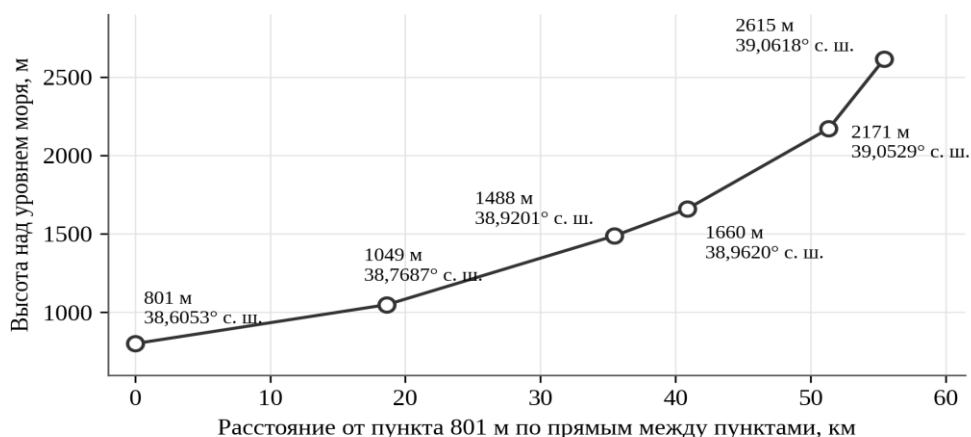


Рисунок 1 – Продольный профиль участка Душанбе – тоннель «Истиклол» с пунктами измерений
Figure 1 – Longitudinal profile of the Dushanbe – Istiklol tunnel section with measurement points

Состав отработавших газов определяли четырёхкомпонентным газоанализатором «Автотест» производства ООО «МЕТА» (дата поверки 25.01.2026). Пробоотборный зонд устанавливали в выпускную трубу; общий вид установки дан на рис. 2. Двигатель прогревали до рабочей температуры: по всем сериям температура масла находилась в пределах 84–88 °С. На каждой отметке выполнено две серии по шесть замеров: на холостом ходу (XX, 630–700 мин⁻¹) и при повышенной частоте вращения коленчатого вала (ПЧВ, 2350–2700 мин⁻¹). Всего получено 72 замера. Показания СН и NO_x регистрировались с дискретностью 1 млн⁻¹.



Рисунок 2 – Процесс измерения с использованием газоанализатора Autotest на автомагистрали
Figure 2 – The measurement process using the Autotest gas analyzer on the highway

Обработка результатов прямых измерений велась по серии объёмом $n = 6$. Среднее значение и среднеквадратичное отклонение отдельного замера вычисляли по формулам

$$\bar{x} = (1/n) \cdot \sum x_i; \quad S = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}, \quad (1)$$

границы доверительного интервала и относительную погрешность по формулам

$$\Delta x = t(P; n) \cdot S / \sqrt{n}; \quad \varepsilon = \Delta x / \bar{x} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $t(P; n) = 2,571$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и $n - 1 = 5$ степенях свободы. Связь каждого показателя с высотой H описывали линейной моделью

$$y = a + b \cdot H, \quad (3)$$

параметры которой находили методом наименьших квадратов по 36 индивидуальным замерам каждого режима; значимость коэффициента b проверяли t -критерием, различие между высотными группами однофакторным дисперсионным анализом, различие режимов на одной отметке критерием Уэлча. Уровень значимости принят 0,05.

3. Результаты (Results)

Сводные результаты приведены в табл. 2, параметры высотных зависимостей в табл. 3, графическая интерпретация на рис. 3.

Таблица 2 – Содержание компонентов в отработавших газах, $\bar{x} \pm \Delta x$ ($P = 0,95$; $n = 6$)

Table 2 – Content of components in exhaust gases, $\bar{x} \pm \Delta x$ ($P = 0,95$; $n = 6$)

Показатель	Режим	801 м	1049 м	1488 м	1660 м	2171 м	2615 м
CO, %	XX	$0,077 \pm 0,014$	$0,085 \pm 0,011$	$0,088 \pm 0,015$	$0,080 \pm 0,016$	$0,063 \pm 0,023$	$0,058 \pm 0,028$
	ПЧВ	$0,173 \pm 0,031$	$0,120 \pm 0,024$	$0,127 \pm 0,029$	$0,150 \pm 0,033$	$0,143 \pm 0,055$	$0,157 \pm 0,043$
СН, млн ⁻¹	XX	$15,17 \pm 0,43$	$18,67 \pm 0,54$	$22,17 \pm 0,43$	$25,17 \pm 0,43$	$29,00 \pm 0,66$	$32,33 \pm 1,08$
	ПЧВ	$14,50 \pm 0,57$	$18,33 \pm 0,86$	$21,50 \pm 1,10$	$24,67 \pm 0,86$	$28,17 \pm 1,39$	$32,67 \pm 2,45$
NO _x , млн ⁻¹	XX	$5,83 \pm 1,03$	$4,50 \pm 1,10$	$3,33 \pm 1,08$	$2,33 \pm 0,54$	$1,33 \pm 1,08$	$0,67 \pm 0,54$

Показатель	Режим	801 м	1049 м	1488 м	1660 м	2171 м	2615 м
CO ₂ , %	ПЧВ	7,83 ± 0,79	6,83 ± 0,79	5,50 ± 0,57	4,17 ± 0,79	3,33 ± 0,54	1,33 ± 0,54
	XX	14,13 ± 0,40	13,78 ± 0,42	13,31 ± 0,39	12,96 ± 0,34	12,53 ± 0,20	12,12 ± 0,60
	ПЧВ	14,76 ± 0,53	14,42 ± 0,22	14,20 ± 0,22	13,89 ± 0,29	13,72 ± 0,32	13,58 ± 0,42

Сильнее всего на высоту реагируют углеводороды. На холостом ходу их концентрация выросла с $15,17 \pm 0,43$ млн⁻¹ у Душанбе до $32,33 \pm 1,08$ млн⁻¹ на отметке 2615 м, при ПЧВ с $14,50 \pm 0,57$ до $32,67 \pm 2,45$ млн⁻¹. Рост почти линейен: коэффициент b составил 9,37 млн⁻¹/км на XX и 9,67 млн⁻¹/км при ПЧВ, коэффициент детерминации 0,978 и 0,952. Режим работы на содержание СН практически не влияет: значимое различие между XX и ПЧВ отмечено только на отметке 801 м ($p = 0,04$), на остальных $p = 0,19$ – $0,76$.

Оксиды азота ведут себя противоположным образом. На холостом ходу среднее содержание NO_x снизилось с 5,83 до 0,67 млн⁻¹ (на 88,6 %), при ПЧВ с 7,83 до 1,33 млн⁻¹ (на 83,0 %). Абсолютные значения здесь малы и сопоставимы с дискретностью отсчёта (1 млн⁻¹), поэтому на отметках 2171 и 2615 м относительная погрешность серий на XX достигает 81 %; тренд тем не менее выражен ($R^2 = 0,79$ и $0,91$, $p < 0,001$).

Объёмная доля CO₂ уменьшилась на 14,2 % на XX (с 14,13 до 12,12 %) и на 8,0 % при ПЧВ (с 14,76 до 13,58 %). Для CO устойчивой высотной зависимости нет. При ПЧВ регрессия незначима ($p = 0,85$), дисперсионный анализ различий между отметками не выявил ($p = 0,14$). На холостом ходу связь формально значима ($p = 0,008$), но слаба ($R^2 = 0,19$) и направлена в сторону снижения CO с высотой. Повышенная частота вращения на всех отметках дала более высокие CO, NO_x и CO₂, чем холостой ход (критерий Уэлча, $p < 0,05$).

Таблица 3 – Параметры линейной зависимости $y = a + b \cdot H$ (H , км) по 36 замерам каждого режима

Table 3 – Parameters of the linear dependence $y = a + b \cdot H$ (H , km) for 36 measurements of each mode

Показатель	Режим	a	b, ед./км	R ²	p (b)	p (ANOVA)	Δ, %
Оксид углерода CO, %	XX	0,098	-0,0137	0,187	0,008	0,039	-23,9
	ПЧВ	0,142	0,0019	0,001	0,854	0,137	-9,6
Углеводороды СН, млн ⁻¹	XX	8,47	9,37	0,978	< 0,001	< 0,001	+113,2
	ПЧВ	7,53	9,67	0,952	< 0,001	< 0,001	+125,3
Оксиды азота NO _x , млн ⁻¹	XX	7,58	-2,81	0,793	< 0,001	< 0,001	-88,6
	ПЧВ	10,50	-3,47	0,914	< 0,001	< 0,001	-83,0
Диоксид углерода CO ₂ , %	XX	14,94	-1,10	0,781	< 0,001	< 0,001	-14,2
	ПЧВ	15,13	-0,64	0,599	< 0,001	< 0,001	-8,0

Примечание: Δ – изменение среднего значения на отметке 2615 м относительно отметки 801 м.

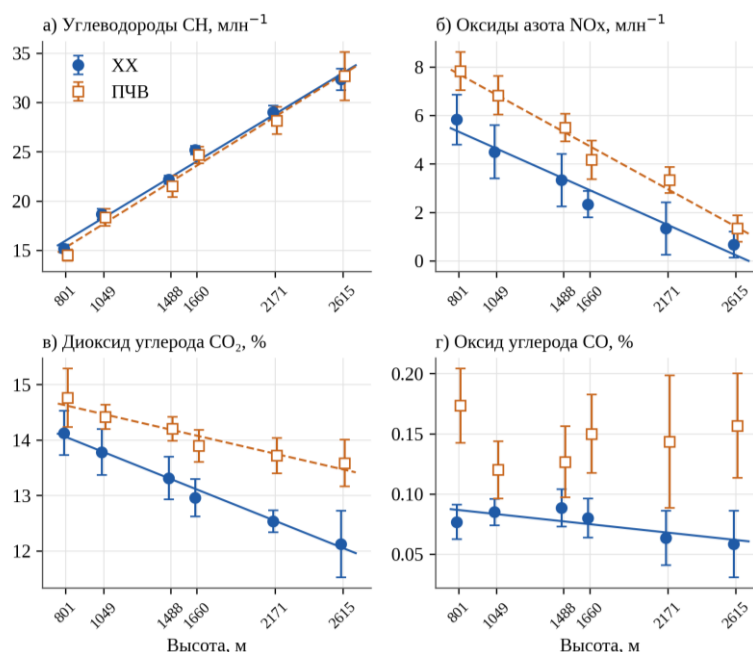


Рисунок 3 – Зависимость содержания СН (а), NO_x (б), CO₂ (в) и CO (г) от высоты: точки – средние значения с доверительным интервалом ($P = 0,95$), линии – значимые регрессии; ● – XX, □ – ПЧВ

Figure 3 – Dependence of the content of CH (a), NO_x (b), CO₂ (c) and CO (d) on the altitude: points are mean values with a confidence interval ($P = 0,95$), lines are significant regressions; ● – XX (idle speed), □ – ПЧВ (high crankshaft speed)

4. Обсуждение (Discussions)

Почему углеводородов становится вдвое больше, а СО почти не меняется? Современная система управления с обратной связью по датчикам кислорода удерживает состав смеси близким к стехиометрическому и при пониженной плотности воздуха, поэтому обогащения смеси, характерного для карбюраторных двигателей, ожидать не приходится. Рост СН при этом согласуется с данными высотной камеры, где увеличение углеводородов связывается с ухудшением сгорания [14]: при меньшей плотности заряда снижаются давление и температура конца сжатия, пламя распространяется медленнее, и доля несгоревшего топлива у стенок и в зазорах камеры растёт. Проверить этот механизм прямыми измерениями по нашим данным нельзя. Гипотеза остаётся гипотезой.

Снижение NO_x объясняется той же причиной с обратным знаком. Образование оксидов азота определяется главным образом пиковой температурой сгорания, а она при разреженном заряде ниже. Похожее снижение NO_x на начальном участке роста высоты описано в [14]; у дизельного двигателя на холостом ходу этот эффект не проявился [18], что указывает на зависимость результата от типа рабочего процесса.

Отдельного разговора заслуживает CO_2 . Атмосферное давление между крайними пунктами упало на 19,2 %, плотность воздуха с учётом температуры приблизительно на 17,3 %, объёмная доля CO_2 на XX на 14,2 %. Коэффициент корреляции средних значений CO_2 с давлением составил 0,98 на XX и 0,97 при ПЧВ. Такая близость наводит на мысль, что часть наблюдаемого снижения может быть связана не с процессом сгорания, а с работой оптического канала газоанализатора при пониженном давлении пробы. Если прибор не имеет автоматической коррекции по давлению, его показания в горах требуют пересчёта. Важно и другое: снижение объёмной доли CO_2 не означает снижения массового выброса на километр пробега. Дорожные испытания, напротив, фиксируют рост выбросов CO_2 с высотой [13, 16, 17], и противоречия здесь нет, поскольку измеряются разные величины.

По содержанию СО автомобиль на всех отметках укладывается в предельные значения межгосударственного стандарта для транспортных средств экологического класса 4 и выше: 0,3 % на минимальной и 0,2 % на повышенной частоте вращения [2]. Иначе обстоит дело с углеводородами: при двукратном росте СН с высотой запас до нормативного предела у автомобилей с изношенными системами зажигания и нейтрализации может исчерпываться в горах раньше, чем на равнине.

Ограничения работы очевидны. Испытан один автомобиль, поэтому доверительные интервалы характеризуют повторяемость измерений, а не разброс по парку. Высота и температура воздуха (от 24 до 31 °С) менялись одновременно, и разделить их влияние по этим данным нельзя. Измерения выполнены на неподвижном автомобиле, без нагрузки, свойственной подъёму, а по концентрациям нельзя судить о массовых выбросах, которые требуются для инвентаризаций парниковых газов [6]. Для перехода к удельным выбросам нужны испытания с бортовой системой измерения расхода отработавших газов, а в методику контроля токсичности в горных районах, вероятно, придётся ввести поправку на атмосферное давление.

5. Заключение (Conclusions)

1. На дороге Душанбе – тоннель «Истиклол» при подъёме с 801 до 2615 м (снижение давления с 92,3 до 74,6 кПа) концентрация углеводородов в отработавших газах гибридного автомобиля Lexus RX 450h выросла более чем вдвое: на 113,2 % на холостом ходу и на 125,3 % при повышенной частоте вращения; прирост составляет около 9,4–9,7 млн⁻¹ на 1000 м.

2. Содержание NO_x с высотой снизилось на 83,0–88,6 %, объёмная доля CO_2 на 8,0–14,2 %. Устойчивой зависимости СО от высоты не выявлено; средние значения СО на всех отметках не превышали 0,18 %.

3. Снижение объёмной доли CO_2 по величине близко к снижению атмосферного давления, поэтому при контроле токсичности в горах необходимо учитывать способ компенсации давления в газоанализаторе.

4. Для оценки экологической нагрузки горных автодорог Таджикистана требуется перейти от концентраций к удельным массовым выбросам и расширить выборку автомобилей по типам силовых установок и экологическим классам.

Рецензент: Сайдуллозода С.С. — к.т.н., доцент кафедры ЭАП, ИИПТУ имени академика М.С. Осими

Вклад авторов

Саидзода М. Р. – проведение полевого эксперимента, сбор данных, участие в обработке результатов.

Абдулло М.А. – руководство полевыми испытаниями, теоретический анализ данных.

Саидзода Р.Х. – теоретический анализ, участие в обсуждении результатов и формулировании выводов.

Рахмонзода А.Д. – участие в полевых испытаниях, статистическая обработка данных.

Литература

1. Абдуллоев, М. А. Влияние термодинамических параметров горной среды на энергетические показатели автотракторных двигателей внутреннего сгорания : специальность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. А. Абдуллоев. – Душанбе : Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, 2004. – 136 с. – Текст : электронный.
2. ГОСТ 33997–2016. Колёсные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки : межгосударственный стандарт : издание официальное : введён впервые : дата введения 2019-02-01. – Москва : Стандартинформ, 2017. – Текст : электронный.
3. Давлатшоев, Р. А. Надёжность и работоспособность тормозной системы автомобиля при движении на уклонах / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – С. 77. – Текст : непосредственный.
4. Каримходжаев, Н. Сравнительный анализ токсичности выхлопных газов автомобилей и пути её снижения / Н. Каримходжаев, У. Нумонов // Universum: технические науки. – 2020. – № 11- 2 (80). – С. 12–18. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.32743/UniTech.2020.80.11-2.12-18.
5. Мирон, Б. К. Разработка методики нормирования расхода сжиженного углеводородного газа для легковых автомобилей в горных условиях Республики Таджикистан : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Б. К. Мирон. – Москва : ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2020. – 189 с. – Текст : электронный.
6. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 2 : Энергетика. Глава 3. Мобильное сжигание/ Межправительственная группа экспертов по изменению климата ; под ред. С. Игглестона [и др.]. – Хаяма : ИГЕС, 2006. – Текст : электронный.
7. Сайфиддинзода, О. С. Углеродный след и климатическая уязвимость Республики Таджикистан / О. С. Сайфиддинзода, М. А. Абдулло, Р. Д. Джурахонзода, С. Х. Давлатзода // Фуруги илим (Сияние науки). – 2025. – № 4. – С. 53–62. – Текст : непосредственный. – ISSN 3078-395X. – DOI: 10.5281/zenodo.18910312.
8. Суюнтбеков, И. Э. Исследование влияния горных условий эксплуатации на термодинамические показатели автомобильных двигателей внутреннего сгорания / И. Э. Суюнтбеков, Б. Э. Токтобеков // Известия ВУЗов (Кыргызстан). – 2015. – № 2. – С. 42–44. – Текст : непосредственный.
9. Barwari, R. R. I. Study of Air Pollutions Caused by Exhaust Gases Emitted from Gasoline Vehicles in Erbil City / R. R. I. Barwari // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Т. 1105, № 1. – С. 012053. – Текст : непосредственный. – ISSN 1757-8981, 1757-899X. – DOI: 10.1088/1757-899X/1105/1/012053.
10. Clairotte, M. Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles / M. Clairotte, R. Suarez-Bertoa, A. A. Zardini, B. Giechaskiel, J. Pavlovic, V. Valverde, B. Ciuffo, C. Astorga // Environmental Sciences Europe. – 2020. – Т. 32, № 1. – С. 125. – Текст : непосредственный. – ISSN 2190-4715. – DOI: 10.1186/s12302-020-00407-5.
11. Hao, L. Model-based estimation of light-duty vehicle fuel economy at high altitude / L. Hao, C. Wang, H. Yin, C. Hao, H. Wang, J. Tan, X. Wang, Y. Ge // Advances in Mechanical Engineering. – 2019. – Т. 11, № 11. – С. 1687814019886252. – Текст : непосредственный. – ISSN 1687-8132. – DOI: 10.1177/1687814019886252.
12. Kuppili, S. K. Characteristics of real-world gaseous exhaust emissions from cars in heterogeneous traffic conditions / S. K. Kuppili, V. Dheeraj Alshetty, M. Diya, S. M. Shiva Nagendra, G. Ramadurai, и др. // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2021. – Т. 95. – С. 102855. – Текст : непосредственный. – ISSN 1361-9209. – DOI: 10.1016/j.trd.2021.102855.
13. Qi, Z. The Effects of Varying Altitudes on the Rates of Emissions from Diesel and Gasoline Vehicles Using a Portable Emission Measurement System / Z. Qi, M. Gu, J. Cao, Z. Zhang, C. You, Y. Zhan, Z. Ma, W. Huang // Atmosphere. – 2023. – Т. 14, № 12. – С. 1739. – Текст : непосредственный. – ISSN 2073-4433. – DOI: 10.3390/atmos14121739.
14. Ren, Y. Effects of altitude on light gasoline vehicles: fuel consumption and air pollution / Y. Ren, W. Yu, L. Hao, Y. Ge // Atmospheric Pollution Research. – 2025. – Т. 16, № 11. – С. 102652. – Текст : непосредственный. – ISSN 1309-1042. – DOI: 10.1016/j.apr.2025.102652.
15. Šarkan, B. Emissions Production by Exhaust Gases of a Road Vehicle's Starting Depending on a Road Gradient / B. Šarkan, M. Loman, F. Synák, T. Skrúcaný, J. Hanzl // Sensors. – 2022. – Т. 22, № 24. – С. 9896. – Текст : непосредственный. – ISSN 1424-8220. – DOI: 10.3390/s22249896.
16. Jiang, Z. Comparison of vehicular emissions at different altitudes: Characteristics and policy implications / Z. Jiang, H. Niu, Z. Jia, L. Wu, Q. Zhang, Y. Zhang, H. Mao // Environmental Pollution. – 2025. – Т. 367. – С. 125679. – Текст : непосредственный. – ISSN 0269-7491. – DOI: 10.1016/j.envpol.2025.125679.
17. Jiang, Z. Investigating the impact of high-altitude on vehicle carbon emissions: A comprehensive on-road driving study / Z. Jiang, L. Wu, H. Niu, Z. Jia, Z. Qi, Y. Liu, Q. Zhang, T. Wang, J. Peng, H. Mao // Science of The Total Environment. – 2024. – Т. 918. – С. 170671. – Текст : непосредственный. – ISSN 0048-9697. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170671.

18. Yin, H. Idle emission characteristics of a light-duty diesel van at various altitudes / H. Yin, Y. Ge, X. Wang, L. Yu, Z. Ji, W. Chen // *Atmospheric Environment*. – 2013. – Т. 70. – С. 117–122. – Текст : непосредственный. – ISSN 1352-2310. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.01.012.

References

1. Abdulloyev, M. A. (2004). Vliyaniye termodinamicheskikh parametrov gornoy sredy na energeticheskiye pokazateli avtotraktornykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Influence of thermodynamic parameters of the mountain environment on energy indicators of automotive and tractor internal combustion engines] (Candidate dissertation). Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe.
2. Euro-Asian Council for Standardization, Metrology and Certification. (2017). GOST 33997–2016. Kolosnyye transportnyye sredstva. Trebovaniya k bezopasnosti v ekspluatatsii i metody proverki [Interstate Standard GOST 33997–2016. Wheeled vehicles. Requirements for in-service safety and verification methods]. Standartinform.
3. Davlatshoyev, R. A. (2025). Nadozhnost' i rabotosposobnost' tormoznoy sistemy avtomobilya pri dvizhenii na uklonakh [Reliability and efficiency of the vehicle brake system when driving on slopes]. *Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 77.
4. Karimkhodzhaev, N., & Numonov, U. (2020). Sravnitel'nyy analiz toksichnosti vykhlopnykh gazov avtomobiley i puti yeyo snizheniya [Comparative analysis of vehicle exhaust gas toxicity and ways to reduce it]. *Universum: Tekhnicheskiye nauki* [Universum: Technical Sciences], 80(11-2), 12–18. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2020.80.11-2.12-18>
5. Mirov, B. K. (2020). Razrabotka metodiki normirovaniya raskhoda szhizhennogo uglevodorodnogo gaza dlya legkovykh avtomobiley v gornykh usloviyakh Respubliki Tadjikistan [Development of a methodology for rationing liquefied petroleum gas consumption for passenger cars in mountainous conditions of the Republic of Tajikistan] (Candidate dissertation). Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 2: Energy, Chapter 3: Mobile combustion (S. Eggleston et al., Eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
7. Sayfiddinzoda, O. S., Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Uglerodnyy sled i klimaticheskaya uyazvimost' Respubliki Tadjikistan [Carbon footprint and climate vulnerability of the Republic of Tajikistan]. *Furugi ilm (Siyanie nauki)* [The Glow of Science], (4), 53–62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18910312>
8. Suyunbekov, I. E., & Toktobekov, B. E. (2015). Issledovaniye vliyaniya gornykh usloviy ekspluatatsii na termodinamicheskiye pokazateli avtomobil'nykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Study of the influence of mountainous operating conditions on thermodynamic performance of automotive internal combustion engines]. *Izvestiya VUZov (Kyrgyzstan)*, (2), 42–44.
9. Barwari, R. R. I. (2021). Study of air pollutions caused by exhaust gases emitted from gasoline vehicles in Erbil City. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1105(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1105/1/012053>
10. Clairotte, M., Suarez-Bertoa, R., Zardini, A. A., Giechaskiel, B., Pavlovic, J., Valverde, V., Ciuffo, B., & Astorga, C. (2020). Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00407-5>
11. Hao, L., Wang, C., Yin, H., Hao, C., Wang, H., Tan, J., Wang, X., & Ge, Y. (2019). Model-based estimation of light-duty vehicle fuel economy at high altitude. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(11), 1687814019886252. <https://doi.org/10.1177/1687814019886252>
12. Kuppili, S. K., Alshetty, V. D., Diya, M., Shiva Nagendra, S. M., Ramadurai, G., et al. (2021). Characteristics of real-world gaseous exhaust emissions from cars in heterogeneous traffic conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102855>
13. Qi, Z., Gu, M., Cao, J., Zhang, Z., You, C., Zhan, Y., Ma, Z., & Huang, W. (2023). The effects of varying altitudes on the rates of emissions from diesel and gasoline vehicles using a portable emission measurement system. *Atmosphere*, 14(12), 1739. <https://doi.org/10.3390/atmos14121739>
14. Ren, Y., Yu, W., Hao, L., & Ge, Y. (2025). Effects of altitude on light gasoline vehicles: Fuel consumption and air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 16(11), 102652. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102652>
15. Šarkan, B., Loman, M., Synák, F., Škrúcaný, T., & Hanzl, J. (2022). Emissions production by exhaust gases of a road vehicle's starting depending on a road gradient. *Sensors*, 22(24), 9896. <https://doi.org/10.3390/s22249896>
16. Jiang, Z., Niu, H., Jia, Z., Wu, L., Zhang, Q., Zhang, Y., & Mao, H. (2025). Comparison of vehicular emissions at different altitudes: Characteristics and policy implications. *Environmental Pollution*, 367, 125679. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125679>
17. Jiang, Z., Wu, L., Niu, H., Jia, Z., Qi, Z., Liu, Y., Zhang, Q., Wang, T., Peng, J., & Mao, H. (2024). Investigating the impact of high-altitude on vehicle carbon emissions: A comprehensive on-road driving study. *Science of The Total Environment*, 918, 170671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170671>
18. Yin, H., Ge, Y., Wang, X., Yu, L., Ji, Z., & Chen, W. (2013). Idle emission characteristics of a light-duty diesel van at various altitudes. *Atmospheric Environment*, 70, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.012>

Сведения об авторах:

Саидзода Мухаммад Рахим, ассистент кафедры “Организация перевозок и управление на транспорте” Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. Электронная почта: muha959574@gmail.com

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com

Саидзода Рахим Хамро, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2057-4369>. E-mail: rahsai@mail.ru

Рахмонзода Ахмаджон Джамолидин, кандидат технических наук, доцент кафедры “Промышленное и гражданское строительство”, Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com

Маълумот оид ба муаллифон:

Саидзода Муҳаммад Раҳим, ассистент кафедры ташкили интиқол ва идора дар нақлиёт, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М С Осимӣ. E-mail: muha959574@gmail.com

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Саидзода Раҳим Хамро, доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2057-4369>. E-mail: rahsai@mail.ru.

Раҳмонзода Ахмадҷон Ҷамолидин, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com

Information about the authors:

Saidzoda Muhammad Rahim, assistant, Department of Transportation Organization and Management, Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi. E-mail: muha959574@gmail.com

Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Saidzoda Rahim Hamro, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. Email: rahsai@mail.ru

Rahmonzoda Ahmadjon Jamolidin, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com

ТАҲҚИҚИ ТАРКИБИ ХИМИЯВИИ ТАҲШИНҲОИ ИНШООТҲОИ ТОЗАКУНИИ ОБҲОИ ПАРТОВИ ШАҲРИ ДУШАНБЕ

¹Г.Б. Катаганова, ²А.А. Гулахмадзода

¹Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе Ҷумҳурии Тоҷикистон

²Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, ш. Душанбе Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола таркиби химиявии таҳшинҳои или фаоли иншоотҳои тозакунии обҳои партови шаҳри Душанбе мавриди таҳқиқ қарор дода шудааст. Концентрасияи макроэлементҳо (К, Са, Мг) ва микроэлементҳо, аз ҷумла металлҳои вазнин (Сг, Pb, Hg, Cd, Cu, Ni, Zn ва As), бо истифода аз нишондиҳандаҳои омӯрӣ, диаграммаҳои куттӣ ва таҳлили коррелясионӣ арзёбӣ гардид. Натиҷаҳои таҳқиқот бо стандартҳои байналмилалӣ, аз ҷумла ЕРА, Дастури 86/278/ЕЕС-и Иттиҳоди Аврупо ва GB 18918-2002-и Ҷумҳурии Мардумии Чин муқоиса карда шуданд. Муайян гардид, ки концентрасияи аксари металлҳои вазнин аз ҳадди ниҳии иҷозатдодашуда пасттар аст, аммо барои мис, руҳ ва арсен концентрасияҳои нисбатан баланд ба қайд гирифта шуданд. Дар заминаи афзоиши мушкilotи тозакунии обҳои партов ва дар ҷустуҷӯи усулҳои устувори кишоварзӣ, истифодаи таҳшинҳои или фаоли роҳи ҳалли ояндадор мебошад. Таҳқиқот таркиби таҳшинҳои или фаол, таъсири он ба ҳосилхезии хок, нашъунамо ва ҳосили зироатҳо ва хатарҳои эҳтимолии марбут ба истифодаи ин навъи нурихоро дар бар мегирад. Натиҷаҳои таҳқиқот ба тартиб додани таъсиҳо оид ба истифодаи беҳавф ва самарабахши таҳшинҳои или фаол дар ҳоҷагии кишлук равона карда шудаанд.

Калидвожаҳо: таҳшинҳои или фаол, обҳои партов, таркиби химиявӣ, металлҳои вазнин, макроэлементҳо, микроэлементҳо, консентратсия, омилҳои ғанисосӣ (EF), таҳлили коррелясионӣ, стандартҳои ЕРА, 86/278/ЕЕС, арзёбии экологӣ, истифодаи тақрирӣ, шаҳри Душанбе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ДУШАНБЕ

¹Г.Б. Катаганова, ²А.А. Гулахмадзода

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

²Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

В статье исследуется химический состав активного ила очистных сооружений Душанбе. Концентрации макроэлементов (К, Са, Мг) и микроэлементов, включая тяжелые металлы (Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Ni, Zn и As), оценивались с использованием статистических показателей, диаграмм разброса и корреляционного анализа. Результаты исследования сравнивались с международными стандартами, включая ЕРА, Директиву 86/278/ЕЕС Европейского союза и GB 18918-2002 Китайской Народной Республики. Было установлено, что концентрации большинства тяжелых металлов ниже максимально допустимых пределов, но относительно высокие концентрации были зафиксированы для меди, цинка и мышьяка. В контексте растущих проблем очистки сточных вод и в поисках устойчивых методов ведения сельского хозяйства использование активного ила является перспективным решением. Исследование включает в себя состав активного ила, его влияние на плодородие почвы, рост и урожайность сельскохозяйственных культур, а также потенциальные риски, связанные с использованием этого вида удобрений. Результаты исследования направлены на разработку рекомендаций по безопасному и эффективному использованию активного ила в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: активный ил, сточные воды, химический состав, тяжелые металлы, макроэлементы, микроэлементы, концентрация, коэффициент обогащения (EF), корреляционный анализ, стандарты ЕРА, директива 86/278/ЕЕС, экологическая оценка, повторное использование, г. Душанбе.

STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SEDIMENTS FROM THE SEWAGE TREATMENT PLANTS OF THE CITY OF DUSHANBE

¹G.B. Kataganova, ²A.A. Gulakhmadzoda

¹Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi

²Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan (NAST)

This article examines the chemical composition of activated sludge from the Dushanbe wastewater treatment plant. The concentrations of macroelements (K, Ca, Mg) and microelements—including heavy metals (Cr, Pb, Hg, Cd, Cu, Ni, Zn, and As)—were evaluated using statistical metrics, scatter plots, and correlation analysis. The findings were compared against international standards, including those set by the EPA, the European Union's Directive 86/278/EEC, and the People's Republic of China's standard GB 18918-2002. While the concentrations of most heavy metals were found to be below the maximum permissible limits, relatively high levels of copper, zinc, and arsenic were recorded. Given the growing challenges in wastewater treatment and the ongoing search for sustainable agricultural practices, the use of activated sludge presents a promising solution. This study covers the composition of activated sludge, its impact on soil fertility and crop growth and yield, as well as the potential risks associated with its use as a fertilizer. The results are intended to inform the development of recommendations for the safe and effective application of activated sludge in agriculture.

Keywords: activated sludge, wastewater, chemical composition, heavy metals, macro-elements, micro-elements, concentration, enrichment factor (EF), correlation analysis, EPA standards, Directive 86/278/EEC, environmental assessment, reuse, Dushanbe.

Муқаддима (Introduction)

Таҳқиқи таркиби химиявии таҳшинҳои или фаол яке аз самтҳои муҳими арзёбии ҳолати экологӣ ва имконияти истифодаи тақрири онҳо мебошад [1-6]. Таҳшинҳои ҳосилшуда дар иншоотҳои тозакунии обҳои партов метавонанд ҳам унсурҳои ғизоӣ ва ҳам металлҳои вазнинро дар таркиби худ ҷамъ намоянд. Аз ин рӯ, муайян намудани консентратсияи макро- ва микроэлементҳо барои арзёбии

беҳатариҳои экологӣ ва мутобиқати онҳо ба стандартҳои байналмилалӣ аҳамияти калон дорад. Дар ин таҳқиқот таркиби химиявии таҳшинҳои или фаолҳои иншоотҳои тозакунии обҳои партови шаҳри Душанбе бо истифода аз нишондиҳандаҳои омори, диаграммаҳои куттӣ ва таҳлили коррелятсионӣ арзёбӣ гардид. Натиҷаҳои таҳлил бо меъёрҳои байналмилалӣ, аз ҷумла стандартҳои ЕРА, Иттиҳоди Аврупо (86/278/ЕЕС) ва GB 18918-2002 муқоиса карда шуданд. Натиҷаҳои бадастомада барои муайян намудани имконияти истифодаи таҳшинҳои или фаол дар соҳаи кишоварзӣ, барқарорсозии замин ва ҳифзи муҳити зист асоси илмӣ фароҳам меоранд.

Дар ин мақола натиҷаҳои таҳлили таҳшинҳои или фаол, ки дар иншоотҳои тозакунидаи обҳои партови шаҳри Душанбе ба даст оварда шудаанд, оварда шудааст. Маълумот дар шакли ҷадвал (Ҷадвали 1) бо диапазонҳо ва қиматҳои миёнаи концентратсияи унсурҳо, инчунин, диаграммаҳои куттӣ ва матритсаи коррелятсионӣ оварда шудааст. Дар ҷадвал макро- ва микроэлементҳо оварда шудаанд: калий (K), хром (Cr), сурб (Pb), симоб (Hg), кадмий (Cd), мис (Cu), никел (Ni), руҳ (Zn), арсен (As), калсий (Ca) ва магний (Mg). Барои ҳар як элемент концентратсияи ҳадди ақал ва максималӣ, инҳирофи стандартӣ, арзиши миёна, арзиши истинод (TLV) ва омили ғанисозӣ (EF) дода мешавад, ки дараҷаи ҷамъшавии антропогениро тавсиф мекунад.

Барои муқоисаи дақиқ бо стандартҳои арзишҳои максималии иҷозатдодашудаи таркиби металлҳои вазнин дар таҳшинҳои или фаол истифода шудаанд. Дар ИМА, стандартҳои аз ҷониби ЕРА Part 503 танзим карда мешаванд, ки концентратсияи ҳадди ниҳии солонаи таҳшинҳои или фаол ба замин истифодашударо муқаррар мекунад. Масалан, концентратсияи максималии иҷозатдодашудаи миёнаи моҳона (дар асоси моддаи хушк) барои кадмий 39 мг/кг, мис 1500 мг/кг, сурб 300 мг/кг, симоб 17 мг/кг, никел 420 мг/кг ва руҳ 2800 мг/кг мебошад. Барои кишварҳои Иттиҳоди Аврупо, арзишҳои маҳдуд тибқи муқаррароти 86/278/ЕЕС муайян карда шудаанд: миқдори иҷозатдодашудаи кадмий 20-40 мг / кг (вобаста ба рН хок), никел - 300-400 мг / кг, мис - 1000-1750 мг / кг, руҳ - 2500-4000 мг / кг, хром - 500-1200 мг/кг ва сурб - 750-1200 мг/кг. Стандартҳои Чин (GB 18918-2002) ва тавсияҳои Африқои Ҷанубӣ маҳдудиятҳои сахттар доранд (масалан, барои мис 250-500 мг/кг ва руҳ 500-1000 мг/кг). Стандартҳои ниҳии ЕРА барои симоб ва арсен мутаносибан 57 мг / кг ва 75 мг / кг мебошанд.

Дар ҷадвали зер параметрҳои тахминии омори, ки аз ҷадвали 1 гирифта шудаанд, оварда шудаанд. Қиматҳои ҳадди ақал (min), максималӣ (max) ва миёна (mean) дар баробари инҳирофи стандартӣ (SD) ва омили ғанисозӣ (EF) дода шудаанд. TLV концентратсияи максималии иҷозатдодашудаи дар ҳуҷҷати ибтидоӣ зикршударо ифода мекунад (стандартҳои муқаррароти ЕРА ё ИА дар қавс оварда шудаанд). Дефис нишон медиҳад, ки арзиши роҳнамо дар ҷадвали манбаъ мавҷуд нест.

Ҷадвали 1 – Параметрҳои омории концентратсияи унсурҳо

Table 1 – Concentration and irregularity parameters

Heavy metals	Min (mg kg ⁻¹)	Max (mg kg ⁻¹)	SD (σ)	Std. Err	Mean Value (mg kg ⁻¹)	TLV ^a (mg kg ⁻¹)	Ranges of EF
K	1350	1950	253.87	0.44	1802,4	1 ^b	11.7-296.4
Cr	21	53	11.78	0.32	40,4	30 ^b	0.1-3.3
Pb	21,5	30	3.56		25,3	110 ^b	0-1.2
Hg	1,5	4,2	1.10		2,674	33 ^b	0.1-2.4
Cd	1,02	3,4	0.95		2,064	40 ^b	0.2-4
Cu	198	215	7.04		203,2	5 б (ҳадди хеле пасти ҷадвали аслӣ; ЕРА:1500 мг/кг; ЕС: 1000-1750 мг/кг)	0.3-21.9
Ni	19	36	6.26		29,2	- (ЕРА: 420 мг/кг; ИА: 300-400 мг/кг)	-
Zn	970	1015	18.44		987,8	6 б (ҷадвали аслӣ); ЕРА: 2800 мг / кг; ИА: 2500-4000 мг/кг	0.2-3
As	11	21	1.30		15	- (ЕРА: 41 мг/кг; ИА: 1-10 мг/кг)	-
Ca	35640	35640	3052		30989	- (ИА/ИМА: 500-5000 мг/кг)	
Mg	5250	5250	4.63		4529,8	- (ИА/ИМА: 100-1000 мг/кг)	

Дар расми 1 диаграммаҳои қуттӣ барои шаш унсур нишон дода шудаанд. Арзишҳои миёна бо ҷадвал мувофиқати хуб доранд: консентратсияи миёнаи хром - 42 мг/кг, сурб 25 мг/кг, симоб 3 мг/кг, кадмий 2 мг/кг, никел 30 мг/кг ва арсен 14 мг/кг – ро ташкил мекунад.

Арзишҳои хром аз 20 то 50 мг/кг буда, аз ҳадди 30 мг/кг, ки дар ҷадвали аслӣ зикр шудаанд, зиёданд, вале аз ҳадди ниҳии ЕРА (1500 мг/кг) ва муқаррароти ИА (то 500 мг/кг) хеле пасттаранд. Тақсимои сурб: танг (21–30 мг/кг), аз консентратсияи иҷозатдодашуда дар ИМА (300 мг/кг) ва Иттиҳоди Аврупо (750 мг/кг) камтар аст.

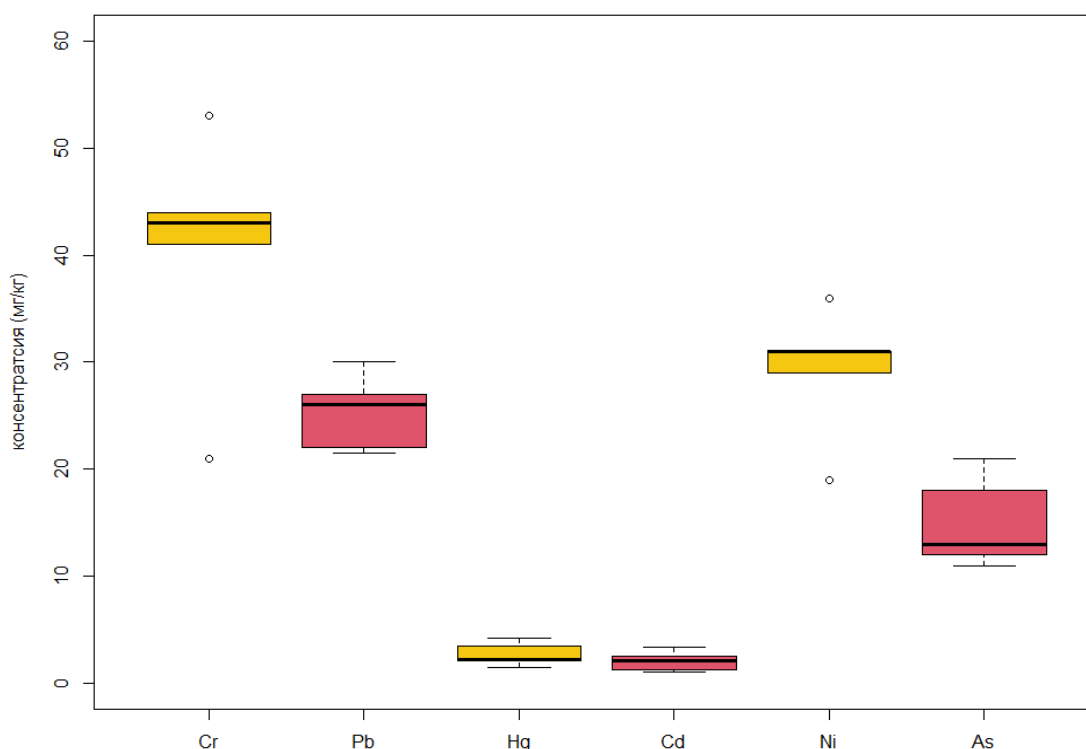
Микдори миёнаи симоб тақрибан 2,7 мг/кг аст; мувофиқи стандартҳои ЕРА, консентратсияи максималии моҳонаи таҳшинҳо 17 мг / кг ва ҳадди ниҳии он 57 мг / кг аст, бинобар ин арзишҳои ошкоршуда беҳатар ҳисобида мешаванд. Бо вуҷуди ин, дар ИА, муқаррароти 86/278/ЕЕС танҳо ба 0,1-1 мг/кг симоб иҷозат медиҳад, ки аз ҳад зиёд аст ва истифодаи онро дар соҳаи кишоварзӣ маҳдуд мекунад.

Арзишҳои кадмий тақрибан 2 мг / кг мутамарказ шудаанд; ин аз ҳудуди 39 мг/кг (ЕРА) ва 20-40 мг/кг (ИА) камтар аст.

Никел: консентратсияи ~30 мг/кг аз меъёрҳои (420 мг/кг мувофиқи ЕРА ва 300-400 мг/кг мувофиқи Иттиҳоди Аврупо) хеле пасттар аст.

Микдори миёнаи арсен 14-15 мг/кг аст; ин аз баъзе маҳдудиятҳои аврупоӣ ва чинӣ (1-10 мг/кг) зиёд аст, аммо аз ҳадди ниҳии ЕРА аз 75 мг/кг пасттар аст.

КВД обу Корез



Расми 1 – Таҳлили ғализи Cr, Pb, Hg, Cd, Ni, AS дар таҳшинҳои лойӣ

Figure 1 – Analysis of Cr, Pb, Hg, Cd, Ni, and As concentrations in sludge sediments.

Дар расми 2 консентратсия ва тақсимои K, Cu, Zn, Ca ва Mg нишон дода шудааст.

Калий (K): консентратсияи миёна ~ 1800 мг/кг (1,8 г/кг). Калий як маводи ғизой аст; Стандартҳои ЕРА барои металлҳои вазнини ба он татбиқ намешаванд. Аммо ин консентратсия аз сершавии баланди калий дар таҳшини или фаол шаҳодат медиҳад, ки истифодаи он метавонад барои зироатҳои кишоварзӣ муфид бошад.

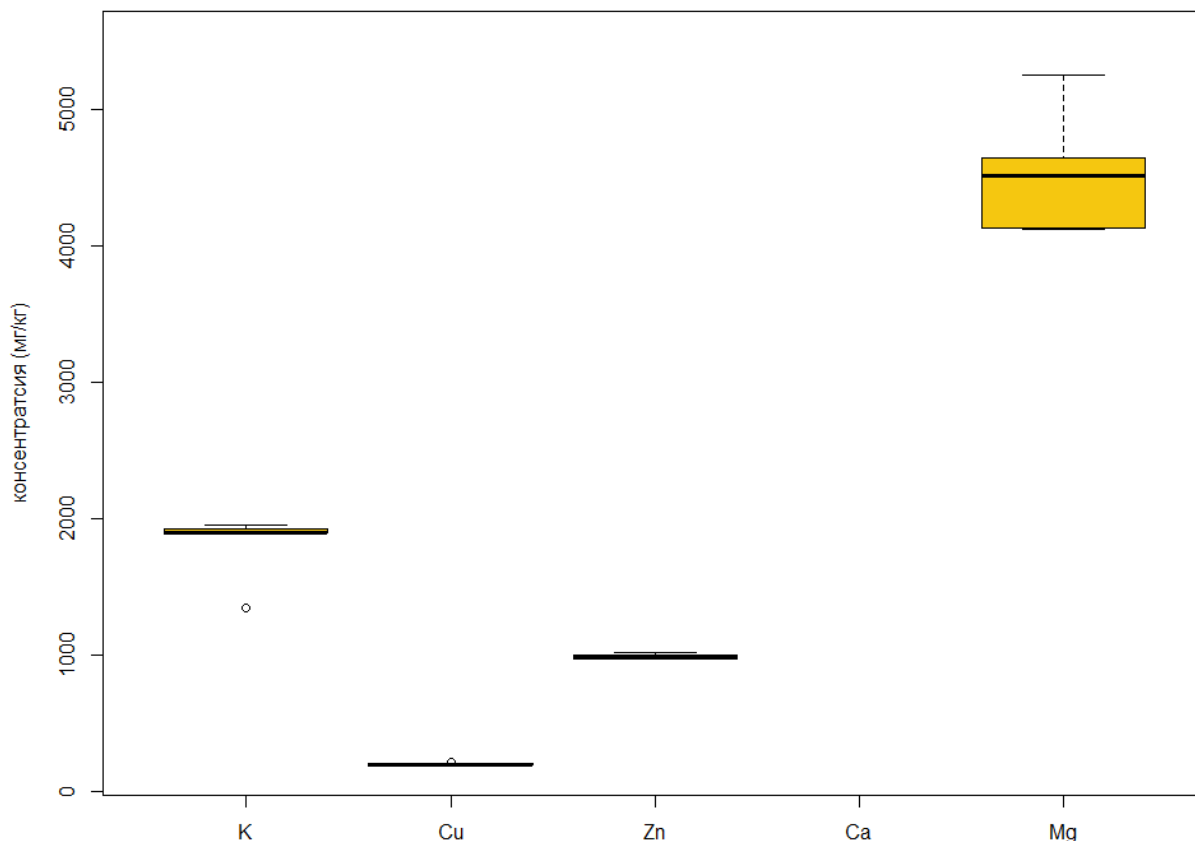
Мис (Cu): консентратсияи миёна: тақрибан 203 мг/кг, ки аз ҳадди тавсияшудаи 100 мг/кг дар ИМА ва Чин зиёд аст, аммо аз ҳадди ниҳии ЕРА (1500 мг/кг) ва муқаррароти ИА (1000-1750 мг/кг) пасттар аст. Барои истифодаи беҳатари таҳшини или фаол дар кишоварзӣ ин консентратсияи баланд ҳисобида мешавад; Истифодаи такрорӣ метавонад боиси дар хок ҷамъ шудани мис гардад.

Рух (Zn): арзишҳо 0,9-1,0 г/кг (900-1050 мг/кг). Ин аз меъёрҳои дар ИМА (100–500 мг/кг) ва Чин (50–300 мг/кг) додашуда болотар аст ва дар охири болоии диапазони таҳаммулпазири ИА (то 2500 мг/кг) қарор дорад. Консентратсияи максималии иҷозатдодашудаи ЕРА барои рух 2800 мг/кг аст, аз ин рӯ

арзишҳои пайдошуда пасттар аз ҳадди ниҳой қарор доранд, аммо дар сурати ҷамъшавии музмин метавонад заҳролудшавии растаниҳоро ба вучуд орад.

Калсий (Ca) ва магний (Mg): концентратсияи миёнаи Ca ~ 4,2 г / кг, дар ҳоле ки концентратсияи Mg ~ 4,5 г / кг аст. Ин унсурҳо маъданҳои муҳим мебошанд ва зери металлҳои вазнин танзим карда намешаванд; Аммо концентратсияи баланди онҳо хосиятҳои агрохимиявии таҳшинҳои или фаол- ро (ишқоркуниро) беҳтар намуда, қобилияти онро барои коркарди такрории заминҳои туршиашон баландро афзун мекунад.

КВД обу Корез



Расми 2 – Таҳлили концентратсияи K, Cu, Zn, Ca, Mg дар таҳшинҳои или фаол
Figure 2 – Analysis of K, Cu, Zn, Ca, and Mg concentrations in activated sludge.

Ҷадвали 2 – Арзишҳои максималии иҷозатдодашуда (МРС) барои унсурҳои гуногуни таҳшинҳои или фаол барои якчанд кишварҳо

Table 2 – Maximum Permissible Concentrations (MPC) for various elements in activated sludge across several countries

Унсур	ИМА (мг/кг)	Иттиҳоди Аврупо (мг/кг)	Чин (мг/кг)
K (калий)	500-1500	300-1000	200-800
Cr (хром)	10-50	5-50	5-50
Pb (пешбар)	10-100	5-50	5-50
Hg (симоб)	0,1-1	0,1-1	0,1-1
CD (кадмий)	0,1-5	0,1-2	0,1-5
Cu (мис)	10-100	10-50	10-100
Ni (никел)	10-50	10-50	10-50
Zn (синк)	100-500	50-300	50-300
As (арсен)	1-10	1-10	1-10
Ca (калсий)	500-5000	500-5000	500-5000
Mg (магний)	100-1000	100-1000	100-1000

Матритсаи коррелятсия муносибатҳои байни элементҳоро нишон медиҳад.

Муносибати мусбӣ байни металлҳои вазнин. Ҷуфтҳои Cd–Ni ($r \approx 0,87$), Cd–Zn (0,87), Zn–Ca (0,92), Zn–As (0,71) ва As–Ca (0,90) таносуби мусбӣи қавӣ доранд. Ин як манбаи умумии ифлосшавиро нишон медиҳад; Эҳтимол меравад, ки обҳои партови саноатӣ ё равандҳои зангзани дар қубурҳо боиси дар як вақт ҷамъ шудани ин металлҳо мешаванд.

Муносибатҳои манфӣ бо калий ва магний. Калий бо сурб (-0,75), симоб (-0,72) ва арсен (-0,23) ба таври назаррас робитаи манфӣ дорад. Байни магний ва калий (-0,86) таносуби манфии шабеҳ мушоҳида мешавад. Ин метавонад аз он шаҳодат диҳад, ки дар қитъаҳои, ки дорои сатҳи баланди макронутриентҳо мебошанд, эҳтимолан аз сабаби маҳлӯлшавӣ ё фарқияти манбаҳои ҷамъшавии металлҳои захролуд камтар доранд.

Таносуби манфии қавӣ байни мис ва никел (-0,89) мушоҳида шуд. Ҳангоми баланд шудани концентратсияи мис сатҳи никел кам мешавад. Ин метавонад сабаби рақобати сорбсионии байни ионҳо дар ҷузъҳои органикии таҳшинҳои или фаол бошад.

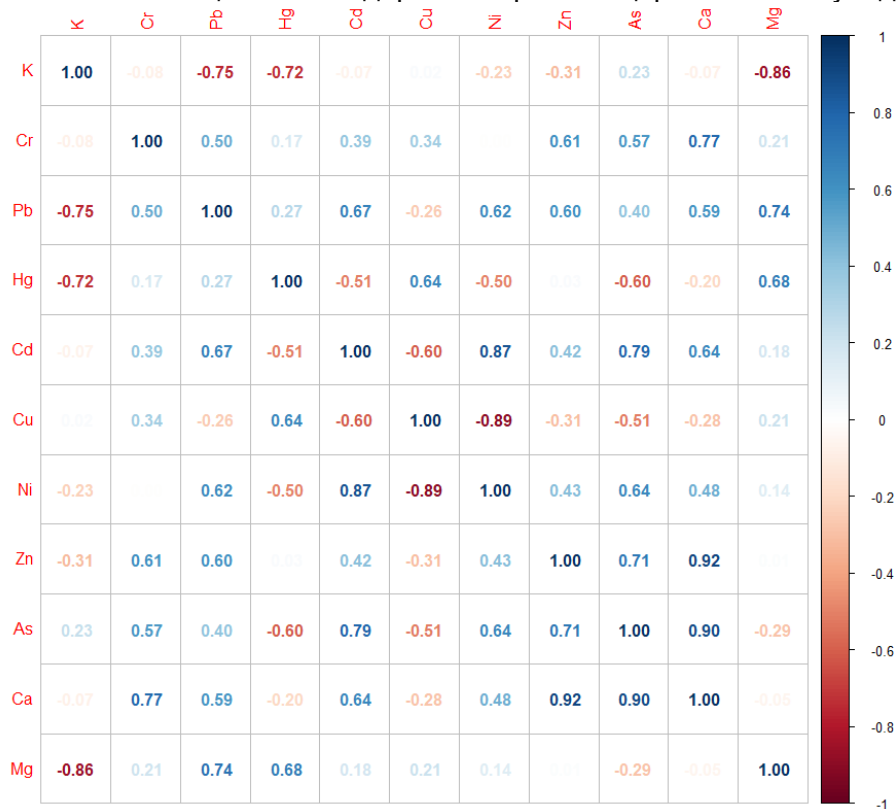
Байни Cd ва Pb ва Hg таносуби мусбӣ қавӣ мавҷуд аст. Коэффисиентҳои Cd-Pb (0,67) ва Hg-Cu (0,64) воридшавии яқояи ин элементҳоро нишон медиҳанд, ки ба ҷадвал мувофиқ аст: арзишҳои миёнаи Pb, Cd ва Hg аз ҳадди аксар камтаранд, аммо мавҷудияти яқояи онҳо назоратро талаб мекунад.

Потенсиали истифодаи таҳшинҳои или фаол. Концентратсияи миёнаи аксари металлҳои вазнин (Cr, Pb, Cd, Ni) аз меъёрҳои ниҳии EPA ва муқаррароти Иттиҳоди Аврупо хеле пасттаранд. Симоб аз меъёрҳои аврупоӣ зиёдтар аст, аммо аз стандартҳои ИМА пасттар боқӣ мемонад. Миқдори мис (~203 мг/кг) ва рух (~988 мг/кг) аз меъёрҳои тавсияшуда болотар буда, истифодаи бечунучарои таҳшинҳои или фаолро дар заминҳои кишоварзӣ, махсусан, дар заминҳои дорои қобилияти буферии паст маҳдуд мекунад. Миқдори арсен низ аз 10 мг/кг зиёд аст, ки аз рӯи аксари стандартҳои байналмилалӣ қобили қабул нест.

Тасниф аз рӯи омили ғанисозӣ. Қиматҳои баланди EF барои калий ва мис (то 296 барои K ва 22 барои Cu) пайдоиши антропогенро тасдиқ мекунад; барои Cd ва Hg, арзишҳои омилҳои ғанисозӣ EF низ ба 4 наздиканд, ки ифлосшавии мӯътадилро нишон медиҳанд. Қиматҳои пасти омилҳои ғанисозӣ EF (то 3) барои Cr, Ni ва Zn нишон медиҳанд, ки ин унсурҳо ба арзишҳои замина наздиктаранд.

Аз сабаби зиёд будани меъёрҳои Cu, Zn ва As, таҳшинҳои или фаоли мазкур набояд барои парвариши зироатҳои ғизоӣ истифода шавад. Корҳои бештар мувофиқ дар ин самт ин шудгори такрории қитъаҳои вайроншуда, ҷангалпарварӣ ё барқарор кардани хок дар минтақаҳои ғайри кишоварзӣ иборатанд. Пеш аз истифода бурдан таҳшинҳои или фаолро безарар кардан (компост кардан, шуста кардан) ва таркиби онро мунтазам назорат кардан лозим аст.

Дар маҷмӯъ, таркиби кимиёвии таҳшинҳои или фаол аз мавҷудияти моддаҳои ғизоӣ арзишманд (K, Ca, Mg) шаҳодат медиҳад, аммо инчунин, аз олудашавӣ бо мис, рух ва арсен низ ишора месозад. Истифодаи ин таҳшинҳои или фаол риояи қоидаҳои EPA ва муқаррароти 86/278/ЕЕС, инчунин мониторинги ҷамъшавии металлҳои вазнин дар хок ва растаниҳоро талаб мекунад.



Расми 3 – Матрицаи таносуби металлҳо дар таҳшинҳои или фаол
Figure 3 – Matrix of metal ratios in active sludge sediments

Хулоса (Conclusion)

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки таҳшинҳои или фаоли иншоотҳои тозакунии обҳои партови шаҳри Душанбе дорои миқдори назарраси макроэлементҳо (K, Ca ва Mg) ва микроэлементҳо мебошанд. Концентратсияи миёнаи аксари металлҳои вазнин, аз ҷумла хром (Cr), сурб (Pb), кадмий (Cd), никел (Ni) ва симоб (Hg), аз меъёрҳои ниҳии стандартҳои байналмилалӣ, аз ҷумла ЕРА ва 86/278/ЕЕС, пасттар буда, аз ҷиҳати экологӣ хавфи баланд надоранд. Бо вучуди ин, барои баъзе унсурҳо, аз ҷумла мис (Cu), руҳ (Zn) ва арсен (As), концентратсияҳои нисбатан баланд муайян гардиданд, ки метавонанд ҳангоми истифодаи дарозмуддати таҳшинҳо дар заминҳои кишоварзӣ боиси ҷамъшавии металлҳо дар хок ва таъсири манфӣ ба муҳити зист гарданд.

Таҳлили коррелятсионӣ мавҷудияти робитаҳои мусбат байни баъзе металлҳои вазнинро нишон дод, ки ба эҳтимоли мавҷуд будани манбаи умумии антропогенӣ ифлосшавӣ ишора мекунад. Ҳамзамон, қиматҳои омили ғанисозӣ (EF) барои мис ва калий аз таъсири назарраси фаъолияти инсон шаҳодат медиҳанд, дар ҳоле ки барои хром, никел ва руҳ ин нишондиҳандаҳо ба сатҳи заминавӣ наздик мебошанд.

Дар маҷмӯъ, таҳшинҳои или фаоли таҳқиқшуда метавонанд барои баъзе самтҳои барқарорсозии муҳити зист, аз ҷумла рекултиватсияи заминҳои вайроншуда, ҷангалпарварӣ ва барқарорсозии хок дар минтақаҳои ғайрикишоварзӣ истифода шаванд. Аммо истифодаи онҳо барои парвариши зироатҳои ғизой танҳо баъд аз коркарди пешакӣ, паст кардани миқдори металлҳои вазнин ва гузаронидани мониторинги мунтазами таркиби химиявӣ мувофиқи талаботи стандартҳои байналмилалӣ тавсия карда мешавад.

Муқарриз: Зоиров Ф.Б. — н.и.т., дотсенти кафедраи беҳатарии ғаёолияти инсон ва экологияи ДИИТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Адабиёт

1. Ramandeep, K. Anaerobic Baffled Reactor: A Promising Wastewater Treatment Technology in Tropical Countries / K. Ramandeep // International Journal on Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 7, No. 1 (Special Issue on RTIESTM-2016). – P. 114–117.
2. Mousavi, N. Performance of Anaerobic Baffled Reactor for Biodegradation of Phenol / N. Mousavi, G. D. Najafpour, Z. Bakhshi, R. Pishgar // Iranica Journal of Energy & Environment. – 2011. – Vol. 2, No. 3. – P. 229–234. – DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2011.02.03.1519>.
3. Chen, M. Total concentrations and speciation of heavy metals in municipal sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China / M. Chen, X.-M. Li, Q. Yang, G.-M. Zeng, Y. Zhang, D.-X. Liao, J.-J. Liu, J.-M. Hu, L. Guo // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol. 160, No. 2–3. – P. 324–329. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.036>.
4. Wang, C. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants / C. Wang, X. Hu, M.-L. Chen, Y.-H. Wu // Journal of Hazardous Materials. – 2005. – Vol. 119, No. 1–3. – P. 245–249. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.11.023>.
5. Wang, C. Distribution of extractable fractions of heavy metals in sludge during the wastewater treatment process / C. Wang, X.-C. Li, H.-T. Ma, J. Qian, J.-B. Zhai // Journal of Hazardous Materials. – 2006. – Vol. 137, No. 3. – P. 1277–1283. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.026>.
6. Yuan, X. Total concentrations and chemical speciation of heavy metals in liquefaction residues of sewage sludge / X. Yuan, H. Huang, G. Zeng, H. Li, J. Wang, C. Zhou, H. Zhu, X. Pei, Z. Liu, Z. Liu // Bioresource Technology. – 2011. – Vol. 102, No. 5. – P. 4104–4110. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.055>.

References

1. Ramandeep, K. Anaerobic Baffled Reactor: A Promising Wastewater Treatment Technology in Tropical Countries / K. Ramandeep // International Journal on Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 7, No. 1 (Special Issue on RTIESTM-2016). – P. 114–117.
2. Mousavi, N. Performance of Anaerobic Baffled Reactor for Biodegradation of Phenol / N. Mousavi, G. D. Najafpour, Z. Bakhshi, R. Pishgar // Iranica Journal of Energy & Environment. – 2011. – Vol. 2, No. 3. – P. 229–234. – DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2011.02.03.1519>.
3. Chen, M. Total concentrations and speciation of heavy metals in municipal sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China / M. Chen, X.-M. Li, Q. Yang, G.-M. Zeng, Y. Zhang, D.-X. Liao, J.-J. Liu, J.-M. Hu, L. Guo // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol. 160, No. 2–3. – P. 324–329. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.036>.
4. Wang, C. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants / C. Wang, X. Hu, M.-L. Chen, Y.-H. Wu // Journal of Hazardous Materials. – 2005. – Vol. 119, No. 1–3. – P. 245–249. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.11.023>.
5. Wang, C. Distribution of extractable fractions of heavy metals in sludge during the wastewater treatment process / C. Wang, X.-C. Li, H.-T. Ma, J. Qian, J.-B. Zhai // Journal of Hazardous Materials. – 2006. – Vol. 137, No. 3. – P. 1277–1283. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.026>.

6. Yuan, X. Total concentrations and chemical speciation of heavy metals in liquefaction residues of sewage sludge / X. Yuan, H. Huang, G. Zeng, H. Li, J. Wang, C. Zhou, H. Zhu, X. Pei, Z. Liu, Z. Liu // Bioresource Technology. – 2011. – Vol. 102, No. 5. – P. 4104–4110. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.055>.

Маълумот оид ба муаллиф

Қатаганова Гулбахор Бароталиевна, ассистент кафедраи бехатарии ҷаҳолияти инсон ва экология, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. E-mail: gulja-76@bk.ru Тел: +992918377352

Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучабор, д.и.т., Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология. E-mail: agulakhmadov@Gmail.Com

Сведения об авторе:

Катаганова Гулбахор Бароталиевна, ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и экология, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. E-mail: gulja-76@bk.ru Тел: +992918377352

Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучабор, д.т.н., Институт проблем водных ресурсов, гидроэнергетики и экологии. E-mail: agulakhmadov@Gmail.Com

Information about authors:

Kataganova Gulbahor Barotalievna, Assistant Department of Life Safety and Ecology, Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi. E-mail: gulja-76@bk.ru Тел: +992918377352

Gulahmadzoda Aminjon Abdujabor, Doctor of Technical Sciences, Institute of Water Problems, Hydropower, and Ecology. E-mail: agulakhmadov@Gmail.Com

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ ХИМИКАТОВ НА ЧЕЛОВЕКА И КОМПЛЕКСНЫЕ МЕРЫ ПО СНИЖЕНИЮ ИХ ВРЕДА**А.А. Акрамов, К.Р. Раҳматзода**

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

Публикация посвящена комплексной проблематике охраны труда и промышленной санитарии в условиях регулярного контакта персонала с технически опасными реагентами на объектах индустрии и строительства. Исследователями систематизированы данные о специфике деструктивного влияния высококонцентрированных кислотно-щелочных сред, горюче-смазочных материалов, сжиженных газов и ядовитых летучих соединений на ткани и физиологические системы человека. В работе раскрываются паттерны развития тяжелых химических травм, криогенных поражений, острых кожных патологий, поражений респираторного тракта и общих интоксикаций. Отдельный акцент сделан на физико-химических и технологических факторах, ухудшающих микроклимат рабочей зоны: описаны процессы газообмена («дыхания») емкостного оборудования, динамика поглощения и выделения токсикантов пористыми структурами стройматериалов и экипировки, а также сбои в работе воздухоочистительных систем и разгерметизация магистралей при транспортировке реагентов. В качестве практической ценности представлены аргументированные рекомендации по подбору, правильному применению, дезактивации и ротации средств индивидуальной защиты (СИЗОД и СИЗК), регламентам гигиены и пошаговым протоколам доврачебной помощи, где первоочередным действием выступает длительное орошение пораженных зон проточной водой. Материал представляет прикладную значимость для специалистов по техносферной безопасности.

Ключевые слова: химические ожоги, средства индивидуальной защиты, токсический отек легких, профессиональные заболевания, криогенные жидкости, дерматит, отравление парами, поражение органов дыхания.

ТАЪСИРИ МОДДАҶОИ КИМИЁВИИ АГРЕССИВӢ БА ИНСОН ВА ЧОРАҶОИ МУҶАММАӢИ КАТНОНИДАНИ ЗАРАРИ ОНҶО**А.А. Акрамов, К.Р. Раҳматзода**

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Интишор ба масъалаҳои муҷаммаъи муҳофизати меҳнат ва беҳдошти саноатӣ дар шароити тамосгирӣ мунтазамӣ қорамдон бо реагентҳои аз ҷиҳати техникӣ хавфнок дар объектҳои саноат ва сохтмон бахшида шудааст. Тадқиқотчиён маълумотро дар бораи хусусиятҳои таъсири харобиовари муҳитҳои туршию ишқорӣ консентратсияшон баланд, маводҳои сӯзишворию молиданӣ, газҳои моеъшуда ва пайвастагиҳои захроқи парранда ба бафту системаҳои физиологияи инсон мураттаб сохтаанд. Дар қор намунаҳои инкишофи ҷароҳатҳои вазнини кимиёвӣ, задашавии криогенӣ, патологияҳои шадиди пӯст, задашавии роҳҳои нафас ва захролудшавии умумӣ ошқор қарда мешаванд. Таваҷҷуҳи махсус ба омилҳои физикию кимиёвӣ ва технологӣ, ки микроклимати минтақаи қориро бад мекунанд, зоҳир шудааст: равандҳои мубодилаи газ («нафаскашӣ»)–и таҷҳизоти зарфӣ, динамикаи ҷаббиш ва хоричшавии токсикантҳо тавассути сохторҳои масомадори масолеҳи сохтмонӣ ва либоси махсус, инчунин ҳалалдоршавӣ дар қори системаҳои ҳавопокрокунӣ ва бефишоршавии магистралҳо ҳангоми интиқоли реагентҳо тавсиф ёфтаанд. Ҳамчун арзиши амалӣ тавсияҳои асоснокшуда оид ба интиҳоб, истифодаи дуруст, дезактиватсия ва ивазкунии саривақтии воситаҳои ҳифзи инфиродӣ (ВҲИОН ва ВҲИП – воситаҳои ҳифзи инфиродии аъзои нафас ва пӯст), меъёрҳои беҳдошти шахсӣ ва протоколҳои зина ба зинаи ёрии аввалии тиббӣ, ки дар онҳо амали аввалиндараҷаи шустани дарозмуддати мавзъҳои задашуда бо ҷараёни оби раван мебошад, пешниҳод шудаанд. Мавод барои мутахассисони беҳатарию техносфера аҳамияти амалӣ дорад.

Калидвожаҳо: сӯхтагии кимиёвӣ, воситаҳои ҳифзи инфиродӣ, варами токсикӣи шуш, бемориҳои касбӣ, моеъҳои криогенӣ, дерматит, захролудшавӣ аз бугҳо, задашавии аъзои нафас.

THE IMPACT OF AGGRESSIVE CHEMICALS ON HUMANS AND COMPREHENSIVE MEASURES TO REDUCE THEIR HARM**A.A. Akramov, K.R. Rahmatzoda**

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The publication is dedicated to the comprehensive issues of occupational health and safety (OH&S) and industrial hygiene under conditions of regular exposure of personnel to technically hazardous reagents at industrial and construction facilities. The researchers have systematized data on the specific destructive impact of highly concentrated acid-base environments, fuels and lubricants, liquefied gases, and toxic volatile compounds on human tissues and physiological systems. The paper reveals the patterns of development of severe chemical injuries, cryogenic lesions, acute skin pathologies, respiratory tract damage, and general intoxications. A particular emphasis is placed on the physicochemical and technological factors that deteriorate the working environment: it describes the gas exchange processes ("breathing") of storage tanks, the dynamics of absorption and desorption of toxicants by the porous structures of building materials and protective gear, as well as malfunctions in air purification systems and depressurization of pipelines during reagent transportation. As a practical value, the study provides well-founded recommendations on the selection, proper application, decontamination, and rotation of personal protective equipment (RPE and PPE for skin protection), hygiene regulations, and step-by-step first-aid protocols, where the primary action is prolonged flushing of the affected areas with running water. The material is of applied value for specialists in technosphere safety.

Keywords: chemical burns, personal protective equipment (PPE), toxic pulmonary edema, occupational diseases, cryogenic liquids, dermatitis, vapor poisoning, respiratory tract damage.

Введение (Introduction)

Широкое внедрение высокоактивных химических агентов выступает базовой составляющей современных технологических циклов в строительном секторе, индустриальном секторе и химическом производстве. Активное оперирование концентрированными кислотно-щелочными растворами, криогенными средами, растворителями органического происхождения, техническим топливом и ядовитыми газами гарантирует высокую продуктивность и требуемые стандарты качества продукции. Вместе с тем масштабное насыщение производства химикатами сопровождается повышенной угрозой для жизни и здоровья специалистов. Взаимодействие с агрессивными реагентами может спровоцировать широкий спектр патологий – от повреждений эпителиально-кожного покрова до острых полиорганных интоксикаций с летальным исходом [1, 3, 10].

Предупреждение негативного влияния химических токсикантов сегодня опирается на солидный научно-практический фундамент, сформированный многолетней практикой их промышленного использования. Эффективные методы защиты нашли отражение в комплексе санитарно-эпидемиологических правил и стандартах безопасности жизнедеятельности. Для всех категорий сотрудников, задействованных в цепочке поставки, размещения на складах, перекачки и непосредственной обработки опасных реагентов, критически важно не просто глубоко усвоить регламентированные нормативы, но и строго придерживаться их на практике [4-9]. Пренебрежение правилами защиты, отклонение от регламентированных процессов или беспечность при обращении с химикатами неминуемо создают угрозу для нормального санитарно-гигиенического состояния рабочей зоны.

Защита персонала от химических рисков на производстве представляет собой комплексную междисциплинарную задачу. Данное направление объединяет изучение физико-химических закономерностей трансформации токсикантов во внешней среде (включая фазовые переходы, сорбционно-десорбционные явления и процессы парообмена в емкостном оборудовании) и анализ их патофизиологического влияния на человеческий организм. Попадая в системный кровоток через респираторный тракт, дермальный барьер или ЖКТ, ядовитые соединения оказывают органотоксическое действие, поражая ЦНС, гепатобилиарную и выделительную системы, миокард и кроветворные ткани. Степень патологических изменений коррелирует не только с дозой реагента, но и с параметрами рабочей среды, временем контакта, а также оперативностью и корректностью проведения доврачебных спасательных мероприятий.

Целевая установка данного исследования заключается в всестороннем исследовании рисков и угроз, сопряженных с оперированием едкими и ядовитыми химическими реагентами в индустриальном секторе. В работе детально систематизированы патофизиологические паттерны поражения человеческого организма разнообразными химикатами, вскрываются ключевые причины деградации санитарно-гигиенических параметров рабочей зоны, а также обобщается комплекс практических мер по эффективному использованию СИЗ, проведению профилактики и реализации поэтапных протоколов неотложной помощи при возникновении внештатных и аварийных ситуаций.

Материалы и методы исследования (Materials and methods)

Уровень негативного воздействия химикатов на организм сотрудника определяется свойствами самих реагентов и спецификой условий на производстве, что выступает центральным предметом настоящего изыскания.

В спектр анализируемых агентов включены едкие жидкие смеси (кислотные и щелочные растворы, горюче-смазочные материалы, тормозные, охлаждающие и аккумуляторные рабочие жидкости), сжиженные криогазы (азот, кислород), а также парогазовые и летучие компоненты (пары азотной кислоты, аммиак, окислы азота, амины и акролеин).

Программа исследований включает комплексную оценку безопасности производства и параметров рабочей среды. В рамках данной работы осуществляется анализ физико-химических свойств веществ (включая фазовый состав, растворимость, испаряемость, реакционную способность и температуру кипения), а также исследуются возможные пути поступления токсикантов в организм (ингаляционный, перкутанный и пероральный). Помимо этого, дается оценка параметрам производственных площадей и оснащения (объему помещений, надежности вентиляционных систем, сорбционной способности поверхностей и испарениям из резервуаров), правилам применения СИЗ (фильтрующих, изолирующих и шланговых аппаратов, спецодежды), процедурам обеззараживания и техническому оснащению для экстренной помощи (наличию обмывочно-нейтрализационной техники, аварийных фонтанчиков, душей и гидрантов).

Результаты (Results)

При обращении с вредными химикатами основную угрозу представляет местное токсическое поражение. К категории агрессивных соединений относятся концентрированные кислоты, щелочи и щелочесодержащие виды топлива. Их попадание на открытые участки тела приводит к формированию тяжелых химических ожогов, способных вызывать инвалидность, а при обширных поражениях – смерть пострадавшего. Критическую угрозу здоровью представляет офтальмологическое поражение едкими жидкостями, чреватое слепотой. В свою очередь, эксплуатация криогенных систем (жидкого азота, кислорода и других сверххолодных сред) сопряжена с риском получения глубоких термических травм холодного типа (отморожений) [11-15].

Попадание на кожные покровы легковоспламеняющихся и горючих жидких углеводородов (бензина, керосина, дизельного топлива и солярового масла) лишь в единичных случаях становится причиной химических поражений кожи. Тем не менее, длительная экспозиция данных веществ вызывает профессиональные поражения дермы: острые воспалительные процессы (дерматиты), пересушивание, трещины, ороговение верхнего слоя кожи, а также гнойничковые и воспалительные заболевания железистого аппарата и волосяных фолликулов (угри, фурункулы, фолликулиты). Кроме того, часть жидких реагентов характеризуется кожно-резорбтивным эффектом, приводящим к общему отравлению при попадании в кровь. Локальные поражения тканей также формируются под воздействием высоких концентраций паров азотной кислоты и схожих агентов в воздухе, повреждающих в первую очередь зрительный анализатор, дыхательные пути и влажные кожные покровы.

Характер негативного воздействия газов на слизистую оболочку глаз и воздухоносные пути определяется физико-химическими свойствами соединений – в первую очередь их растворимостью в воде и способностью вступать в биохимические реакции с тканями. Соединения с высоким показателем растворимости и выраженной химической активностью поражают преимущественно верхние дыхательные пути и глаза, вызывая характерный комплекс симптомов: першение в горле и носовой полости, острый кашель, за грудиной боль, резь в глазах, одышку и активное слезовыделение. При высокой концентрации особо токсичных газов возникает риск спазмирования гортанных мышц, что может стать причиной острой непроходимости дыхательных путей (удушья). На рисунке 1 показан фрагмент работы со спецодеждой с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.



Рисунок 1 – Фрагмент работы со спецодеждой с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями
Figure 1 – Fragment of work with protective clothing when handling flammable and combustible liquids

Вещества в газообразном состоянии, характеризующиеся слабой растворимостью в воде, мало воздействуют на слизистые оболочки глаз и верхних воздухоносных путей. Не задерживаясь в носоглотке и трахее, они беспрепятственно поступают в нижние отделы дыхательной системы. Проникая в легочную ткань и далее в кровь, подобные ингаляционные токсиканты оказывают комбинированное – местное и общерезорбтивное действие. Примером таких агрессивных агентов служат акролеин и оксиды азота, ингаляция которых приводит к тяжелейшему поражению – токсическому отеку легких, часто заканчивающемуся смертью пострадавшего.

Развитие критических патологических состояний, таких как отек легких, а также отек или ларингоспазм, происходит только при контакте с критически высокими концентрациями едких газов и паров в зоне дыхания. В условиях незначительного превышения допустимых концентраций фиксируются легкие формы интоксикаций с минимальными локальными проявлениями. В свою очередь, длительный труд в условиях постоянной загазованной атмосферы без применения или при

некорректном использовании средств защиты органов дыхания провоцирует развитие профессиональных хронических болезней: хронического ринита и бронхита, эмфиземы легких, а также бронхиальной астмы.

Высокие концентрации в воздухе водорастворимых газообразных соединений с выраженными щелочными свойствами (таких как аминосоединения, аммиак и их производные) способны вызывать обратимое снижение прозрачности роговичной оболочки глаза, сопровождающееся временным падением остроты зрения.

Эксплуатация ядовитых технических жидкостей непрерывно сопряжена с риском возникновения общей интоксикации организма при поступлении токсикантов через респираторный тракт, эпидермис или органы пищеварения. Согласно статистике, доминирующим маршрутом проникновения является ингаляция загрязненной парогазовыми примесями воздушной среды. На втором месте находятся поражения, вызванные кожно-резорбтивным действием реагентов. Поступление ядовитых агентов через ЖКТ встречается реже всего и служит следствием либо несоблюдения правил гигиены труда, либо ошибочного (преднамеренного) перорального приема. В частности, суррогатное использование антифризов и гидравлических/тормозных жидкостей вместо спиртного провоцирует тяжелейшие системные отравления, чаще всего заканчивающиеся смертью пострадавшего.

Физико-химический профиль ядовитого вещества определяет вектор его патогенного воздействия на организм человека. Избирательный эффект может проявляться в первичном поражении центральной нервной системы, печеночной или почечной ткани, сердечно-сосудистой системы, форменных элементов крови либо органов зрения. Подобная специфичность симптомов помогает врачу-токсикологу определить вид яда. Однако для большинства промышленно опасных веществ характерно сочетанное действие на различие ткани и органов, формирующих сложный полиорганный синдром интоксикации.

К деградации условий труда на производстве чаще всего приводит комплекс причин: загазованность воздуха едкими парами и токсинами, отсутствие или неэффективность систем вентиляции, а также регулярные утечки и проливы химических жидкостей. Дополнительно ситуацию усугубляют несвоевременная дегазация и уборка пролитых ядов, неграмотное применение либо несовершенство средств индивидуальной защиты и общее нарушение организационно-технических правил работы с опасными и едкими соединениями. На рисунке 2 показаны фрагменты определения загрязнения воды химическими жидкостями.



Рисунок 1 – Фрагменты определения загрязнения воды химическими жидкостями
Figure 2 – Excerpts of detecting water pollution caused by chemical liquids

Уровень насыщения воздушной среды закрытых цехов вредными газами и парами главным образом определяется качеством герметизации оборудования и способами транспортировки токсичных спецжидкостей. Рост концентрации вредных веществ происходит вследствие разгерметизации арматуры (протечек), пористости или повреждений ограждающих конструкций и полов, удерживающих вредности, а также из-за ошибок в проектировании и эксплуатации систем воздухообмена. К другим существенным факторам относятся несвоевременная дегазация пролитых продуктов и испарения из емкостного оборудования, возникающие при технологических и температурных дыхательных циклах резервуарных парков.

Главным фактором локального ухудшения качества воздуха становятся ошибки персонала и пренебрежение правилами безопасности, приводящие к попаданию химических реагентов на элементы конструкций, спецодежду и рабочее оборудование. Серьезное значение имеет и технологический фактор: использование пористых отделочных материалов внутри помещений способствует

аккумуляции жидкостей с их последующим длительным выделением в окружающую среду. Обладая сорбционными свойствами, подобные поверхности сначала поглощают вредные соединения, а затем постепенно отдают их в объем цеха. Кроме того, на интенсивность парообразования напрямую влияет динамика жидкой среды, которая резко возрастает в процессе перекачки, заполнения резервуаров, слива и других транспортировочных манипуляций.

Высокая концентрация токсичных паров и газов, образующаяся внутри технологического оборудования, цистерн и трубопроводов, представляет серьезную угрозу массового выброса загрязняющих веществ в атмосферу при выполнении сливно-наливных процедур. Поступающий поток жидкости вытесняет внутреннюю газовую фазу в рабочее пространство, выбивая скопившиеся пары – так проявляется феномен «большого дыхания» емкостей. Подобный процесс характерно проявляется не только при заполнении резервуаров основными технологическими продуктами, но и на этапах промывки или нейтрализации систем водой и смывными растворами, если ранее эти емкости задействовались для работы с агрессивными химикатами.

Атмосферные колебания температуры и барометрического давления провоцируют так называемое «малое дыхание» резервуарного оборудования. Расширение газопаровой смеси при нагревании, как и падение внешнего давления, вызывает пассивную утечку ядовитых испарений в окружающую среду. Дополнительную опасность представляет экипировка персонала: волокнистая структура материалов впитывает вредные газы и впоследствии дозированно выделяет их в пространство рабочей зоны, формируя устойчивый очаг вторичного загрязнения.

Степень концентрации ядовитых веществ в воздухе напрямую определяется объемом производственного помещения и качеством работы принудительной вентиляции. Объекты с небольшим внутренним кубатурным объемом быстрее достигают критического уровня загазованности, тогда как грамотно спроектированный воздухообмен эффективнее удаляет вредные выбросы. При выполнении задач на открытых площадках опасные концентрации возникают локально и на короткие интервалы непосредственно у мест испарения (раскрытых люков, наливных рукавов). Ключевыми параметрами, влияющими на рассеивание веществ в наружном воздухе, являются вектор и скорость ветрового потока.

Непосредственный контакт с агрессивными спецжидкостями выступает основным фактором химических ожогов кожных покровов и органов зрения. Главные причины подобных инцидентов — внештатные протечки из-за разгерметизации технологических узлов, а также игнорирование персоналом средств индивидуальной защиты и регламентов техники безопасности. С точки зрения производственных циклов наибольший риск разбрызгивания и попадания реактивов на тело и экипировку характерно сопровождает открытый слив-налив и межрезервуарную перекачку химикатов. Загрязнение спецодежды и кожи рабочих агрессивными средами обусловлено рядом организационных и технических нарушений. Среди них — слив остаточных продуктов из гибких рукавов открытым методом на заправочных пунктах и эстакадах, а также негерметичность запорной арматуры, сальниковых уплотнений и фланцев. Повышенную угрозу создают внезапные порывы шлангов под давлением вследствие их физического износа или повреждения вредителями. Кроме того, к попаданию реагентов на персонал приводят переполнение емкостей, перевозка кислот и щелочей в стеклянной или негерметичной таре, нарушения при отборе проб, проведение ремонтных работ на действующих линиях перекачки, а также несоблюдение инструкций по зачистке оборудования и нейтрализации отходов.

Обсуждение (Discission)

В условиях производства локальные поражения крайне редко встречаются в изолированном виде, как правило они протекают совместно с общей интоксикацией, дестабилизирующей работу всего организма. Степень потенциальной опасности вредных соединений формируется совокупностью их физико-химических и токсикологических характеристик: фазовым состоянием, степенью летучести, температурой кипения, а также химической активностью. Свойства химикатов преодолевать барьеры неповрежденной кожи и органов дыхания, вмешиваясь в биохимические и физиологические процессы, формируют их токсический профиль, от которого напрямую зависят тяжесть поражения и потеря трудоспособности персонала.

Тяжесть и вероятность химических поражений увеличиваются под воздействием высокой температуры воздуха, при гипоксии (вызванной падением парциального давления кислорода в горной местности, замкнутых помещениях или летательных аппаратах), а также в условиях тяжелого физического труда. Дополнительными катализаторами риска выступают отсутствие СИЗОД или эксплуатация неисправных (отработавших) фильтрующих элементов. Не менее важен временной

фактор: регулярная и длительная работа в загазованной среде без технологических пауз экспоненциально повышает вероятность развития профильных заболеваний. При этом соблюдение правил гигиены труда и ТБ позволяет полностью нивелировать эти негативные эффекты.

По временным параметрам и скорости манифестации клинических симптомов отравления подразделяют на острые и хронические. Острые поражения являются следствием одномоментного или краткосрочного попадания в организм высоких доз ядовитого агента. В свою очередь, систематический и длительный контакт с незначительными концентрациями химикатов приводит к накоплению поражающего эффекта и развитию хронических профессиональных интоксикаций.

Предупреждение профессиональных интоксикаций обладает принципиальным преимуществом перед их последующей ликвидацией и лечением. Строгая профилактика служит гарантией сохранения трудоспособности сотрудников и успешного решения поставленных задач. На этапе проведения работ со спецжидкостями критически важно исключить проливы и попадание реагентов на защитную одежду во избежание химических ожогов. Наряду с этим устанавливается регламент использования СИЗ: спецодежда снимается сразу по окончании технологических процессов, ее ношение во внерабочее время запрещается, а хранение в жилых объектах не допускается ни при каких обстоятельствах.

Накопление летучих химических соединений в структуре тканей спецодежды выступает фактором пролонгированного токсического воздействия и развития хронических заболеваний. В связи с этим вводится обязательная регулярная дегазация рабочей экипировки. В качестве простейшей меры используется выветривание на открытом пространстве, эффективное в теплую погоду (для синтетических тканей – под навесами во избежание ультрафиолетового разрушения). Параллельно внедряется жесткий санитарно-пропускной контроль: до начала операций с токсичными соединениями рабочие должны полностью переодеваться в комплект спецобуви и спецодежды, оставляя личные вещи, а по завершении рабочей смены – осуществлять обратную смену экипировки.

Применение средств защиты органов дыхания служит главным условием предотвращения ингаляционных отравлений при выполнении задач в загазованных зонах. Однако фильтрующе-поглощающие коробки имеют лимитированный срок защитного действия. Игнорирование нормативных интервалов их использования влечет за собой падение фильтрационной способности и проскок токсичных паров под маску. Дополнительно перенасыщенный шихтовый материал может проявлять десорбционные свойства, выбивая ранее задержанные реагенты в подмасочное пространство. Для исключения интоксикации требуется строго контролировать наработку СИЗОД и своевременно заменять исчерпавшие ресурс фильтрующие элементы.

Использование изолирующих и шланговых аппаратов обязательно при проведении работ в атмосфере с экстремальными концентрациями вредных веществ либо при дефиците кислорода. Подобная обстановка типична для замкнутых объемов – во время зачистки, сварки или обслуживания внутри цистерн и технологических емкостей, где фильтрующие противогазы не гарантируют требуемого уровня защиты.

Соблюдение правил личной гигиены работниками выступает базовым фактором в профилактике как общего отравления (острого или накопительного типа), так и местных химических повреждений. По окончании смены персонал должен принимать гигиенический душ для нейтрализации смываемых реагентов и предупреждения их всасывания через кожные покровы. Особое значение имеет мытье рук перед приемом пищи. Наряду с этим на производственных участках строго запрещаются курение и употребление еды, поскольку нарушение данных санитарных требований часто приводит к попаданию токсикантов в организм через ЖКТ.

Оперативность оказания первой само- и взаимопомощи имеет определяющее значение для снижения тяжести травмирования спецжидкостями, особенно при обильном попадании агрессивных сред на тело. Попадание агрессивных химикатов на кожу требует их моментального удаления в течение первых 3-5 секунд – это позволяет предотвратить формирование тяжелых химических ожогов. Основным способом экстренной обработки является обильное промывание пораженных участков проточной водой. С этой целью технологические зоны в обязательном порядке оборудуются стационарными или мобильными устройствами экстренной гигиены (аварийными фонтанчиками для органов зрения, гидрантами и душевыми установками).

В условиях полевых и временных объектов для локализации химических поражений задействуют пожарные или обмывочно-нейтрализационные машины. Если привлечение специализированного автотранспорта невозможно, в зоне проведения работ организуют обязательный резерв воды в цистернах или емкостях, а также подготавливают подручные средства пролива. Для

обеспечения максимальной скорости оказания помощи целесообразно использовать шланг с подачей проточной воды под давлением, расположенный в непосредственной близости от персонала.

При масштабном загрязнении кожных покровов и спецодежды нейтрализация вредностей выполняется под аварийным душем, обеспечивающим мгновенную подачу воды с большим расходом, либо в наполненной гигиенической ванне. Для промывки глаз наиболее эффективны рабочие фонтанчики или шланговые насадки с регулируемой мягкой восходящей струей. На необустроенных объектах при отсутствии проточной воды обработку глаз проводят из доступных емкостей небольшого объема, уложив пострадавшего горизонтально на спину.

На экипаж спецтехники (ОНМ) возлагается задача по постоянному наблюдению за работающим персоналом с готовностью к моментальной подаче воды из шланга при попадании химикатов на кожу. При эксплуатации техники в условиях отрицательных температур необходимо контролировать подогрев воды для смыва до 25-40 °С. В свою очередь, для успешной ликвидации последствий интоксикации пострадавшему необходимо по возможности детально информировать врача об обстоятельствах контакта с ядом, что является залогом своевременной постановки диагноза и успешного лечения.

Заклучение (Conclusions)

Риск получения локальных ожогов и системных отравлений напрямую коррелирует со степенью соблюдения техники безопасности на объекте. Для эффективного предупреждения производственного травматизма требуется внедрение системного профилактического подхода. Он объединяет инженерно-технические решения (герметизацию систем, эффективную вентиляцию, исключение открытого налива), правильную эксплуатацию СИЗ и соблюдение санитарно-гигиенического режима. В случае химических инцидентов главным фактором спасения является мгновенная первая помощь – обильная гидропромывка пораженных участков в первые секунды после контакта.

Рецензент: Хасанзода Н.М. - д.т.н., профессор кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ПТФУ имени акад. М.С. Осими.

Литература

1. Арустамов, Э. А. Безопасность жизнедеятельности: учебник / Э. А. Арустамов // — М. : Дашков и К, 2017. — 678 с.
2. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для вузов / С. В. Белов // — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Юрайт, 2019. — 682 с.
3. Глебова, Е. В. Производственная санитария и гигиена труда : учебное пособие для вузов / Е. В. Глебова // — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 2018. — 382 с.
4. Графкина, М. В. Охрана труда и производственная безопасность : учебник / М. В. Графкина // — М. : Проспект, 2017. — 424 с.
5. Девисилов, В. А. Охрана труда : учебник / В. А. Девисилов // — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 512 с.
6. Измеров, Н. Ф. Гигиена труда : учебник / Н. Ф. Измеров, В. Ф. Кириллов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 480 с.
7. Каракеев, В. И. Безопасность жизнедеятельности : учебник и практикум для вузов / В. И. Каракеев, И. М. Никулина // — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Юрайт, 2021. — 384 с.
8. Кукин, П. П. Основы токсикологии : учебное пособие / П. П. Кукин, Н. Л. Пономарев, К. Р. Таранцева // — М. : Высшая школа, 2017. — 279 с.
9. Курляндский, Б. А. Общая токсикология / Б. А. Курляндский, В. А. Филлов // — М. : Медицина, 2002. — 608 с.
10. Матрюков, Б. С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них : учебник для вузов / Б. С. Матрюков // — М. : Академия, 2017. — 320 с.
11. Михайлов, Л. А. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Л. А. Михайлов [и др.] ; под ред. Л. А. Михайлова // — СПб. : Питер, 2018. — 464 с.
12. Русак, О. Н. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / О. Н. Русак, К. Р. Малаян, Н. Г. Занько ; под ред. О. Н. Русака // — СПб. : Лань, 2019. — 672 с.
13. Фролов, А. В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда : учебное пособие для вузов / А. В. Фролов, Т. Н. Бакаева ; под общ. ред. А. В. Фролова // — 4-е изд., перераб. и доп. — Ростов н/Д : Феникс, 2017. — 750 с.
14. Хван, Т. А. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / Т. А. Хван, П. А. Хван // — Ростов н/Д : Феникс, 2017. — 418 с.
15. Челноков, А. А. Охрана труда : учебное пособие / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Ющенко // — Минск : Высшая школа, 2018. — 655 с.

References

1. Arustamov, E. A. Life Safety: Textbook / E. A. Arustamov // – Moscow: Dashkov & K, 2017. – 678 p.
2. Belov, S. V. Life Safety and Environmental Protection (Technosphere Safety): Textbook for Universities / S. V. Belov // – 4th ed., rev. and exp. – Moscow: Yurayt, 2019. – 682 p.
3. Glebova, E. V. Industrial Sanitation and Occupational Hygiene: Study Guide for Universities / E. V. Glebova // – 2nd ed., rev. and exp. – Moscow: Vysshaya Shkola, 2018. – 382 p.
4. Grafkina, M. V. Occupational Health and Industrial Safety: Textbook / M. V. Grafkina // – Moscow: Prospekt, 2017. – 424 p.
5. Devisilov, V. A. Occupational Health: Textbook / V. A. Devisilov // – 5th ed., rev. and exp. – Moscow: FORUM : INFRA-M, 2020. – 512 p.
6. Izmerov, N. F. Occupational Hygiene: Textbook / N. F. Izmerov, V. F. Kirillov. – 2nd ed., rev. and exp. – Moscow: GEOTAR-Media, 2016. – 480 p.
7. Karakeyan, V. I. Life Safety: Textbook and Workshop for Universities / V. I. Karakeyan, I. M. Nikulina // – 3rd ed., rev. and exp. – Moscow: Yurayt, 2021. – 384 p.
8. Kukin, P. P. Fundamentals of Toxicology: Study Guide / P. P. Kukin, N. L. Ponomarev, K. R. Tarantseva // – Moscow: Vysshaya Shkola, 2017. – 279 p.
9. Kurlyandsky, B. A. General Toxicology / B. A. Kurlyandsky, V. A. Filov // – Moscow: Meditsina, 2002. – 608 p.
10. Mastryukov, B. S. Man-Made Hazards and Protection Against Them: Textbook for Universities / B. S. Mastryukov // – Moscow: Akademiya, 2017. – 320 p.
11. Mikhailov, L. A. Life Safety: Textbook for Universities / L. A. Mikhailov [et al.] ; ed. by L. A. Mikhailov // – Saint Petersburg: Piter, 2018. – 464 p.
12. Rusak, O. N. Life Safety: Study Guide / O. N. Rusak, K. R. Malayan, N. G. Zan'ko ; ed. by O. N. Rusak // – Saint Petersburg: Lan', 2019. – 672 p.
13. Frolov, A. V. Life Safety. Occupational Health: Study Guide for Universities / A. V. Frolov, T. N. Bakayeva ; under general ed. of A. V. Frolov // – 4th ed., rev. and exp. – Rostov-on-Don: Phenix, 2017. – 750 p.

Сведения об авторах:

Акромов Авазжон Абдуллоевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7084-9128>. E-mail: akramov.avaz@mail.ru

Рахматзода Комрон Рахмат, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры “Архитектура зданий и сооружений”, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1091-8862>. E-mail: rabiev.1995@mail.ru

Маълумот оид ба муаллифон:

Акромов Авазжон Абдуллоевич, номзади илмҳои техникӣ, дотсент, дотсенти кафедраи сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандии, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7084-9128>. E-mail: akramov.avaz@mail.ru

Рахматзода Комрон Рахмат, номзади илмҳои техникӣ, номзади илмҳои техникӣ, муаллими калони кафедраи меъморӣ биноҳо ва иншоот, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1091-8862>. E-mail: rabiev.1995@mail.ru

Information about the authors:

Akramov Avazjon Abdulloevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Industrial and Civil Engineering, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7084-9128>. E-mail: akramov.avaz@mail.ru

Rahmatzoda Komron Rahmat, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Architecture of Buildings and Structures, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1091-8862>. E-mail: rabiev.1995@mail.ru

ФАЛСАФАИ ИЛМУ ТЕХНИКА - ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ - PHILOSOPHY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

УДК: 72.05

DOI: 10.65599/TS7984

ТАҲЛИЛИ ФАЛСАФИИ БАЪЗЕ АРЗИШҶОИ СЕМАНТИКӢ ВА ЗЕБОИШИНОӢ ДАР МЕЪМОРӢ

А.Б. Рамазониён

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар ҷомеаи муосир меъморӣ ва шаҳрсозӣ ба таври бешубҳа рушд намуда истодааст. Дар рушди ин соҳаи муҳими иҷтимоӣ донишмандони алоқамандии мафҳумҳои фалсафӣ, ки дар меъморӣ истифода мешаванд, хело зарур аст, зеро тамоми соҳа, ҳосилатан меъмориро бе фалсафа тасаввур кардан ғайри имкон аст. Оддитарин бино ё як амали меъморӣ бояд дорои маъно ва моҳияти ба худ хос бошад, то бинандаро ба худ ҷалб намуда тавонад. Аз ин рӯ, дар мақола баъзе мафҳумҳои фалсафӣ, ки дар меъморӣ истифода мешаванд, ва он мафҳумҳо ҳам дар фалсафа ва ҳам дар меъморӣ ба тарзҳои гуногун истифода мешаванд, дар асоси андешаҳои файласуфон, зебоишиносон ва меъморони бузург шарҳ дода шуда, ҳолатҳои гуногуни истифодаи онҳо дар меъморӣ баррасӣ шудаанд. Дар мақола бештар мафҳумҳои фазо, замон, шакл, форма, макон ва ғайраҳо ба таври зарурӣ шарҳ дода шуда, ҳолатҳои истифодаи онҳо дар меъморӣ муайян, умумият ва фарқияти маъноии онҳо дар фалсафа ва меъморӣ баррасӣ шудаанд. Инчунин, муаллиф шинохти мафҳумҳои фалсафиро, ки дар меъморӣ Эрони Бостон истифода шудаанд, ҳосилатан мафҳуми “ҷалипо”-ро то андозае шарҳ додааст.

Калидвожаҳо: фалсафа, меъморӣ, фазо, шакл, форма, макон, замон, ҷалипо, мафҳум, робита, тафаккур, инсон, меъмор.

ФИЛОСОФСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ СЕМАНТИЧЕСКИХ И ЭСТЕТИЧЕСКИХ ЦЕННОСТЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ

А.Б. Рамазониён

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

В современном обществе архитектура и градостроительство развиваются беспрецедентными темпами. В развитии этой важной социальной сферы крайне важно понимать взаимосвязь между философскими понятиями, используемыми в архитектуре, поскольку невозможно представить всю эту область, особенно архитектуру, без философии, ведь даже самое простое здание или архитектурное действие должно иметь свой собственный смысл и сущность, чтобы привлечь зрителя. Таким образом, в статье рассматриваются некоторые философские понятия, используемые в архитектуре, и то, как эти понятия применяются по-разному как в философии, так и в архитектуре, основываясь на идеях философов, эстетиков и великих архитекторов, а также обсуждаются различные примеры их использования в архитектуре. В статье в основном рассматриваются понятия пространства, времени, формы, пространства и т. д., а также анализируются примеры их использования в архитектуре, их общие черты и различия в значении в философии и архитектуре. Также автор в некоторой степени объясняет знание философских понятий, используемых в архитектуре Древнего Ирана, в частности, понятие «свастика».

Ключевые слова: философия, архитектура, вид, форма, место, время, свастика, понятия, связь, мышление, человек, архитектор.

PHILOSOPHICAL ANALYSIS OF SOME SEMANTIC AND AESTHETIC VALUES IN ARCHITECTURE A.B. Ramazoniyon

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

In modern society, architecture and urban planning are developing at an unprecedented pace. In the development of this important social sphere, it is crucial to understand the relationship between the philosophical concepts used in architecture. It is impossible to imagine this entire field, especially architecture, without philosophy. Even the simplest building or architectural act must have its own meaning and essence to attract the viewer. Thus, this article examines some philosophical concepts used in architecture and how these concepts are applied differently in both philosophy and architecture, drawing on the ideas of philosophers, aestheticians, and great architects, and discusses various examples of their use in architecture. The article primarily examines the concepts of space, time, form, spatiality, and so on, and analyzes examples of their use in architecture, their commonalities, and differences in meaning in philosophy and architecture. The author also explains, to some extent, the philosophical concepts used in the architecture of Ancient Iran, particularly the concept of the swastika.

Keywords: philosophy, architecture, figure, form, place, time, swastika, concepts, connection, thinking, human, architect.

Муқаддима (Introduction)

Вақте аз меъморӣ сухан дар миён меояд, онро наметавон якҷониба монанди зебоишиноӣ баррасӣ кард, зеро меъморӣ худ як тафаккури фалсафӣ аст, ки ҳама чиз дар он намуди зотӣ ва лаҳзаӣ дорад. Унсурҳои монанди фазо ва мафҳуми он, тафаккур ба амал дар фазо, замон ва дарки фазо, макон ва шакл қобили тасаввур аст, вале ҳамаи ин матлаб бо ин хатм нахоҳад шуд, зеро ҳамаи ин унсурҳо бо фалсафа маъно пайдо мекунад.

Машғул шудан ба меъморӣ ба унвони як ҳунари имкониятҳои фароҳам меоварад, ки инсон ҳолатҳои гуногуни моддӣ, маънаӣ ва фикриро дарк намуда, муҳити табиӣро маснуиро мешиносад.

Ростӣ инсон ба он чӣ месозад як нисбат дорад ва он нисбат барои зистан аст, ки меофарад, обод мекунад. Ин офаридаҳо инсонро бо решаҳои фарҳангии худ ошно месозанд. Гузаштае, ки дар ҳадди ҳастӣ як нутфа оғоз мегардад ва ояндае, ки дар ҳадди сохти дунёи нав мечарҳад. Ба андешаи М. Ҳайдеггер «Таърихи инсон ин таърихи фаромӯшии ҳастӣ аст. Ҳангоми эҷод кардан фаромӯшӣ ба огоҳӣ табдил меёбад. Одамай эҷод мекунад, то аз марг бираҳад, аммо марг дар тору пуди ин ободӣ танида аст. Дар ин миён меъмори ишорае ба офариниш ва эҷод аст» [8, 371]. Аз ин рӯ, меъмори ба зиндагонӣ маъно медиҳад. Меъмори ин ҷустани ҷовидонагӣ дар замин ва посухе ба марг аст, хоки фанопазирӣ одамиро ба ҷовидонагӣ пайванд мекунад.

Мавод ва методҳо (*Materials and methods*)

Дар масъалаи робитаи мафҳумҳои фалсафӣ бо меъмори ва истифодаи онҳо дар ин ришта, донишмандони хориҷӣ то андозае пажӯҳишҳо анҷом додаанд, аммо он дар муҳити илмӣ мо то ҳол норавшан боқӣ мондааст. Зеро то ҳол мо муҳимият ва зарурати омӯзиши фалсафаро барои тамоми соҳаҳои илм наомӯхтаем. Мушкilotи асосие, ки мо дар ин масъала дорем, ин то ҳол наомӯхтани паҳлӯҳои нави фалсафӣ дар соҳаҳои гуногун мебошад. Дар муҳити илмӣ таълимии мо таваҷҷуҳи бештар ба таърихи фалсафа равона шудааст, ки барои як хонанда то андозае шавқовар нест. Муҳаққиқон ва омӯзгорони риштаи фалсафа дар ҷомеаи мо бештар ба омӯзиши фалсафаи асрҳои миёна даст мезананд, албатта ин ҳам хуб аст. Аммо дар замони муосир барои хонанда бояд фалсафаи техника, фалсафаи меъмори, фалсафаи иқтисод ва ғайраҳо дар ҳудуди соатҳои зиёди амалӣ дарс гуфта шавад ва муҳаққиқон ба ин ҷанбаҳои масъала таваҷҷуҳ намоянд. Дар ин ҳолат, масъалаҳои зиёди фалсафӣ баррасӣ мегардад. Меъмори низ назар ба дигар соҳаҳо бештар ба фалсафа эҳтиёҷ дорад, зеро яке аз бахшҳои меъмори ин эҷод аст, ки он бе фалсафа вучуд дошта наметавонад. Дар ин баробар, дар навиштани мақола аз сарчашмаҳои хориҷӣ истифода намудем.

Дар мақолаи мазкур ҳамчун сарчашмаи илмӣ аз китобҳои Шариф Шукуров, ки яке аз фарҳангшиносони бузурги тоҷики муқимии Федератсияи Россия буда ва ба ин масъала то андозае таваҷҷуҳ намудааст, истифода шудааст. Инчунин, аз китоб ва мақолаҳои муҳаққиқони ин соҳа низ ҳамчун адабиёти зарурӣ истифода шудааст.

Ҳар амал барои худ як методи муайян дорад ва инсонҳо барои ҳар амале методҳои мушаххас вучуд дорад. Дар навиштани мақола аз методҳои зиёди санҷидашуда, ба монанди методи тавсифӣ, герменевтикий, иртиботӣ ва муқоисавӣ истифода намудем. Дар аксар маврид методи герменевтикий истифода шудааст, то хонанда дар доираи мавзӯи мазкур маълумоти заруриро гирифта тавонад.

Натиҷаҳо (*Results*)

Он мафҳумҳое, ки дар муҳити фалсафа истифода мешаванд, аз нигоҳи илмӣ то андозае мавриди таваҷҷуҳи донишмандон қарор гирифтаанд. Аммо алоқамандӣ ва ё истифодаи он мафҳумҳо дар бахшҳои дигар, ки истифода мешаванд, кам мавриди таваҷҷуҳи донишмандон қарор гирифтааст. Тамоми соҳаҳо бояд ин нуктаро дар зеҳни худ ҷой диҳанд, ки бидуни фалсафа рушди ҳеч хирфае имконпазир нест. Ин нуктаро гузаштагони мо дарк намуда, ҳатто зиндагии худро бар асоси фалсафа барномарезӣ ва тадвин мекарданд. Одатан меъмори низ аз ҳамин боварҳо, хоссатан меъмории гузашта, аз ҷумла меъмории ориёӣ ниёкони мо аз фалсафа сарчашма мегирад.

Аммо имрӯзҳо он чи мо мушоҳида мекунем, то андозае меъмори ба фалсафа таваҷҷуҳ намекунад ва таъсири фалсафа дар ин соҳа камранг ба назар мерасад. Шояд ин ҳолатро дар набудан ё истифода нашудани мафҳумҳои фалсафӣ ба маънои аслии худ дар меъмори ҳисобид. Зеро ҳар мафҳум дорои маъноҳои ба худ хос мебошанд, ки шунаванда бояд онро дар асоси фалсафа ва соҳаи худ биомӯзад ва донад. Ин нуктаро бояд дарк намуд, ки шукӯҳ ва таҷаллии меъмори бештар дар фазоҳои дохилӣ ниҳода шудааст. Ин масъаларо гузаштагони мо хело хуб дарк карда буданд, зеро донишмандони ғарбӣ меъмории ориёиро меъмории дарунгаро номиданд. Аз ин маълум мегардад, ки тарроҳии фазо дар меъмори бояд ҷунун офарида шавад, ки бинанда дар он вучуди рӯҳро эҳсос кунад ва инсонро аз дунёи моддӣ ба маънавият барад.

Он чиро, ки дар ин ҷо баён мекунем, барои шарҳ ва муайян намудани истифодаи баъзе мафҳумҳои фалсафӣ дар муҳити меъмори аст ва шояд роҳе барои муҳаққиқон ва андешамандон дар заминаи шинохти мафҳумҳо бошад.

Муҳокима (*Discussions*)

Барои меъмори мафҳумҳои зиёде ба монанди фазо, замон, шакл, макон ва ғайраҳо истифода мешаванд, ки бо фалсафа алоқамандии ногустастанӣ доранд. «Меъмори соҳаи бисёр муҳим ва зарурии ҷомеа буда, бештар инъикоси эҳтиёҷот ва вазифаҳои воқеист, ки бо арзишҳои иҷтимоӣ ва қонунҳои

ҷамъият алоқаманд аст. Аммо дар айни замон он чизҳои бештареро, аз қабилӣ шавку ҳаваси инсонӣ, талаботи индивидуалӣ ва ҷамъиятиро ифода мекунад. Дар меъморӣ мафҳуми фазо мавқеи меҳвариро ишғол менамояд» [7, 37]. Фазо (space) вожае аст, ки дар заминаҳои гуногун ва риштаҳои мухталиф аз қабилӣ фалсафа, ҷомеашиносӣ, меъморӣ, шахрсозӣ ва ғайраҳо ба таври васеъ қорбурд дорад. Албатта фазо дар мафҳум ба танҳои ҳеҷ вижагии хосеро матраҳ намекунад, вале ба маҳзи дарк шудан тавассути шуури инсонӣ ва анҷоми фаъолият ба макон табдил мегардад. Ба навъе метавон онро дар ҳар маконе, ки рангу ҳоли хос пайдо мекунад ва дорои тавоноии арзишии мутафовит аст, таъриф намуд.

Албатта фазо ба таври кулӣ макон доништа мешавад, ҳарчанд Арасту фазоро ҷойдиханда ё ғунҷонидани чизҳои мухталиф медонад ё маҷмуае аз маконҳо таъриф мекунад. Инчунин, Афлотун «ҳандасаро илми фазо меномид» [5, 297], ки Мерло –Понти дар тақмили он чунин изҳори назар мекунад: «Фазо паҳноӣ ё муҳите нест, ки чизҳо дар он қарор гиранд, балки василаест, ки бар асоси зоти худ мумкин мешавад ҷой гирифтани чизҳо дар он таҳаққуқ пайдо кунад» [4, 24]. Нютон низ бо назарияи таърифи се буъдӣ, мутлақ ва мушкӣ аз замон ва қолбадҳое, ки онро пур мекунад низ ба тасдиқи сухани Афлотун пардохт. Инчунин, Декарт бар он андеша буд, ки фазо хусусияти метафизикӣ дорад, вале дар айни ҳол бо таъкид бар физика ва механика асли системаи хусусиятҳои росткунҷаро барои қобилии шиносӣ қардан фосилаҳо ном гузошт. Аммо Лейбнитз бар ҳилофи Нютон ва Декарт аз тарафдорони фазои нисбӣ буд ва бовар дошт, ки фазо сирфан навъе аз система аст, ки аз робитаҳои миёниҷизҳо ва будани ҳаҷму зеҳн ташкил мешавад, ки дар меъморӣ низ то ҳадде наздик ба ин мафҳум таърифе аз фазо вучуд дорад, ки фазоро яке аз сирри ростарин намоиҳои ҳастӣ медонанд.

Дар воқеъ андешаҳои ниёкони мо дар ин масир парвариш ёфтааст, ки дар он муваффақ ба дарёфти рамзҳои низомиҳои иҷтимоӣ ва табақаҳои тақобулҳои инсонро бо муҳити ҳеш бармегардонанд. Ин ҳолат боис ва ташвиқи зебоӣ мегардад ва метавон муҳити созандаи зебоишиносиро бо диди зебоишиносӣ дид, ки натиҷаи ин тафаккурҳои дар фазоҳои меъморӣ гузашта метавон ёфт, ки дар онҳо фазоро ингуна метавон таъриф кард: Фазо ин дарёфти вучуди инсон аз макон дар таҷрибаҳои замони мухталиф аст.

Дар фалсафа замон ин мояи идрок ва шинохти фазо аст. Ҷурҷонӣ дар бораи замон чунин мегӯяд: «Замон назди ҳукамо миқдори ҳаракати фалаки атлас аст» [11, 163] дар воқеъ замон бо макон таҷриба мешавад. Замон бо далели пайвастагӣҳо ба макон на ҳанӯз ба маънои фазо, балки ба унвони абзоре барои дарки фазо, ки воқеаҳо дар он таҳаққуқ меёбанд, ки ба шакли мустақим ва ғайри мустақим дарк мегардад.

Формаро метавон забони фазо донист, зеро он чиро, ки меъморон меҳоянд дар фазо баён кунанд, онро бо тавачҷуҳ ба форма баён мекунанд. Ба ҳамин далел форма дорои аҳамияти вижае дар офариниши фазо аст. Дар меъморӣ мучассамасозӣ ва наққошӣ ба форма бештар аҳамият медиҳанд. Дар воқеъ дарунмояи эҷодшудаи ҳар меъмор то абзори он, аз тарафи муҳотабон мавриди нақд қарор мегирад, ки ин абзорро метавон дар меъморӣ зерини унвони форма баён дошт, ки пайвастагии даруниро миёни бинанда ва фазо ба вучуд меоварад. Дар ин ҳолат формаро воситае барои интиқоли мафҳуми фазо ба инсон баён намуд, ки ба унвони абзоре истифодашаванда дар ихтиёри тарроҳон ва меъморон қарор дорад.

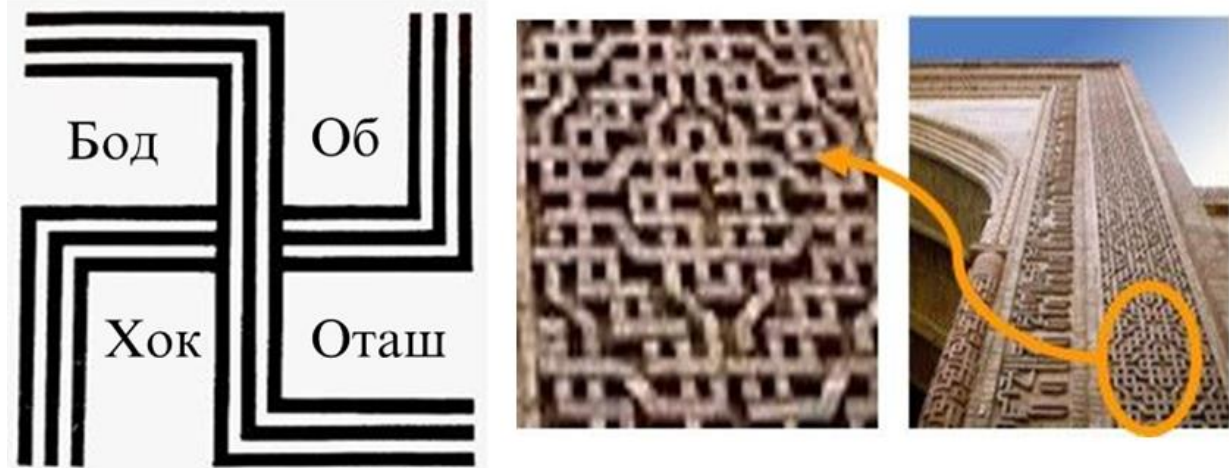
Хусусияти аслии ҳар меъморро метавон тавлиди фазо барои зиндагӣ таъриф намуд ва мусалламан дарки ҳар фазо бо тавачҷуҳ ба тафаккури фарҳангии ҳар минтақа гуногун аст, ки дар воқеъ ин фазоҳои формаҳои ташкил медиҳанд, ки метавон онҳоро макон номид, то аз тариқи макон ба дарки фазо ноил шаванд. Пайдоиши формаро дар меъморӣ метавон дар робитаи мустақими фарҳанг ва боварҳои мардум донист, ки дар асоси шаклҳо, ҷиҳат, ранг ва ҷинсияти ҳосе таъриф мегардад, ки бо кумаки ин ҷаҳор омил, муваффақ ба намуди фазо дар буъди физикӣ ва калиди вуруд ба фарҳангест, ки ин фазоро тавлид мекунанд. Дар воқеъ, формаро метавон намуди физикии тафаккур ва суннатҳои инсонҳои донист, ки ба эҷоди фазо иқдом намудаанд. Пас, бо дарки дурусти формаи эҷодшуда метавон ба дарки дурусти фазо наздик шуд.

Афлотун маконро буъде медонад, ки ҷисм дар он нуфуз мекунад ва агар нуфуз накунад ҳолист. Аммо Арасту маконро «сатҳи ботини ҷисм, ки дарбаргирандаи сатҳи зоҳирӣ аст» [1, 53] медонад. Барои таърифи ҳар чизе ва ҳар коре ҷо ва маҳалле бояд вучуд дошта бошад, ки метавон онро дар макон ёфт. Аммо на ин ки макон мафҳуми мучаррад ва ҳоси ҷоро ироа кунад, балки манзур аз макон аз нигоҳи мо метавонад дарке аз фазо бошад, ки чизе ё коре дар он иттифоқ меафтад ва дар воқеъ маконро тасаввурӣ инсон аз дарки мавқеияти чизе ва қори анҷомшуда дар фазо метавон донист.

Дар нигоҳи аввал мафҳумҳои шакл ва форма ҳар ду як маъно доранд, аммо дар воқеъ чунин нест. Гоҳо иштибоҳан дар матнҳои илмӣ ин ду мафҳум ҳаммаъно истифода мешаванд. Луис Кан дар ин бора чунин менависад: «Форма бо шакл яке нест, шакл ба тарҳ марбут аст, аммо форма ба бунмояш гузоштани ҷузъҳои ҷудоинопазир мепардозад» [10, 192]. Тарҳ он чизе аст, ки бо ба маърази тамошо қарор додани форма меҳояд ба шакл воқеият бахшад. Дар ин росто шаклро метавон ҳамчун дастурамал барои истифодаи формаҳо дар иртибот бо яқдигар таъриф намуд.

Шакл тавассути илми риёзӣ ва илми маъно таъриф мегардад. Дар воқеъ оғози ҳар шаклро аз нуқта медонанд, ки бо табдили он ба ду нуқта метавон ба хат даст ёфт ва дар гузариши хат бо шаклҳои уқлидусӣ ва бо даврони он ба доира ва қурра расид, ки намуде аз олам мебошад. Шаклҳо аз лиҳози риёзият дорои таносуботе дар азлоъ (қанораҳои шакл) ҳастанд, ки беҳтарини ин таносуботро

таносуботи тиллой медонанд, ки дар маҷмуаи мутаносибе аз ададҳои дуруст ва ҳамоҳангӣ бо ададҳои 1,1,2,3,5,13, 21.. ба даст меояд, ки маҷмуи ду адади давомдор, адади баъдири таъриф мекунад. Аммо танҳо ин ададҳои тиллой дар миқёс ва таносубҳои дохил набуданд, балки муҳимтарин омил таъсирпазир дар миқёсро метавон ба инсон нисбат дод, зеро «шаклҳое, ки дар меъморӣ истифода мешуд, худ барои қорбурди инсонӣ таъриф мегардид, ки бар асоси меъмории гузашта миқёсҳои ҳамчун ваҷаб ё қадам ва ғайра ба вучуд омад» [3, 166], ки дар бӯдҳо бар асоси ин миқёсҳо таърифе дар ашқол низ ба даст омад. Инчунин, шаклҳо бо ҳандаса дар риёзиёт метавон таъриф кард, ҳандаса шаклҳое, ки худ бо олами ирфон ва маъно даргир аст, ба навъе, ки аз густариши хатҳо бо 3 хатти секунҷа ва чор тои чоркунҷа истода ва аз густариши чоркунҷа ба атроф бо 5 мураббаи чалипо муҳимтарин унсури меъмории эронӣ ва мукаби 6 хатти бечунбиштарин шаклҳо аст, ба даст меояд.



Расми 1 – Чалипо, яке аз рамзҳои фалсафӣ дар меъморӣ Эрони Бостон;
Figure 1 – Swastika, one of the philosophical symbols in Boston's Iranian architecture;

Аз нигоҳи меъморӣ чалипо аз тарҳҳои ба ҳисоб меояд, ки зебоии ҳар биноро чандин баробар мекунад. Чалипо дар меъмории ориёӣ ба вучуд омадааст. Ин рамз бо ҷаҳор бахши худ, намоди назми кайҳонӣ, ҳамоҳанге миёни унсурҳои ҷаҳоргона ва пайванди инсон бо ҷаҳони минув буда, дар оини меҳрпарастӣ аҳамияти вижае доштааст. Баррасии ҳузури чалипо дар нақши маъбадҳо, хоссатан оташкадаҳо нишон медиҳад, ки ин рамзи тазйинӣ, балки қоркарди маънавӣ ва оинӣ низ доштааст. Нақшаҳои дигари меъмории гузаштагони мо дар зер таъсири ин рамз шакл гирифтаанд ва ҳамоҳангӣ бо боварҳои кайҳониро барои бинанда фароҳам меорад.

Мафҳуми дигаре, ки дар зебоишносии меъморӣ бештар ба назар мерасад, ин истилоҳи юнонии «холоним» аст. Ин истилоҳ дар забони тоҷикӣ ба маънои «бутун» истифода мешавад, ки дар худ боз қисматҳо дорад ва дар илм ин қисматҳоро «мероним» ё «партоним» меноманд. Дар ин бора, фарҳангшинос Шариф Шукуров чунин мегӯяд: «Мафҳуми юнони қадими «холоним» чизи бутунеро мефаҳмонад, ки чизҳои дигар — қисмҳои томеро дар бар мегирад. Дар навбати худ, қисмҳои том нисбат ба ҳуди бутун мероним (ё партоним) номида мешаванд» [9, 20].

Он чӣ, ки дар меъморӣ махсусан дар шинохти сарчашмаҳои назарии он муҳим аст, ин боварҳое, ки мардуми замон дошта ва бо таваҷҷуҳ ба ин ки мардум, хоссатан мардуми Шарқ бештар бар асоси фалсафа ва ирфон рӯй ба барномарезӣ ва тадвини зиндагии хеш мекарданд. Мусалламан, меъморӣ аз ҳамин боварҳо сарчашма гирифта, ки худ баргирифта аз боварҳо будааст. Ба тарзи дигар метавон гуфт, меъмориро дар шакли форма наметавон ёфт ва таҷзия кард, балки онро дар дарк ва навъи офариниш фазое бояд дастабандӣ кард ба навъе меъмории даврони классикро метавон меъмории баргирифта аз фалсафа ва ирфон донист.

Дар меъмории имрӯза мутассифона унсурҳои фалсафӣ то андозае ба инобат гирифта намешавад. Ин ҳолат боис гаштааст, ки меъморӣ ҳувиати худро то андозае аз даст диҳад. Он чӣ дар меъморӣ бояд ҳатмӣ бошад, ин шинохт ва муаррифии дарунмоя ва ҳувиати меъморӣ аст. Моро низ зарур аст, ки дар меъморӣ муосир унсурҳои фалсафии меъмории гузаштаро истифода намоём. Зеро бе вучуд доштани рамзи зоҳирӣ ботин ва фалсафаи чизе муайян намешавад. То агар бино набошад, моҳияти бино дарк намешавад. Дар ин масъала файласуфон ибодатхонаҳо ва ҷисми инсонро мисол меоваранд, ки ибодатхона рамзи берунӣ дар ин олами моддӣ аз он ҳузуре, ки ба ҷашм намеояд, ки дар олами илоҳӣ пушти парда дорад. Ҳамчунон, ки ҷисм рамзи берунӣ дар ин олами машҳуд аз дил аст, ки ба ҷашм намеояд, зеро аз олами ғайб аст. «Дар баробари ин ҳама, меъмор бояд тарзе биноро бисозад, ки шуур, идрок, ҳадс ва вазъи рӯҳу равонии инсонро бедор созад ва ё болида гардонад. Интиҳоби моделҳо, лоиҳаҳо ва ранҳо дар ин масъала бисёр муҳим аст. Дар ҳолати муваффақ шудани меъмор дар ин масъала, бинои ӯ дар хотираҳо нақш мебандад» [6, 75]. Меъморӣ низ бояд рамзе аз олами ботин бошад, ки дар он олами ботинии меъмор, ки бе фалсафа намешавад, намоён шавад.

Хулоса (Conclusions)

Дар умум, мафҳумҳои фалсафӣ ба монанди форма, фазо, шакл, макон, замон, ҷалипо, ҳолоним, мероним ва ғайраҳо дар бахши меъморӣ ба таври густурда истифода мешаванд. Аз ин рӯ, мафҳумҳои мазкур ба қадри имкон дар доираи як мақолаи илмӣ шарҳ ёфтанд. Аз ҳама муҳим ин аст, ки дар меъморӣ мафҳумҳои “шакл” ва “форма” аз ҳамдигар фарқ мекунанд ва меъмор бояд инро дарк кунад. Барои дарки ин меъмор пеш аз ҳама бояд файласуф бошад, то ба умқи мафҳумҳо сарфаҳм рафта, инсонро бо як нигоҳ ба умқи эҷодиёти худ баранд ва бинанда фалсафаи фалсафаи ҳунари дасти ӯро низ дарк кунад, барои ин дар меъморӣ бояд унсурҳои фалсафӣ намоён бошанд. Дар охир яке аз мафҳумҳои бисёр ҷолиб – “ҷалипо”, ки ҳам дар фалсафа ва ҳам дар меъморӣ ба таври фаровон истифода шудааст, мавриди омӯзиш қарор гирифтааст.

Муқаррир: Зийева З.И. – д.и.ф., сарҳодими илмӣ шӯъбаи таърихи фалсафаи ИҶС АМЭНП.

Адабиёт

1. Аристотель. Никомахова Этика / Аристотель – М.: ЭКСМО-Пресс, 2020. – 223с.
2. Бражникова, Я. Г. Плоть и история. К идее архитектурного прошлого в философии М. Мерло-Понти / Я. Г. Бражникова // Логос. – 2004. – № 1(41). – С. 72-87.
3. Иконников А. В. Архитектура XX века. Утопия и реальность / А.В. Иконников – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – Т. 2. – 672с.
4. Мерло П. Око и дух / П. Мерло–М.: Искусство - 1993. – 33с.
5. Платон. Диалоги / Платон –М. 1986. – 581с.
6. Рамазониен, А. Б. Таҳлили коррелятсионии робитаи зебоишиносӣ бо меъморӣ / А. Б. Рамазониен, Б. Саидов // Паёми политехникӣ Бахши: Техника ва ҷомеа. – 2026. – №. 1(13). – Р. 72-76.
7. Рамазониен, А. Б. Анталогиҳои меъморӣ иҷтимоӣ ва нақши он дар сохтмони шаҳрҳои муосир / А. Б. Рамазониен, К. М. Якубзода // Паёми политехникӣ Бахши: Техника ва ҷомеа. – 2025. – №. 3(11). – Р. 37-39.
8. Хайдеггер М. Время и бытие / М Хайдеггер – М., 1993. – 450с.
9. Шукуров, Ш. М. Идея Ирана: Толкование к истории искусства и архитектуры / Ш. М. Шукуров; Институт востоковедения РАН, Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства. – Москва : Прогресс-Традиция, 2021. – 280 с. – ISBN 978-5-89826-591-5.
10. Louis Kahn: The Importance of a Drawing. – New York, 1967. 280 p.
11. Abd al-Qahir al-Jurjani. Asrar al-Balagha [Secrets of Eloquence]. Cairo, 1943.

References

1. Aristotle. Nicomachean Ethics. Moscow, 2020. 223 p.
2. Brazhnikova, Ya. G. Plot' i istoriya. K ideye arkhitektonicheskogo proshlogo v filosofii M. Merlo-Ponti [Flesh and History: On the Idea of the Architectonic Past in the Philosophy of M. Merleau-Ponty]. Logos, 2004, no. 1 (41), pp. 72–87. EDN XHTBWH.
3. Ikonnikov, A. V. Arkhitektura XX veka. Utopiya i real'nost' [Architecture of the 20th Century: Utopia and Reality]. Vol. 2. Moscow: Progress-Traditsiya, 2002. 672 p.
4. Merleau-Ponty, M. Oko i dukh [Eye and Spirit]. Moscow: Iskusstvo, 1993. 33 p.
5. Platon. Dialogi [Dialogues]. Moscow, 1986. 581 p.
6. Ramazonien, A. B., Saidov, B. Tahlili korrelyatsioni robitali zeboishinosi bo me'mori [Correlation Analysis of the Relationship between Aesthetics and Architecture]. Payomi Polytechnic. Section: Technology and Society, 2026, no. 1 (13), pp. 72–76. DOI: 10.65599/TS9475. EDN ABSWJY.
7. Ramazonien, A. B., Yakubzoda, K. M. Antologiyai me'morii ijtimoī va nakshi on dar sokhtmoni shahrhoi muosir [Anthology of Social Architecture and Its Role in the Construction of Modern Cities]. Payomi Polytechnic. Section: Technology and Society, 2025, no. 3 (11), pp. 37–39. EDN VWTQIM.
8. Heidegger, M. Vremya i bytie [Time and Being]. Moscow, 1993. 450 p.
9. Shukurov, Sh. M. Ideya Irana: Tolkovanie k istorii iskusstva i arkhitektury [The Idea of Iran: An Interpretation of the History of Art and Architecture]. Moscow: Progress-Traditsiya, 2021. 280 p. ISBN 978-5-89826-591-5. EDN ZCPOSS.
10. Louis Kahn: The Importance of a Drawing. New York, 1967. 280 p.
11. Abd al-Qahir al-Jurjani. Asrar al-Balagha [Secrets of Eloquence]. Cairo, 1943.

Маълумот дар бораи муаллиф:

Рамазониён Аҳтам Бобосафар, ассистенти кафедраи фанҳои ҷомеашиносии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М. С. Осимӣ. Тел: 918536050. E-mail: ramazoni.93@mail.ru

Сведения об авторе:

Рамазониён Аҳтам Бобосафар, ассистент кафедры общественных наук Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. тел: 918536050. E-mail: ramazoni.93@mail.ru

Information about the author:

Ramazoniyon Ahtam Bobosafar, Assistant of Department of Social Sciences, Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi. tel: 918536050. E-mail: ramazoni.93@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ МНОГОЧЛЕНОВ НА КОРОТКИХ ИНТЕРВАЛАХ

С.Н. Неъматзода, Н.Н. Назрублов

Институт математики имени академика А. Джураева Национальной академии наук Таджикистана

В данной работе рассматриваются этапы исследования распределения дробных частей значений многочленов, аргументы которых принимают значения из коротких интервалов. Основное внимание уделяется методам аналитической теории чисел, связанным с оценками тригонометрических сумм, начиная с классических результатов Гаусса и Вейля и заканчивая современными исследованиями. Показано, что ключевым инструментом исследования распределения дробных частей значений различных многочленов, аргументы которых принимают значения из коротких интервалов, является метод тригонометрических сумм, позволяющий получать нетривиальные оценки и устанавливать равномерное распределение последовательностей по модулю единицы. Рассмотрены оценки рациональных и иррациональных тригонометрических сумм, включая результаты Морделла, Вейля, Хуа Ло-кэна и Виноградова. Особое внимание уделено коротким тригонометрическим суммам Вейля и их роли в исследовании поведения многочленов на коротких интервалах. Приведены результаты таджикских ученых, в частности работы З.Х. Рахмонова, Н.Б. Озодбековой, С.Н. Исмадова, Ф.З. Рахмонова, посвященные оценкам коротких сумм и их применению к задачам равномерного распределения. Полученные результаты демонстрируют значительный прогресс в развитии методов аналитической теории чисел и их применении к задачам распределения. Работа подтверждает важность тригонометрических сумм как универсального инструмента в современной теории чисел.

Ключевые слова: равномерное распределение, дробные части, тригонометрические суммы, суммы Вейля, суммы Гаусса, короткие интервалы, асимптотическая формула, простые числа.

РАВИШҶОИ МУОСИРИ ТАҲҚИҚИ ТАҚСИМШАВИИ ҚИМАТҶОИ БИСЁРАЪЗОГИҶО ДАР ФОСИЛАҶОИ КҶТОҲ

С.Н. Неъматзода, Н.Н. Назрублов

Институти математикаи ба номи академик А. Ҷӯраеви Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Дар ин мақола марҳилаҳои асосии таҳқиқоти тақсимишавии қисмҳои касри қиматҳои бисёраъзогӣ, ки аргументҳои онҳо аз интервалҳои кӯтоҳ қимат мегиранд, баррасӣ мегарданд. Таҳқиқот ба усулҳои назарияи аналитикии ададҳо, махсусан ба баҳодиҳии суммаҳои тригонометрӣ асос ёфтааст. Нишон дода мешавад, ки суммаҳои тригонометрӣ барои омӯختани тақсимишавии қисмҳои касри қиматҳои бисёраъзогӣ гуногун, ки аргументҳои онҳо аз интервалҳои кӯтоҳ қимат мегиранд, гирифтани баҳоҳои ғайритривиалӣ ва исботи тақсимишавии мунтазам аз рӯи модули як воситаи муҳим мебошанд. Дар қор натиҷаҳои классикии Гаусс, Вейл, Морделл, Хуа Ло-кэн ва Виноградов таҳлил карда мешаванд. Дикқати махсус ба суммаҳои кӯтоҳи Вейл дода шудааст, ки дар омӯзиши рафтори бисёраъзогӣ дар интервалҳои кӯтоҳ нақши муҳим доранд. Натиҷаҳои олимони тоҷик, аз ҷумла қорҳои З.Ҳ. Раҳмонов, Н.Б. Озодбекова, С.Н. Исмадов ва Ф.З. Раҳмонов, ки ба баҳодиҳии чунин суммаҳо баҳшида шудаанд, баррасӣ шудаанд. Натиҷаҳои бадастомада аҳамияти усулҳои суммаҳои тригонометрӣ дар назарияи муосири ададҳо тасдиқ мекунад ва саҳми муҳими олимони тоҷикро дар рушди ин соҳа нишон медиҳанд.

Калидвожаҳо: тақсимишавии мунтазам, қисмҳои касрӣ, суммаҳои тригонометрӣ, суммаҳои Вейл, суммаҳои Гаусс, фосилаҳои кӯтоҳ, формулаи асимптотӣ, ададҳои сода.

MODERN APPROACHES TO THE STUDY OF THE DISTRIBUTION OF POLYNOMIAL VALUES OVER SHORT INTERVALS

S.N. Nematzoda, N.N. Nazrublov

Institute of mathematics named after Academician A. Juraev of the National Academy of sciences of Tajikistan

This paper presents the main stages in the study of the distribution of fractional parts of polynomial values whose arguments lie in short intervals. The research is based on methods of analytic number theory, particularly on estimates of trigonometric sums, starting from classical results by Gauss and Weyl and extending to modern developments. It is shown that the key tool for studying the distribution of fractional parts of the values of various polynomials, whose arguments take values from short intervals, is the method of trigonometric sums, which makes it possible to obtain non-trivial estimates and to establish the uniform distribution of sequences modulo one. The paper reviews estimates of rational and irrational trigonometric sums, including contributions by Mordell, Weyl, Hua Loo-Keng, and Vinogradov. Special attention is paid to short Weyl sums and their applications to the study of polynomial values over short intervals. The results of Tajik mathematicians, especially Z.Kh. Rakhmonov, N.B. Ozodbekova, S.N. Ismatov and F.Z. Rakhmonov are discussed, focusing on bounds for short sums and their applications to uniform distribution problems. The obtained results demonstrate substantial progress in analytic number theory and its applications to distribution problems. The study confirms the central role of trigonometric sums as a powerful and versatile tool in modern number theory.

Keywords: uniform distribution, fractional parts, trigonometric sums, Weyl sums, Gauss sums, short intervals, asymptotic formula, prime numbers.

Введение (Introduction)

Одной из фундаментальных задач аналитической теории чисел является изучение закономерностей распределения дробных частей значений многочленов. Её актуальность обусловлена как фундаментальным характером, так и широкими приложениями в теории чисел, гармоническом анализе и смежных областях.

Особый интерес представляет случай, когда аргументы многочленов принимают значения из коротких интервалов, поскольку в этом случае классические методы требуют существенного уточнения. Развитие методов оценки тригонометрических сумм позволило получить значительный прогресс в данном направлении.

Материалы и методы (Materials and methods)

Под тригонометрической суммой понимают конечную сумму вида

$$S = \sum_{\Omega} e(F(x_1, x_2, \dots, x_k)), \quad (1)$$

где $F(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – действительная функция k переменных. В равенстве (1) суммирование берется по всем целочисленным точкам $(x_1, x_2, \dots, x_k)$, которые принадлежат некоторой области Ω .

Получение возможно наиболее точных верхних оценок для модуля тригонометрических сумм является одним из ключевых задач теории тригонометрических сумм. Если через T обозначим количество целочисленных точек области Ω , из-за того, что каждое слагаемое суммы (1) имеет единичный модуль, естественно следует следующая тривиальная оценка

$$|S| \leq T.$$

Данная оценка не учитывает осциллирующий характер экспоненциальных множителей и поэтому во многих случаях оказывается далекой от истинного порядка величины суммы. Основная цель метода тригонометрических сумм состоит в получении нетривиальных оценок, существенно улучшающих указанную границу и отражающих взаимную компенсацию отдельных слагаемых.

Однако для широкого класса функций $F(x_1, x_2, \dots, x_r)$ и областей Ω удаётся получить существенно более точные оценки модуля тригонометрической суммы, чем тривиальная оценка. В частности, во многих случаях имеет место неравенство

$$|S| \leq T\Delta,$$

где Δ представляет собой величину, стремящуюся к нулю при неограниченном возрастании числа T целочисленных точек области Ω , а также при соответствующем изменении параметров функции $F(x_1, x_2, \dots, x_r)$. Поскольку множитель Δ обеспечивает уменьшение верхней границы по сравнению с тривиальной оценкой, его принято называть снижающим множителем.

Получение оценок с малыми значениями Δ является одной из основных задач теории тригонометрических сумм, поскольку такие оценки позволяют выявлять эффект взаимной компенсации слагаемых и служат важным инструментом при исследовании различных проблем аналитической теории чисел.

История применения тригонометрических сумм в теории чисел восходит к работам немецкого математика Карла Фридриха Гаусса. Он при доказательстве закона взаимности квадратичных вычетов впервые применил тригонометрические суммы и тщательно исследовал их основные свойства. Суммы, которые он рассматривал, впоследствии получили название «сумм Гаусса».

Суммы, которые исследовал Гаусс, имеют вид

$$S = \sum_{x=1}^q e^{2\pi i \frac{ax^2}{q}}, \quad (a, q) = 1.$$

Гауссу удалось найти точное значение модуля этих сумм, что является одним из первых весомых результатов в теории тригонометрических сумм и оказал значительное влияние на последующее развитие аналитической теории чисел.

Дальнейшие исследования были посвящены анализу полных рациональных тригонометрических сумм следующего вида:

$$S = \sum_{x=1}^q e\left(\frac{f(x)}{q}\right), \quad (2)$$

где $f(x) = a_n x^n + \dots + a_1 x$, $n > 1$, и $(a_n, \dots, a_1, q) = 1$. Суммы Гаусса представляют собой частный случай более общего класса тригонометрических сумм вида (2), где $f(x)$ является многочленом с целыми коэффициентами. Исследование таких сумм стало важным направлением аналитической теории чисел, поскольку они тесно связаны с проблемами распределения арифметических последовательностей и сравнений. Существенный вклад в развитие данной теории внес Луис Морделл. В случае, когда модуль $q = p$ является простым числом, он получил для указанных сумм нетривиальную оценку

$$|S| < n p^{1-\frac{1}{n}}.$$

где n обозначает степень многочлена $f(x)$. Данный результат стал одним из первых общих достижений в теории тригонометрических сумм по многочленам и продемонстрировал возможность получения оценок, существенно улучшающих тривиальную границу порядка p .

Позднее Андре Вейль, следуя идеям Хельмут Хассе, улучшил эту оценку и получил наилучшую, и в общем случае не улучшаемую оценку:

$$|S| < n\sqrt{p}.$$

Полученная Германом Вейлем оценка является, по существу, неулучшаемой по порядку роста при фиксированной степени многочлена n и неограниченном возрастании простого числа p . Действительно, существует бесконечно много случаев, в которых модуль соответствующей тригонометрической суммы имеет порядок не ниже $\sqrt{p}$. Поэтому показатель степени числа p в оценке Вейля не может быть существенно уменьшен.

В дальнейшем внимание исследователей было обращено на случай составного модуля q . Первые существенные результаты в этом направлении были получены Хуа Ло-гэном. Им была доказана оценка

$$|S| \leq c(n) q^{1-\frac{1}{n}},$$

где $c(n)$ – постоянная, зависящая только от степени многочлена n . Данная оценка представляет особый интерес, поскольку при фиксированном n и неограниченном возрастании q её правая часть имеет оптимальный порядок роста. Иными словами, показатель степени числа q в этой оценке в общем случае не может быть существенно улучшен. Результат Хуа Ло-гэна стал важным этапом в развитии теории тригонометрических сумм и оказал значительное влияние на дальнейшие исследования в аналитической теории чисел.

Дальнейшее развитие теории тригонометрических сумм связано с работами Владимира Николаевича Чубарикова [1]. Он для модуля кратных рациональных тригонометрических сумм, которые являются частным случаем сумм следующего вида

$$S = S(\alpha_n, \dots, \alpha_1) = \sum_{m \leq P} e^{2\pi i f(m)}, \quad (3)$$

где $f(m) = \alpha_n m^n + \dots + \alpha_1 m$, коэффициенты $\alpha_n, \dots, \alpha_1$ – произвольные действительные числа, получил нетривиальные оценки.

Герман Вейль впервые разработал метод получения нетривиальных оценок тригонометрических сумм вида (3). В связи с этим такие тригонометрические суммы получили название суммы Вейля. Применение этого метода способствовало впервые получить нетривиальные оценки для более широкого класса тригонометрических сумм. В частности, как показано в работе [2], «... на его основе был установлен закон распределения дробных частей многочлена $f(t)$. Одним из важнейших следствий этого результата является утверждение о равномерном распределении последовательности дробных частей значений многочлена значений многочлена по модулю единицы».

Тем самым метод тригонометрических сумм стал эффективным средством исследования распределительных свойств арифметических последовательностей и заложил основу для дальнейших работ в области аналитической теории чисел и теории равномерного распределения.

Несмотря на фундаментальное значение метода Вейля, полученная им оценка обладает существенным недостатком: с увеличением степени многочлена n её точность заметно ухудшается. Поэтому для многочленов высокой степени данная оценка оказывается недостаточно эффективной. Тем не менее, результаты Вейля сыграли исключительно важную роль в становлении современной аналитической теории чисел. Именно они положили начало систематическому изучению тригонометрических сумм и открыли новые возможности для решения ряда сложных арифметических задач. Исследование задачи о распределении дробных частей значений многочлена $f(t) = \alpha_n t^n + \dots + \alpha_1 t$, $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – действительные коэффициенты, стало возможным посредством метода Вейля.

Изучением и исследованием данной тематики на протяжении многих лет занимается таджикская научная школа теории чисел, которая сформировалась на базе Института математики имени академика А. Джуроева Национальной Академии наук Таджикистана под руководством академика НАНТ Зарулло Хусеновича Рахмонова. Он и его ученики получили важнейшие результаты, касающиеся оценок тригонометрических сумм, распределения дробных частей значений различных многочленов. Эти результаты они сумели применить к различным задачам аналитической теории чисел.

Результаты (Results)

Задача о *распределении дробных частей значений многочлена, аргумент которого принимает значения из коротких интервалов*, стала одним из важных направлений исследований данной школы. Отметим, что задача распределения дробных частей значений многочлена $f(t)$ относится к тем общим задачам теории чисел, что потребовало создание и развитие метода тригонометрических сумм. Исследование этой проблемы плотно связано с понятием равномерного распределения последовательностей по модулю 1.

Г. Вейль впервые вёл в математику понятие равномерного распределения последовательностей на отрезке. Им же был сформулирован и доказан знаменитый критерий равномерного распределения, который впоследствии стал одним из фундаментальных инструментов теории равномерного распределения последовательностей. Критерий Вейля устанавливает связь между равномерностью распределения последовательности и поведением соответствующих тригонометрических сумм, что определяет важнейшую роль последних в исследовании распределительных свойств числовых последовательностей.

Таким образом, теория тригонометрических сумм и теория равномерного распределения развивались в тесной взаимосвязи, взаимно обогащая друг друга и формируя мощный аппарат для решения широкого круга задач аналитической теории чисел.

Английский математик Роберт Вон исследовал суммы Вейля следующего вида:

$$T(\alpha, x) = \sum_{m \leq x} e(\alpha m^n), \quad \alpha = \frac{a}{q} + \lambda, \quad q \leq \tau, \quad (a, q) = 1, \quad |\lambda| \leq \frac{1}{q\tau},$$

и, используя метод Ван дер Корпута, доказал следующую оценку:

$$T(\alpha, x) = \frac{S(a, q)}{q} \int_0^x e(\lambda t^n) dt + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon} (1 + x^n |\lambda|)^{\frac{1}{2}}\right),$$

где

$$S(a, q) = S_0(a, q) = \sum_{k=1}^q e\left(\frac{ak^n}{q}\right).$$

При достаточно точном приближении числа α рациональной дробью со знаменателем q , то есть при условии

$$|\lambda| \leq \frac{1}{2n q x^{n-1}},$$

им же была получена следующая асимптотическая формула:

$$T(\alpha, x) = x \frac{S(\alpha, q)}{q} \int_0^1 e(\lambda t^n) dt + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right).$$

Соответственно в работах [3 – 6], для случаев $n = 2, 3, 4, 5$, были исследованы короткие тригонометрические суммы Вейля следующего вида

$$T(\alpha, x, y) = \sum_{x-y < m \leq x} e(\alpha m^n), \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{a}{q} + \lambda$, $(a, q) = 1$, $q \leq \tau$, $|\lambda| \leq \frac{1}{q\tau}$.

В 2011–2012 годах академик Зарулло Хусенович Рахмонов совместно со своей ученицей Н.Б. Озодбековой в работах [7], [2], [8] исследовали короткие тригонометрические суммы Вейля вида (4) и получили ряд новых оценок для этих сумм.

Основные результаты, полученные Н.Б. Озодбековой, состоят в следующем:

Если величина $n\lambda x^{n-1}$ близка к целому числу, тогда

а) получены новые оценки коротких тригонометрических сумм вида (4);

б) установлена зависимость оценки суммы (4) от величины $\lambda = \alpha - \frac{a}{q}$, которая характеризует расстояние между числом α и рациональным приближением $\frac{a}{q}$.

В частности, она доказала следующую теорему, в которой для сумм Вейля, то есть сумм вида (4), при взятии переменной суммирования из короткого интервала и условия

$$\tau \geq 2n(n-1)x^{n-2}y,$$

получены следующие оценки:

- если

$$n\lambda x^{n-1} \leq \frac{1}{2q},$$

то

$$T(\alpha, x, y) = \frac{S(\alpha, q)}{q} T(\lambda; x, y) + O\left(q^{\frac{1}{2}+\varepsilon}\right);$$

- если

$$n\lambda x^{n-1} > \frac{1}{2q},$$

то

$$T(\alpha, x, y) \ll q^{1-\frac{1}{n}} \ln q + \min_{2 \leq k \leq n} \left(y q^{-\frac{1}{n}}, x^{1-\frac{1}{k}} q^{\frac{1}{k}-\frac{1}{n}} \right).$$

Последнее соотношение выражает прямую зависимость оценки $T(\alpha, x, y)$ от величины λ .

Эти оценки были доказаны с использованием метода оценок тригонометрических сумм Ван дер Корпута в сочетании с современными оценками рациональных тригонометрических сумм Хуа Ло-кэна и представляют собой обобщение результатов Роберта Вона о поведении тригонометрических сумм Вейля в случае коротких сумм.

Полученные оценки были использованы для доказательства следующего результата [2]: «Пусть α – иррациональное число, и $0 \leq \sigma \leq 1$, а через $F_\alpha(x, y, \sigma)$ обозначено количество членов последовательности $\{\alpha m^2\}$, удовлетворяющих условиям $x - y < m \leq x$, $\{\alpha m^2\} < \sigma$. Тогда имеет место асимптотическая формула

$$F_\alpha(x, y, \sigma) = \sigma y + O\left(y^{\frac{1}{2}+\varepsilon} \ln^2 x\right).$$

Отсюда следует, что для величины $D(x, y)$, т.е. для отклонения распределения членов последовательности $\{\alpha m^2\}$ на промежутке $x - y < m \leq x$ выполняется неравенство

$$D(x, y) \ll y^{-\frac{1}{2}+\varepsilon} \ln^2 x.$$

Из последней оценки получен следующий критерий равномерной распределенности по модулю 1 для последовательности $\{\alpha m^2\}$, где $x - y < m \leq x$: пусть α – иррациональное число, тогда

последовательности $\{\alpha m^2\}$, таких что $x - y < t \leq x$, при $y \geq (\ln x)^5$, $y \rightarrow \infty$ является равномерно распределенной по модулю единицей».

В период 2011 по 2015 годам З.Х. Рахмонов вместе со своим учеником С.Н. Исматовым изучил и исследовал задачи о *распределении дробных частей линейного многочлена, аргумент которого принимает простые значения из коротких интервалов*. В 1934 году И.М. Виноградов в работе [9] нашел новый метод, который не только значительно совершенствовал решения задач, ранее рассматриваемые другими подходами, но и предоставил новые возможности для решения многих задач и проблем теории чисел. Основная идея метода Виноградова состоит в нахождении нетривиальных оценок для двойных тригонометрических сумм следующего вида

$$W = \sum_{m \leq X} \sum_{n \leq Y} a(m) b(n) e(\alpha m n),$$

где $a(m), b(n)$ – произвольные комплекснозначные функции, а параметр α представим в форме

$$\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}, \quad (a, q) = 1, \quad |\theta| \leq 1.$$

Представление числа α в указанном виде позволяет эффективно использовать арифметические свойства рационального приближения $\frac{a}{q}$ и получать оценки сумм, существенно превосходящие тривиальные. Именно такие оценки лежат в основе метода тригонометрических сумм Виноградова и находят многочисленные применения в аналитической теории чисел, в частности, при исследовании распределения простых чисел и дробных частей значений арифметических функций.

Такая форма числа α позволяет применять методы математического анализа для получения точных верхних оценок величины W , что является ключевым преимуществом этого метода.

Другим важным достижением, полученным с применением нового метода, являются совершенно новые оценки сумм Вейля [10 – 11]. Основа этих новых оценок была представлена так называемой «теоремой о среднем значении» И.М. Виноградова.

В 1935 году И.М. Виноградов получил оценки сумм Вейля, опираясь на теорему о среднем значении тригонометрических сумм вида:

$$S = S(\alpha_n, \dots, \alpha_1) = \sum_{x=1}^P e(f(x)),$$

где $f(x) = \alpha_n x^n + \dots + \alpha_1 x$, а $(\alpha_n, \dots, \alpha_1)$ – произвольные действительные коэффициенты.

Содержание теоремы о среднем значении сводится к получению верхней оценки величины среднего значения модуля тригонометрической суммы S , возведенного в степени $2b$, т.е. величины следующего вида

$$J = J_b = J_b(P) = \int_0^1 \dots \int_0^1 |S(\alpha_n, \dots, \alpha_1)|^{2b} d(\alpha_n, \dots, \alpha_1).$$

В 1937 году И.М. Виноградов показал, что многие тригонометрические суммы по простым числам могут быть представлены через линейные комбинации сравнительно небольшого числа других сумм, для которых удаётся получить более точные оценки с помощью метода двойных сумм W и ряда вспомогательных аналитических средств, не связанных непосредственно с теорией дзета-функции Римана и L – рядами Дирихле. Одной из таких сумм является

$$S' = \sum_{p \leq P} e(f(p)),$$

где $f(x) = \alpha_n x^n + \alpha_{n-1} x^{n-1} + \dots + \alpha x$. Данная сумма представляет собой аналог классической суммы Вейля S , однако суммирование в ней производится только по простым числам, не превосходящим P .

Первоначально И.М. Виноградовым была получена нетривиальная оценка для суммы

$$\sum_{p \leq P} e(\alpha p),$$

которая соответствует частному случаю суммы S' при $n = 1$ и $f(x) = \alpha x$. Сочетание этой оценки с результатами о распределении простых чисел в арифметических прогрессиях позволило впервые вывести асимптотическую формулу для числа $I(N)$ представлений нечётного числа N в виде суммы трёх простых чисел:

$$N = p_1 + p_2 + p_3.$$

В качестве непосредственного следствия было доказано, что всякое достаточно большое нечётное число допускает такое представление. Тем самым был решён тернарный случай знаменитой гипотезы Гольдбаха, являющийся одним из наиболее значительных достижений аналитической теории чисел XX века.

Позднее, в том же 1937 году, И.М. Виноградов, опираясь на изложенные выше идеи и эффективно используя метод Г. Вейля, получил оценки тригонометрической суммы

$$S' = \sum_{p \leq P} e(f(p))$$

для случая $n > 1$. Полученные оценки по своему характеру оказались близкими к оценкам соответствующей суммы S , установленным ранее методом Вейля.

В дальнейшем, в период 1948–1956 годов, Виноградов существенно развил этот подход. Используя те же основные идеи, но заменив метод Вейля собственным методом тригонометрических сумм, он доказал общую теорему об оценках суммы S' по простым числам, которая по своей силе и содержанию является аналогом общей теоремы Виноградова для суммы S .

В основе метода Виноградова для исследования тригонометрических сумм по простым числам лежат несколько ключевых инструментов: метод разложения двойных сумм, теорема о среднем значении, а также разработанное им решето Виноградова. Совокупность этих методов позволила получить глубокие результаты в задачах аналитической теории чисел, связанных с распределением простых чисел и дробных частей значений многочленов.

Оценки суммы S' находят непосредственное применение при изучении распределения дробных частей значений многочлена $f(p)$, где p пробегает последовательность простых чисел, не превосходящих заданного числа P .

Особое внимание Виноградов уделил задаче о распределении дробных частей последовательности $\{\alpha p\}$. В этом случае ему удалось получить существенно более точные оценки тригонометрических сумм, чем в общей задаче о распределении дробных частей значений многочлена $\alpha_n p^n + \dots + \alpha_1 p$.

В частности, была доказана следующая теорема. Пусть K – целое число, удовлетворяющее условию $K \leq N$, а действительное число α представлено в виде

$$\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}, \quad (a, q) = 1, \quad 1 \leq q \leq N,$$

где $|\theta| \leq 1$. Тогда для величины

$$V_K(N) = \sum_{k=1}^K \left| \sum_{p \leq N} e(\alpha k p) \right|$$

справедлива оценка

$$V_K(N) \ll K N^{1+\varepsilon} \left(\sqrt{\frac{1}{q} + \frac{q}{N}} + N^{-0,2} \right). \quad (5)$$

Отсюда следует: для любого σ , $0 < \sigma \leq 1$, пусть $F_\alpha(N, \sigma)$ – количество членов $\{\alpha p\}$, $p \leq N$, удовлетворяющих условию $\{\alpha p\} < \sigma$. Тогда

$$F_\alpha(N, \sigma) = \sigma \pi(N) + R_\sigma(N), \quad R_\sigma(N) \ll \sqrt{\frac{1}{q} + \frac{q}{N}} + N^{-0,2}.$$

Основу доказательства оценки (5) составляют решето Виноградова и нетривиальные оценки тригонометрических сумм специального вида:

$$W(x) = \sum_{k \leq K} \left| \sum_{F_1 < m \leq F_2} a(m) \sum_{\substack{G_1 < n \leq G_2 \\ mn \leq x}} b(n) e(\alpha kmn) \right|,$$

где $\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}$, $(a, q) = 1$, а функции $a(m)$ и $b(n)$ принимают комплексные значения. Параметры K , F и G являются натуральными числами, причём $F \leq F_1 < F_2 \leq 2F$, $G \leq G_1 < G_2 \leq 2G$.

Исследуя распределение дробных частей последовательности $\{\alpha p\}$ и связанные с ним оценки тригонометрических сумм $V_K(N)$, И.М. Виноградов, как и при решении ряда других задач аналитической теории чисел, широко использовал разработанный им метод, основанный на знаменитой лемме «о стаканчиках». Этот метод оказался весьма эффективным инструментом для получения нетривиальных оценок тригонометрических сумм и исследования закономерностей распределения арифметических последовательностей.

В ходе дальнейших исследований С.Н. Исмамов получил нетривиальные оценки для суммы модулей кратких двойных тригонометрических сумм вида

$$W(x, y) = \sum_{k \leq K} \left| \sum_{F_1 < m \leq F_2} a(m) \sum_{\substack{G_1 < n \leq G_2 \\ x-y < mn \leq x}} b(n) e(\alpha kmn) \right|,$$

которая возникает из суммы $W(x)$ при замене условия $mn \leq x$ на более узкое условие $x - y < mn \leq x$, где $\sqrt{x} < y \leq x \mathcal{L}^{-1}$ и $\mathcal{L} = \ln xq$.

Исследуемая сумма $W(x, y)$ включает как «длинную» полную сумму, так и совокупность двойных сумм, которые по своему порядку близки к полной сумме и требуют применения специальных методов оценивания.

Полученные оценки были использованы для изучения сумм модулей кратких тригонометрических сумм по простым числам $V_K(N, H)$, которые выводятся из сумм $V_K(N)$ заменой условия $p \leq N$ на условие $N - H < p \leq N$.

Применяя метод оценок тригонометрических сумм по простым числам, разработанный И.М. Виноградовым, С.Н. Исмамов получил ряд новых нетривиальных оценок для величины $V_K(N, H)$. Эти результаты позволили существенно продвинуться в исследовании распределения дробных частей значений линейных многочленов на последовательностях простых чисел, принадлежащих коротким интервалам, и послужили основой для доказательства новых теорем о равномерном распределении соответствующих последовательностей.

Теорема 1. [12]. Пусть K, H, N и q – натуральные числа, $K \leq H$, A – положительная постоянная, $\mathcal{L} = \ln Nq$, α – действительное число, и

$$\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}, \quad (a, q) = 1, \quad \mathcal{L}^{AA+20} \leq q \leq \frac{KH^2}{N} \mathcal{L}^{-4A-20}.$$

Тогда при $H \gg N^{\frac{2}{3}} \mathcal{L}^{AA+16}$ выполняется оценка:

$$V_K(N, H) = \sum_{k=1}^K \left| \sum_{N-H < p \leq N} e(\alpha kp) \right| \ll \frac{KH}{\mathcal{L}^{A+1}}.$$

В работе [13] предложен критерий Г. Вейля, касающийся равномерного распределения дробных частей $\{\alpha p\}$, аргумент которых пробегает простые числа из коротких интервалов.

С.Н. Исмамов получил теорему, устанавливающую связь между распределением дробных частей $\{\alpha p\}$, где p – простые числа из короткого интервала $(x - y, x]$, и оценками кратких тригонометрических сумм, содержащих простые числа $V_K(x, y)$.

Теорема 2. [14]. Пусть $y \geq x^{0,534}$, $\mathcal{L} = \ln x$, $A > 1$ – положительная постоянная, $M \geq \mathcal{L}^A$, и $M_1 = M \ln \mathcal{L}^A$. Тогда для $F_\alpha(x, y, \sigma)$ – количества членов последовательности $\{\alpha p\}$, где $x - y < p \leq x$ и $\{\alpha p\} < \sigma$, выполняется асимптотическая формула:

$$F_\alpha(x, y, \sigma) - \sigma(\pi(x) - \pi(x - y)) \ll \frac{y \ln M}{\mathcal{L}^{A+1}} + \max_{K \leq M_1} \left(\frac{V_K(x, y)}{K} \mathcal{L} \right),$$

где $\pi(x)$ обозначает функцию распределения простых чисел, то есть число простых чисел, не превосходящих x .

Из теорем 1 и 2, а также из закона распределения простых чисел в коротких интервалах для функции $F_\alpha(x, y, \sigma)$ выводится следующая асимптотическая формула:

$$F_\alpha(x, y, \sigma) = \frac{\sigma y}{\mathcal{L}} + O\left(\frac{y}{\mathcal{L}^2}\right),$$

справедливая при условии $y \gg x^{\frac{2}{3}} \mathcal{L}^{4A+16}$. Отсюда следует, что последовательность $\{\alpha p\}$, где простое число p удовлетворяет неравенству $x - y < p \leq x$, при $y \gg x^{\frac{2}{3}} (\ln x)^{4A+16}$ и $y \rightarrow \infty$ является равномерно распределённой по модулю 1.

Теорема 1, устанавливающая нетривиальную оценку кратких линейных тригонометрических сумм с простыми числами $V_K(N, H)$ при $H \gg N^{\frac{2}{3}}$, в сочетании с теоремой 2 послужила основой для доказательства следующего результата о распределении дробных частей $\{\alpha p\}$, где p пробегает простые числа из короткого интервала $(x - y, x]$. Полученная теорема распространяет закон распределения на ещё более короткие интервалы и охватывает как все иррациональные значения α , так и рациональные значения α с достаточно большими знаменателями [15].

Теорема 3. Пусть x , y и q — натуральные числа, $A \geq 3$ — фиксированная положительная постоянная, $\mathcal{L} = \ln xq$, α — действительное число, представимое в виде

$$\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}, \quad (a, q) = 1,$$

причём

$$\mathcal{L}^{4A+20} \leq q \leq \frac{y^2}{x} \mathcal{L}^{-4A-20}.$$

Тогда для функции $F_\alpha(x, y, \sigma)$, обозначающей число членов последовательности $\{\alpha p\}$, удовлетворяющих условиям $x - y < p \leq x$ и $\{\alpha p\} < \sigma$, при $y \gg x^{\frac{2}{3}} \mathcal{L}^{4A+16}$ имеет место асимптотическая формула

$$F_\alpha(x, y, \sigma) = \sigma(\pi(x) - \pi(x - y)) + O\left(\frac{y}{\mathcal{L}^A}\right).$$

Данный результат существенно расширяет область применения закона равномерного распределения дробных частей $\{\alpha p\}$ для простых чисел из коротких интервалов, распространяя его не только на все иррациональные значения параметра α , но и на широкий класс рациональных чисел с достаточно большими знаменателями.

Полученные С.Н. Исмамовым результаты основаны на строгом математическом аппарате современной аналитической теории чисел. При их доказательстве были эффективно использованы:

- метод И.М. Виноградова для получения нетривиальных оценок тригонометрических сумм с простыми числами;
- метод Г. Вейля для исследования распределения дробных частей и оценки тригонометрических сумм;
- методы гармонического анализа, позволяющие устанавливать тонкие свойства распределения арифметических последовательностей.

Распределение дробных частей значений квадратичного многочлена, аргумент которого принимает простые значения из коротких интервалов. В работе [16] Фируз Заруллоевич Рахмонов

исследует более сложную задачу, связанную с распределением дробных частей значений квадратичного многочлена $\{\alpha p^2\}$, где p пробегает простые числа, принадлежащие короткому интервалу.

Основной результат Ф.З. Рахмонова заключается в получении асимптотической формулы для количества членов последовательности $\{\alpha p^2\}$, удовлетворяющих заданным условиям, при существенно более слабых ограничениях на длину интервала, чем это было известно ранее. В частности, для функции $F_\alpha(x, y, \sigma)$, обозначающей число простых чисел p , для которых выполняются неравенства $x - y < p \leq x$ и $\{\alpha p^2\} < \sigma$, удалось установить асимптотическое поведение уже в случае, когда длина интервала имеет лишь логарифмический порядок: $y \gg (\ln x)^{8A+4}$, где A – абсолютная положительная постоянная. Предполагая, что число α представимо в виде $\alpha = \frac{a}{q} + \frac{\theta}{q^2}$, $(a, q) = 1$, и знаменатель рационального приближения удовлетворяет условиям

$$(\ln x)^{8A+3} \ll q \ll Ky^2 (\ln x)^{-8A-4},$$

автор доказал асимптотическую формулу

$$F_\alpha(x, y, \sigma) = \sigma(\pi(x) - \pi(x - y)) + O\left(\frac{y}{(\ln x)^A}\right).$$

Этот результат означает, что если p принимает простые числа из короткого интервала $(x - y, x]$, то $\{\alpha p^2\}$ – последовательность дробных частей равномерно распределено по модулю единицы.

Обсуждение (Discussions)

История исследования распределения дробных частей значений многочленов на множестве простых чисел отражает последовательное развитие идей и методов аналитической теории чисел. Это проблема берет свое начало в работах И.М. Виноградова, основавший основы применения метода тригонометрических сумм к исследованию простых чисел. Результаты, полученные представителями таджикской школы теории чисел З.Х. Рахмоновым, Н.Б. Озодбековой, С.Н. Исмамовым и Ф.З. Рахмоновым существенно расширили область применения существующих методов аналитической теории чисел, позволив установить новые закономерности распределения дробных частей значений многочленов, аргументы которых принимают простые числа из коротких интервалов.

Заключение (Conclusions)

В статье рассмотрены основные этапы развития теории тригонометрических сумм и их роль в решении задач аналитической теории чисел. Показано, что тригонометрические суммы, начиная с исследований К.Ф. Гаусса, стали одним из важнейших инструментов современной теории чисел. Особое внимание уделено методам и результатам Л. Морделла, А. Вейля, Хуа Ло-кэна, В.Н. Чубарикова, и прежде всего, И.М. Виноградова, внесших существенных вклад в получение нетривиальных оценок тригонометрических сумм.

В статье также рассмотрены результаты исследований современных таджикских ученых – З.Х. Рахмонова, Н.Б. Озодбековой, С.Н. Исмамова и Ф.З. Рахмонова, посвященных коротким тригонометрическим суммам с простыми числами. Полученные ими нетривиальные оценки позволили свести задачи о равномерном распределении дробных частей линейных многочленов, аргументы которых являются простые числа из коротких интервалов, к задачам оценки абсолютных значений коротких тригонометрических сумм. На этой основе установлены условия равномерного распределения и получены соответствующие асимптотические формулы для более коротких интервалов.

Проведенный анализ показывает, что таджикские исследователи вносят вклад в развитие мировой науки и в ряде случаев получают результаты, превосходящие известные достижения.

Рецензент: Хайруллохзода Ш.А. – д.ф.-м.н., профессор кафедры алгебры и теории чисел ТДТУ

Литература

1. Чубариков, В.Н. О кратных рациональных тригонометрических суммах и кратных интегралах / В.Н. Чубариков // Математические заметки. – 1976. – Т. 20. – Вып. 1. – С. 61-68.
2. Озодбекова, Н.Б. Распределение дробных частей квадратичного многочлена, аргумент которого принимает значения из коротких интервалов / Н.Б. Озодбекова // Доклады АН РТ. – 2012. – Т. 55. – № 1. – С. 3-10.
3. Рахмонов, З.Х. Короткие квадратичные тригонометрические суммы Вейля / З.Х. Рахмонов, Дж.А. Шокамолова // Известия АН РТ, отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2009. – Т. 135. – № 2(135). – С. 7-18.

4. Рахмонов, З.Х. Оценка коротких тригонометрических сумм Г. Вейля четвертой степени / З.Х. Рахмонов, К.И. Мирзоабдугафуров, А.З. Азамов // ДАН РТ. – 2010. – Т. 53. – № 10. – С. 737-744.
5. Рахмонов, З.Х. Короткая кубическая тригонометрическая сумма Г.Вейля / З.Х. Рахмонов, Д.М. Фозилова // Доклады АН РТ. – 2011. – Т. 54. – № 11. – С. 880-886.
6. Рахмонов, З.Х. Проблема Варинга для пятых степеней с почти равными слагаемыми / З.Х. Рахмонов, Н.Н. Назрублов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2014. – Т. 57. – № 11-12. – С. 823-830.
7. Рахмонов, З.Х. Оценка коротких тригонометрических сумм Г.Вейля / З.Х. Рахмонов, Н.Б. Озодбекова // Доклады АН РТ. – 2011. – Т. 54. – №4. – С. 257-264.
8. Рахмонов, З.Х. Короткие тригонометрические суммы Г.Вейля / З.Х. Рахмонов, Н.Б. Озодбекова // Материалы международной конференции «Комплексный анализ и его приложения в дифференциальных уравнениях и теории чисел», Белгород, 17-21 октября 2011 г. – С. 90-93.
9. Виноградов, И.М. Избранные труды / И.М. Виноградов. – М.: Издательство АН СССР. – 1952. – 436 с.
10. Виноградов, И.М. Новый метод в аналитической теории чисел / И.М. Виноградов // Труды Математического института им. В.А. Стеклова. – 1937. – Т. 10. – С. 5-122.
11. Виноградов, И.М. Метод тригонометрических сумм в теории чисел / И.М. Виноградов, А.А. Карацуба // Труды Математического института им. В.А. Стеклова. – 1984. – Т. 168. – С. 4-30.
12. Рахмонов, З.Х. Оценка сумм коротких тригонометрических сумм с простыми числами / З.Х. Рахмонов, Ф.З. Рахмонов, С.Н. Исмаев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2013. – Т. 56. – № 12. – С. 937-945.
13. Исмаев, С.Н. Распределение дробных частей линейного многочлена, аргумент которого принимает простые числа из коротких интервалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / С.Н. Исмаев. – Душанбе. – 2015. – 70 с.
14. Исмаев, С.Н. О распределении дробных частей $\{\alpha p\}$, аргумент которого пробегает простые числа из короткого интервала / С.Н. Исмаев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2014. – Т. 57. – № 1. – С. 9-14.
15. Исмаев, С.Н. Распределение дробных частей $\{\alpha p\}$, аргумент которого пробегает простые числа из короткого интервала / С.Н. Исмаев // Вестник Таджикского Национального Университета, серия естественных наук. – 2015. – № 1/2. – С. 25-28.
16. Рахмонов, Ф.З. Распределение дробных частей значений квадратичного многочлена, аргумент которого принимает значения простых чисел из коротких интервалов / Ф.З. Рахмонов // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. – 2025. – Т. 1. – № 1(45). – С. 43-49.

Reference

1. Chubarikov, V.N. On multiple rational trigonometric sums and multiple integrals / V.N. Chubarikov // Mathematical notes. – 1976. – Vol. 20. – No. 1. – P. 61-68.
2. Ozodbekova, N.B. Distribution of fractional parts of a quadratic polynomial whose argument takes values from short intervals / N.B. Ozodbekova // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2012. – Vol. 55. – No. 1. – P. 3-10.
3. Rakhmonov, Z.Kh. Short quadratic Weyl trigonometric sums / Z.Kh. Rakhmonov, Dzh.A. Shokamolova // Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Department of Physical, Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences. – 2009. – Vol. 135. – No. 2(135). – P. 7-18.
4. Rakhmonov, Z.Kh. Estimate of short fourth-degree Weyl trigonometric sums / Z.Kh. Rakhmonov, K.I. Mirzoabdugafurov, A.Z. Azamov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2010. – Vol. 53. – No. 10. – P. 737-744.
5. Rakhmonov, Z.Kh. Short cubic Weyl trigonometric sum / Z.Kh. Rakhmonov, D.M. Fozilova // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2011. – Vol. 54. – No. 11. – P. 880-886.
6. Rakhmonov, Z.Kh. Waring's problem for fifth powers with nearly equal summands / Z.Kh. Rakhmonov, N.N. Nazrubloev // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2014. – Vol. 57. – No. 11-12. – P. 823-830.
7. Rakhmonov, Z.Kh. Estimate of short Weyl trigonometric sums / Z.Kh. Rakhmonov, N.B. Ozodbekova // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2011. – Vol. 54. – No. 4. – P. 257-264.
8. Rakhmonov, Z.Kh. Short Weyl trigonometric sums / Z.Kh. Rakhmonov, N.B. Ozodbekova // Proceedings of the International Conference “Complex Analysis and Its Applications in Differential Equations and Number Theory”, Belgorod, October 17–21, 2011. – P. 90-93.
9. Vinogradov, I.M. Selected works / I.M. Vinogradov. – Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. – 1952. – 436 p.
10. Vinogradov, I.M. A new method in analytic number theory / I.M. Vinogradov // Proceedings of the Steklov Mathematical Institute. – 1937. – Vol. 10. – P. 5-122.
11. Vinogradov, I.M. The method of trigonometric sums in number theory / I.M. Vinogradov, A.A. Karatsuba // Proceedings of the Steklov Mathematical Institute. – 1984. – Vol. 168. – P. 4-30.
12. Rakhmonov, Z.Kh. Estimate of sums of short trigonometric sums over primes / Z.Kh. Rakhmonov, F.Z. Rakhmonov, S.N. Ismatov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2013. – Vol. 56. – No. 12. – P. 937-945.
13. Ismatov, S.N. Distribution of fractional parts of a linear polynomial whose argument takes prime values from short intervals: Dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences / S.N. Ismatov. – Dushanbe. – 2015. – 70 p.

14. Ismatov, S.N. On the distribution of fractional parts of $\{\alpha p\}$, whose argument runs through prime numbers from a short interval / S.N. Ismatov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2014. – Vol. 57. – No. 1. – P. 9-14.
15. Ismatov, S.N. Distribution of fractional parts of $\{\alpha p\}$, whose argument runs through prime numbers from a short interval / S.N. Ismatov // Bulletin of the Tajik National University, Natural Sciences Series. – 2015. – No. 1/2. – P. 25-28.
16. Rakhmonov, F.Z. Distribution of fractional parts of values of a quadratic polynomial whose argument takes prime values from short intervals / F.Z. Rakhmonov // Bulletin of the Dushanbe Branch of Lomonosov Moscow State University. – 2025. – Vol. 1. – No. 1(45). – P. 43-49.

Сведения об авторах:

Неъматзода Сайфулло Неъмат, кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института математики имени академика А. Джураева НАН Таджикистана. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3816-0731>. E-mail: saifullo@mail.ru

Назрублов Насрулло Нурубловевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом алгебры, теории чисел и топологии Института математики имени академика А. Джураева НАН Таджикистана. Email: nasrullo_86@bk.ru

Маълумот оид ба муаллифон:

Неъматзода Сайфулло Неъмат, номзади илмҳои физикаю математика, дотсент, ходими калони илмӣ Институту математикаи ба номи академик А. Ҷӯраевӣ Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3816-0731>. E-mail: saifullo@mail.ru

Назрублов Насрулло Нурубловевич, номзади илмҳои физикаю математика, дотсент, мудири шуъбаи алгебра, назарияи ададҳо ва топологияи Институту математикаи ба номи академик А. Ҷӯраевӣ Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Email: nasrullo_86@bk.ru

Information about the authors:

Nematzoda Saifullo Nemat, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior researcher Institute of mathematics named after Academician A. Juraev of the National Academy of sciences of Tajikistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3816-0731>. E-mail: saifullo@mail.ru

Nazrubloev Nasrullo Nurublovovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the department of algebra, number theory and topology Institute of mathematics named after Academician A. Juraev of the National Academy of sciences of Tajikistan. E-mail: nasrullo_86@bk.ru

АҲАММИЯТИ ЗЕҲНИ СУНӢ ДАР РУШДИ СОҲАИ САӢӢӢ: ТАҲАВВУЛОТИ ТАӢРИӢИ, ВАЗӢИ МУОСИР ВА ДУРНАМОИ РУШД

М.С. Шарипова

Академияи идоракунии давлатии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола аҳамият ва нақши зеҳни сунӣ дар соҳаи сайёҳӣ мавриди таҳлил ва баррасӣ қарор дода шуда, таҳаввулотии истифодаи технологияҳои рақамӣ, вазъи муосир ва дурнамои татбиқи онҳо дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд. Мақсади таҳқиқот муайян намудани самтҳои асосии истифодаи зеҳни сунӣ дар хизматрасониҳои сайёҳӣ ва арзёбии имкониятҳои он барои баланд бардоштани самаранокӣ, сифати хизматрасонӣ ва рақобатпазирии соҳаи сайёҳӣ дар робита бо модели “туризми хушманд” мебошад. Дар раванди таҳқиқот самтҳои асосии истифодаи зеҳни сунӣ, аз ҷумла автоматикунории хизматрасонӣ, коркарди маълумоти сайёҳон, фардисозии пешниҳодҳои туристӣ, истифодаи чат-ботҳо, ChatGPT, Claude ва Gemini ва ёварони рақамӣ, ки метавонанд мувофиқ ба хоҳиши сайёҳон самаранокии захираҳои сайёҳии кишварро муайян кунанд, мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Инчунин таъсири технологияҳои зеҳни сунӣ ба таҷрибаи сайёҳон, рушди инфрасохтори рақамӣ ва ташаккули шаклҳои нави хизматрасонии сайёҳӣ муайян карда шудааст. Дар мақола имкониятҳо ва мушкилоти татбиқи зеҳни сунӣ дар шароити Тоҷикистон, аз ҷумла зарурати рушди инфрасохтори рақамӣ, омодагории кадрҳои соҳибтаҳасуси соҳаи технологияҳои иттилоотӣ ва сайёҳӣ мавриди таваҷҷӯҳ қарор гирифтаанд. Натиҷаҳои таҳқиқот аҳамияти зеҳни сунӣро ҳамчун воситаи муҳими рушди устувор ва рақамикунории соҳаи сайёҳӣ нишон медиҳад.

Калидвожаҳо: Smart Tourism, рақамикунонӣ, технологияҳои рақамӣ, зеҳни сунӣ, ChatGPT, сайёҳӣ, хизматрасонии сайёҳӣ.

ЗНАЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗВИТИИ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М.С. Шарипова

Академия государственного управления при Президенте Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В статье проанализированы значение и роль искусственного интеллекта в сфере туризма, а также изучены тенденции использования цифровых технологий, современное состояние и перспективы их внедрения в Республике Таджикистан. Цель исследования заключается в определении основных направлений применения искусственного интеллекта в туристских услугах и оценке его возможностей для повышения эффективности, качества обслуживания и конкурентоспособности туристской отрасли в контексте модели «умного туризма». В процессе исследования проанализированы основные направления использования искусственного интеллекта, включая автоматизацию обслуживания, обработку данных о туристах, персонализацию туристских предложений, использование чат-ботов, ChatGPT, Claude и Gemini, а также цифровых помощников, которые могут определять эффективность использования туристских ресурсов стран в соответствии с предпочтениями туристов. Также определено влияние технологий искусственного интеллекта на туристский опыт, развитие цифровой инфраструктуры и формирование новых форм туристского обслуживания. В статье рассмотрены возможности и проблемы внедрения искусственного интеллекта в условиях Таджикистана, включая необходимость развития цифровой инфраструктуры и подготовки квалифицированных кадров в сфере информационных технологий и туризма. Результаты исследования показывают значимость искусственного интеллекта как важного инструмента устойчивого развития и цифровизации туристской отрасли.

Ключевые слова: Smart Tourism, цифровизация, цифровые технологии, искусственный интеллект, ChatGPT, туризм, туристское обслуживание.

THE IMPORTANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE TOURISM INDUSTRY: HISTORICAL EVOLUTION, CURRENT STATE, AND DEVELOPMENT PROSPECTS

M.S. Sharipova

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Tajikistan

The article analyzes the significance and role of artificial intelligence in the tourism sector and examines the development of digital technology adoption, the current state, and the prospects for its implementation in the Republic of Tajikistan. The purpose of the study is to identify the main areas of artificial intelligence application in tourism services and assess its potential to improve the efficiency, quality of service, and competitiveness of the tourism sector in the context of the “smart tourism” model. The study analyzes the main areas of artificial intelligence application, including service automation, tourist data processing, personalization of tourism offers, and the use of chatbots, ChatGPT, Claude, Gemini, and digital assistants that can determine the effective use of countries’ tourism resources according to tourists’ preferences. The study also identifies the impact of artificial intelligence technologies on tourists’ experiences, the development of digital infrastructure, and the formation of new forms of tourism services. The article examines the opportunities and challenges of implementing artificial intelligence in the context of Tajikistan, including the need to develop digital infrastructure and train qualified specialists in the fields of information technology and tourism. The research findings demonstrate the importance of artificial intelligence as an important tool for sustainable development and the digitalization of the tourism sector.

Keywords: Smart Tourism, digitalization, digital technologies, artificial intelligence, ChatGPT, tourism, tourism services.

Муқаддима (Introduction)

Рушди босуръати технологияҳои рақамӣ дар даҳсолаи охир сохтори иқтисоди ҷаҳонӣ ва муносибати истеҳсолкунандагону истеъмолкунандагонро ба таври назаррас тағйир додааст. Дар ин раванд зеҳни сунъӣ (AI) ба яке аз технологияҳои калидии тағйирдиҳандаи иқтисодӣ табдил ёфта, барои соҳаи сайёҳӣ аҳамияти махсус пайдо кардааст. Сайёҳӣ аз ҷумлаи соҳаҳои маълумот, муошират, пешгӯии талабот, тавсиядиҳӣ, қабули қарор ва пешниҳоди таҷрибаи инфиродӣ саҳт вобаста мебошад. Аз ин рӯ, қобилияти зеҳни сунъӣ, ки қудрати коркарди маълумоти калон, омӯзиши намунаҳои рафторӣ, пешгӯӣ, автоматизатсия ва тавлиди мундариҷаро дорад дар тағйироти сохтории хизматрасониҳои муосири сайёҳӣ аҳамияти хос пайдо намуда истодааст.

Ҳадафи таҳқиқоти мо таҳлили раванди рушди зеҳни сунъӣ, муайян намудани аҳамияти он барои рушди сайёҳӣ нигаронида шудааст. Дар кори таҳқиқотии худ ба мақола ва диссертатсияҳои илмӣ пажӯҳишҳои алоҳидаи муассиса, корхона ва созмонҳои дахлдори байналмилалӣ оид ба AI ва сайёҳӣ таъҷил намудам. Натиҷаҳои омӯзиш ва таҳқиқи мо бо таъҷил ба адабиёт ва сарчашмаҳои расмӣ нишон медиҳад, ки рушди зеҳни сунъӣ дар се марҳила ҷарраён гирифтааст: автоматизатсияи вазифаҳо, қобилияти азхудкунӣ, таҳлили масъалаҳо ва тавони иҷро намудани ҷанд вазифа дар як вақти муайян.

Дар марҳилаи аввал зеҳни сунъӣ асосан барои гирифтани маълумот дар ҷаҳорҷӯбаи маҳдуде истифода мешуд; дар марҳилаи дуюм он барои системаҳои тавсиядиҳанда, пешгӯии талабот, таҳлили рафтори сайёҳон ва қабули қарор истифода гардид; дар марҳилаи сеюм, ки бо рушди моделҳои гуногун пайванд гардид он аз як воситаи мушират ба ёвари воқеии одамон дар интиҳоби мавзӯ, мавсими мувофиқ барои сайру саёҳат, макони истироҳату фароғат вобаста ба талабот, табдил ёфта истодааст.

Таҳлилҳои нишон медиҳанд, ки аҳамияти стратегияи зеҳни сунъӣ барои соҳаи сайёҳӣ танҳо дар хоҳиши хароҷот ё иваз намудани меҳнати инсонӣ набуда, арзиши асосии таъсирпазирии он дар қобилияти коркарди маълумот, пешниҳоди ҳар гуна иттилооти ғайривоқеӣ чун маълумотномаи асл, ҳамзамон риоя нагардидани маълумотҳои хусусияти сиррӣ махфӣ дошта, нодурустии натиҷаҳои генеративӣ, вобастагии технологӣ ва омезиши фарҳанг ва ҷашну маросими миллии давлатҳои алоҳида ва аз ҳамма ҷиддӣ ғаразнокӣ алгоритмҳо мебошад, яъне дар ҷарраёни таъсирпазирии зеҳни сунъӣ ба соҳаи сайёҳӣ давлатҳое, ки аз ҷиҳати технологияҳои рақамӣ пеш рафтаанд, чун объекти асосии тавсиявии зеҳни сунъӣ қарор мегиранд, аммо давлатҳое, ки дар воқеъ зарфияти хоси сайёҳӣ доранд, вале аз ҷиҳати иттилоотрасонӣ суст мебошанд аз маърази диққат дур мемонанд.

Дар мақолаи худ ба хулосае омадем, ки чун дар шароити иқтисоди рақамӣ рақобатпазирии соҳаи сайёҳӣ торафт бештар ва қобилияти тавоноии он дар самти қонеъ намудани талаботи ҷаҳонгардон расида истодааст, мебошад ба самти рақамикунонии соҳаи сайёҳӣ дар кишвар диққати махсус равона намоем, чунки дар марҳилае, ки зеҳни сунъӣ ба сифати мушовири соҳаи сайёҳӣ хизмат мекунад, то чанде, ки зарфиятҳои сайёҳии кишварӣ мо шуруъ аз табиати нотақдор: кӯҳу дарёҳо, кӯлу пирахҳо, ёдгориҳои таърихӣ, ҳунарҳои мардумӣ, урфу одатҳои маҳаллӣ, ҳӯроқҳои мардумӣ, меҳмонхонаю тарабхонаҳо дар умум, тамоми иқтисоди сайёҳии кишвар дар ҷаҳони интернет бештар тарғиб гарданд, имкони дуруст муаррифӣ гардидани Тоҷикистон тариқи зеҳни сунъӣ бештар мегардад. Воқеист, ки соҳаи сайёҳӣ дар навбати аввал ба эҳсос ва муоширати воқеии одамон пайванд дораду технологияҳои сунъӣ онро иваз карда наметавонанд, аммо он метавонад ҳамчун воситаи маълумотрасон хизмат кунад.

Мавод ва усулҳои тадқиқот (Materials and methods)

Вобаста ба аҳамияти иттилоотрасонӣ дар соҳаи сайёҳӣ ва таъсири зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ муҳаққиқони зиёди дохилию хориҷӣ таҳқиқоти илмӣ анҷом додаанд. Аз ҷумла Комилийн Ф., С., Шарапов Д.С. ва Гадоев А.Ф [5, С.6] қайд намудаанд ки: «Саноати сайёҳӣ фаъолияти иттилоотии доманадор мебошад. Кам соҳаеро ба монанди саноати сайёҳӣ дидан мумкин аст, ки дар он ҷамъоварӣ, коркард, татбиқ ва интиқоли иттилоот дар фаъолияти ҳамарӯзаашон ниҳоят дараҷа муҳим бошад.» Муҳаққиқи рус Б.Б. Лиджи-Горяева [2, С.92] бошад, дар робита ба рушди босуръати рақамикунонӣ ва таъсирпазирии он ба соҳаҳои гуногун чунин назар дорад: «бо рушди рақамикунонӣ технологияҳои пайдошаванда бо ҳам муттаҳид мешаванд, то трансформатсияи рақамиро дар самтҳои нав ва аксаран пешгӯишаванда дар заминаи конвергенсияи рақамӣ - яъне муттаҳидшавии як ё якчанд технологияҳои рақамӣ барои фаъолияти ҳамохангшуда - пеш баранд». Гриненко С.В., [1, С.3] профессори Донишгоҳи иқтисодии Русия ба номи Г.В. Плеханов дар мақолаи илмиаш тамоюлҳои рушди сайёҳиро дар ҷаҳони муосир ин гуна баён намудааст: «детокси рақамӣ, ворид шудан ба минтақаи нороҳатӣ ва ба даст овардани таҷрибаи аслий (шоки фарҳангӣ), wellness-туризм (ретритҳои солимгардонӣ), сафарҳои огоҳона, lisness (leisure - истироҳат + business - тиҷорат), сафарҳои хотирмон, сафар ба ҷойҳои, ки дар рӯйхати орзуҳо қарор доранд, ҷустуҷӯи таҷрибаи нодири хондорӣ

(гастрономӣ), сафарҳо ба муносибатҳои махсус, сафар кардан бо мақсади хоби кофӣ ва барқарор намудани тавозуни эҳсосӣ, анҷом додани сафарҳои ногаҳонӣ, интиҳоби кишварҳо ва минтақаҳои дорои иқлими муътадил барои сафар, инчунин кӯшиши боздид аз кишварҳо ва минтақаҳои омӯхтанашуда ба ҷойи самтҳои маъмули сайёҳӣ». Ба ақидаи муҳаққиқи дигар Солодов Д.Т., [3, С. 1328] агар дар ҷаҳони муосир кишварҳо ба рушди рақамикунонӣ, аҳаммияти ҷиддӣ надиханд ва ҳудудҳои сайёҳӣ ба қадри кофӣ муаррифӣ нагарданд ин боиси сар задани мушкилоти коммуникатсионӣ байни иштирокчиёни асосии бозор яъне ҷаҳонгардон ва кишварҳои дорои захираҳои сайёҳӣ мегардад: «Вазъият чунин ташаккул ёфта истодааст, ки муваффақияти корхонаҳо ва ҳудудҳои муосири сайёҳӣ бештар на аз он вобастаанд, ки онҳо то кадом андоза босифат хизматрасонӣ пешниҳод мекунанд, балки аз он вобаста мебошад, ки онҳо тавассути ҷорӣ намудани инноватсияҳо то чӣ андоза зуд ва босуръат ба тағйироти муҳити беруна вокуниш нишон медиҳанд.» Дар робита ба мавзӯ мо дар паҷуҳиши пешинаи худ, ки ба таърихи пайдоиши аввалин сомонаҳои сайёҳӣ ва системаҳои онлайнӣ дар соҳаи хизматрасониҳои сайёҳӣ ва системаҳои онлайнӣ, ки ба самти рақамикунонии соҳаи сайёҳӣ нигаронида шуда буд, таъсири рақамикунониро дар хизматрасониҳои соҳаи сайёҳӣ мавриди таҳлил қарор дода будем. «Системаҳои банд ва фармоиш дастрасии автоматиро ба иттилооти банақшагирӣ ва фармоишро барои аксари бахшҳои саноат, аз ҷумла меҳмонхонаҳо, нақлиёт, хизматрасонӣ ва хатсайрҳои сайёҳӣ, мубодилаи асъор ва интиҳоби макони истироҳату фароғатро таъмин намуда, барои осон намудани хизматрасониҳои сайёҳӣ таъсири амиқ гузошта истодаанд.» [4]. Аз ин рӯ, дастрасӣ ба иттилоъ вобаста ба маконҳои сайёҳӣ ва хизматрасониҳои сайёҳӣ ҷузъи муҳимми рушди соҳаи сайёҳӣ дониста мешаванд.

Бинобар он сабаб, ки соҳаи сайёҳӣ ҳама вақт ба иттилоотрасонии фаврӣ пайвандӣ дорад, истифодаи зеҳни сунъӣ дар ин самт манфиати хело калон дорад, навиштааст муҳаққиқи дигар Набиев Сергей Руфаилович [10]. «Соҳаи сайёҳӣ, ки бо рақобати шадид ва афзоиши талабот ба хизматрасониҳои фардӣ тавсиф мешавад, бо мақсади баланд бардоштани сифати хизматрасонӣ ва қаноатмандии сайёҳон аз технологияҳои зеҳни сунъӣ фаъолона истифода мебарад.»

Дигар сарчашмае, ки дар мақолаи худ овардаем ин гузориши таҳлилии телевизионии журналисти Муассисаи давлатии телевизиони «Сайёҳӣ ва ҳунарҳои мардумӣ» Саддам Давлатов [9] вобаста ба рушди технологияҳои рақамӣ дар соҳаи сайёҳӣ, таъмини дастрасии шаҳрвандон ва меҳмонони хориҷӣ ба маълумоти таърихӣ фарҳангӣ, дар доираи амалигардонии ҳадафҳои «Солҳои рушди иқтисоди рақамӣ ва инноватсия дар солҳои 2025-2030» дар шаҳри Душанбе мебошад. Тибқи маълумоти пешниҳодгардида «бо мақсади рушди соҳаи сайёҳӣ ва тарғиби дурусти зарфиятҳои сайёҳии пойтахти кишвар, 45 иншооти таърихӣ, фарҳангӣ ва сайёҳии шаҳри Душанбе бо «QR-роҳнамо» васл гардиданд, ки ҷаҳонгардон метавонанд ба забонҳои тоҷикӣ, русӣ ва англисӣ дар шакли матнӣ ва аудиоӣ маълумоти муфассалро дастрас намоянд.» «Лоиҳаи «QR-роҳнамо» яке аз ташаббусҳои муҳим дар роҳи табдили Душанбе ба яке аз марказҳои сайёҳии рақамии минтақа ба шумор рафта, ин иқдом имкон медиҳад, ки таъриху фарҳанги пурғановати тоҷикон барои сайёҳони дохилию хориҷӣ тавассути технологияҳои муосир дастрас ва ҷолиб гардонида шавад. Дигар сарчашмае, ки дар феҳристи адабиёти мо ҷой дода шудааст, ин тадқиқоти Welcome Times - як медиаи махсусгардонидашудаи соҳавӣ, ки ба соҳаи сайёҳӣ, меҳмондорӣ, меҳмонхонаҳо, тарабхонаҳо ва рушди бизнеси сайёҳӣ бахшида шудааст, мебошад [7].

Сомона бо домени welcometimes.ru фаъолият мекунад ва тибқи маълумоти худӣ сомона, аз соли 2018 фаъол аст. Дар сомона то моҳи сентябри соли 2026 низ мавод нашр мешавад, яъне платформа то ҳол фаъол аст. Дар ин сомона охири моҳи августи соли 2026 мақолаи ҷолибе нашр гардидааст, ки бо кори тадқиқотии мо дар самти аҳмияти зеҳни сунъӣ ба соҳаи сайёҳӣ робитаи зич дорад. Дар асоси тадқиқоти кормандони ин сомона муайян гардидааст, ки «Тибқи таҳқиқоти Muck Rack, беш аз 25 миллион истинод аз ҷавобҳои ChatGPT, Claude ва Gemini-ро дар 17 соҳа таҳлил кардааст, ки 84%-и ҳамаи сарчашмаҳо ба маводди расонаӣ танҳо ба 0,3% ба контенти рекламавӣ рост меояд». Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки дар ташаккули заминаи иттилоотӣ дар муҳити зеҳни сунъӣ контенти журналистӣ ва манбаҳои бозътимоди расонаӣ нақши муҳимтар доранд. Барои ширкатҳои сайёҳӣ, меҳмонхонаву тарабхонаҳо ин маълуми онро дорад, ки ҳузур дар ВАО метавонад на танҳо воситаи тарғиб (PR-робита бо ҷомеа), балки як унсурӣ муҳимми эътимоди рақамӣ ва мавқеъ ёфтани дар системаҳои AI бошад.

Натиҷа (Results)

Соҳаи сайёҳӣ муҳимтарин воситаи рушди иқтисоди ҷаҳонӣ мебошад, зеро хусусияти махсуси ин соҳа дар он ифодада мешавад, ки маҳсулоти сайёҳӣ як мол ё хизматрасонии алоҳидаро дар бар нагирифта, маҷмуи муракаби таҷрибаҳои фаро мегирад, ки қариб ба ҳама соҳаҳо робита дорад, шуруъ аз нақлиёт, инфрасохтор, ҳуруқҳои миллӣ, фарҳанг, табиат, ёдгориҳои таърихӣ, хизматрасонӣ

ва дар умум муносибати байни инсонҳоро бо ҳам пайванд менамояд. Аз ин сабаб нуқтаи муҳим инҷост, ки дар меҳвари ҳамаи ин муносибатҳои соҳаи сайёҳӣ иттилоот меистад. Маҳз хусусияти иттилоотталаби ин соҳа боис шудааст, ки технологияҳои рақамӣ дар рушди ин соҳа нақши муҳимро касб намоянд. Аз ин рӯ, мавзӯи сайёҳӣ ва зеҳни сунъӣ мавриди таҳлилу баррасӣ қарор дорад.

Дар марҳилаҳои аввал интернет яке аз воситаҳои муҳими иттилооти сайёҳӣ буд. Марҳила ба марҳила бо рушди босуръати технологияҳои рақамӣ системаҳои фармоиши электронӣ, харитаҳои рақамӣ, шабакаҳои иҷтимоӣ, системаҳои тавсиядиҳанда ва зеҳни сунъӣ ба вучуд омаданд.

Дар даҳсолаи охир бошад, рақамикунонӣ ба авҷи баланди рушд расида банақшагирӣ ва истифодаи хизматрасониҳои сайёҳиро ба таври назаррас тағйир дод. Имрӯз сайёҳ имконият дорад, ҳазорҳо масофа дур аз хонаи худ тавассути роҳнамои онлайнӣ таасурот, шарҳ ва пешниҳоди сайёҳони дигарро пешақӣ бихонад ва географияи сайёҳии худро интихоб намуда, дар асоси маълумотҳо барномаи чандрӯзаи сафарро тавассути воситаҳои рақамӣ меҳмонхона, тарабхона, ороишгоҳ ё дилҳоҳ самти ҷолиби диққаташро банд кунад.

Таҳаввулоти нав дар соҳаи сайёҳӣ ин пайдоиш ва истифодаи зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ доништа мешавад. Агар рақамикунонии анъанавӣ асосан ба интиқол ва дастрасии маълумот равон шуда бошад, зеҳни сунъӣ имконият медиҳад, ки ҳаҷми бузурги маълумот бо пешниҳод ва хулоса бо тақозо ва хоҳиши ҳар корбар таҳия гарданд. Тибқи нишондоди таҳқиқоти системавӣ дар соҳаи сайёҳӣ, истифодаи зеҳни сунъӣ ба самтҳои гуногуни соҳаи хизматрасониҳои сайёҳӣ ворид гаштааст, аз ҷумла: истифодаи бомароми технологияҳои рақамӣ барои идоракунии ҳавасмандии ҷаҳонгардон тавассути навор ва тасвирҳо, ҷустуҷӯи маълумот дар бораи ҷойҳои тамошобоб ва расму оинҳои аҷиби халқу миллатҳо, истифодаи шаклҳои интерактиви муошират бо сайёҳони дигар, тавассути наворҳои виртуалӣ, тарҳрезии харитаи сайёҳӣ бо назардошти завқу шавқи сайёҳ ва аз рӯи хоҳишҳои ӯ ёфтани банд кардани ҳуҷра дар меҳмонхонаҳо ва ғайра.

«Smart-tourism (сайёҳии зеҳнӣ) як концепсияи инноватсионии рушди маконҳои сайёҳӣ мебошад, ки ба истифодаи технологияҳои муосир барои беҳтар кардани самаранокӣ ва сифати хизматрасонии сайёҳӣ асос ёфтааст зеро, ки афзалияти он вобастагии баланди соҳаи сайёҳӣ ба иттилоот аст. Пеш аз сафар сайёҳ бояд самт, нарх, нақлиёт, меҳмонхона ва фаъолиятҳои мувофиқ ба сайёҳаташро интихоб намояд ва у ба иттилооти фаврӣ ниёз дорад, ки зеҳни сунъӣ дар ин сафар мушовири хуб будан метавонад.

Агар технологияҳои пешина асосан ба ҷамъоварӣ, интиқол ва нигоҳдории маълумот хизмат мекарданд, зеҳни сунъӣ қобилияти таҳлил, омӯзиш, пешгӯӣ, тавсиядиҳӣ ва тавлиди мундариҷаро фароҳам меорад. Рушди технологияҳои иттилоотӣ дар соҳаи сайёҳӣ таърихи нисбатан тӯлонӣ дорад, аммо пайдоиши ChatGPT, DeepSeek ва Gemini ба ин соҳа ба гунаи назаррас тағйирот ворид карданд. ChatGPT 30-юми ноябри соли 2022 ба таври оммавӣ муаррифӣ шуд ва шакли муоширати инсонро бо технология иваз намуд. Имрӯз ChatGPT ба маслиҳатчи инфиродии ҷаҳонгардон табдил ёфтааст, ки вобаста аз синну сол, фарҳанг, буҷет, вақти мусоид, мақсади сафар ва афзалиятҳои доштаи маконҳои сайёҳӣ, истифодабарандагонро ҳидоят мекунад. Масалан, барои як сайёҳ таъриху фарҳанг муҳим аст, барои дигаре табиат ва барои сеюм гастронмия ва нархи пасту хатсайри арзон. Аз ин нуқтаи назар, зеҳни сунъӣ метавонад ба рушди ташкили сафар ва хизматрасониҳои туристӣ мутобиқи ниёзи ҳар шахс, хоҳиш ва афзалиятҳои инфиродии ҳар як сайёҳ «hyper-personalized tourism» мусоидат кунад. (Расми 1).



Расми 1 – Афзалиятҳои истифодаи зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ.
Figure 1 – Advantages of using artificial intelligence in the tourism sector.

Муҳокима (Discussions)

Истифодаи бомароми зеҳни сунъӣ дар як муддати кӯтоҳ дар самтҳои гуногуни соҳаи сайёҳӣ таъсиррасон гардид ва агар чӣ аз як ҷиҳат он имконияти истифодаи ҳаҷми бузурги маълумотро пешниҳод намуда, ба бештар намудани хизматрасониҳои сайёҳӣ ва таҷрибаи бештари муштариён мусоидат менамояд. Дар баробари ин, тарафи номатлуби ин раванд вучуд дорад - набудани маълумотҳои саҳҳеҳ, босифат ва бозътимод дар бораи ширкатҳои сайёҳӣ, меҳмонхонаю тарабхона ва дар умум тамоми хизматрасониҳои соҳаи сайёҳӣ, ки ин масъалаи муҳимми илмиро дар соҳаи сайёҳӣ ба миён меорад. Дар истифодаи зеҳни сунъӣ пешниҳоди маълумот ба тарзи инфиродӣ ва ҳатман бояд воқеӣ бошад, чун ки агар маълумоти иттилоотӣ вобаста ба макон ё шахсияте нодуруст бошад, пешниҳод ва тавсияҳо низ метавонанд нодуруст ва номувофиқ бошанд, ки ин омили фиребхурии сайёҳ мегардад. Сайёҳ метавонад тавассути тавсияҳои нодуруст вобаста ба меҳмонхона, қоидаҳои сафар, чойҳои сайёҳӣ, ёдгориҳои таърихӣ ё чойҳои умуман вучуднадошта дар ҳолати ноговор монад.

Истифода аз зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ ин талаботи замон аст, зеро, дар шароити рушди босуръати иқтисодӣ рақамӣ технологияҳои рақамӣ ба яке аз воситаҳои асосии тағйирдиҳандаи ҷаҳолияти иқтисодӣ -иҷтимоӣ табдил ёфтаанд. Аз ин рӯ, оид ба аҳаммияти рақамикунонӣ ва зеҳни сунъӣ дар Тоҷикистон таваччуҳи хос равона шудааст.

Барои Тоҷикистон истифодаи AI метавонад яке аз самтҳои нави рақамикунонии соҳаи сайёҳӣ гардад. Дар бозори ҷаҳонии сайёҳӣ рақобат барои таваччуҳи сайёҳон хело баланд аст. Дар ин раванд AI метавонад маълумоти талаботи бозори сайёҳиро таҳлил намуда, муайян кунад, ки кадом гурӯҳи сайёҳон ба Тоҷикистон бештар таваччуҳ доранд, кадом навъи туризм талаботи бештар дорад, кадом мавзеоҳо бештар ҷустуҷӯ мешаванд ва кадом мундариҷа бештар боиси таваччуҳи сайёҳон аст. Аз ин рӯ вазифаи асосӣ дар соҳаи рушди сайёҳии Тоҷикистон ин рақамикунонии хизматрасониҳои сайёҳӣ ва иттилоотӣ бештар вобаста ба зарфиятҳои сайёҳии Тоҷикистон мебошад.

Тоҷикистон дорои имкониятҳои назарраси рушди сайёҳӣ мебошад: кӯҳҳои баланд, шоҳроҳи бузурги Помир, табиати нодир, мавзеоҳои таърихӣ, мероси фарҳангӣ ва имкониятҳои рушди сайёҳии экологӣ, кӯҳӣ фарҳангӣ ва ғайра... Аммо бо доштани афзалияти соҳаи сайёҳӣ он чизе, ки имрӯз бояд диққати хос равона шавад ин ба гунаи арзанда муаррифӣ намудани имкониятҳои сайёҳӣ мебошад. Бояд гуфт, ки амалӣ намудани лоиҳаи «QR-роҳнамо» дар шаҳри Душанбе яке аз ташаббусҳои муҳим дар роҳи табдили Душанбе ба шаҳри хушманд (smart city) мебошад. Қадами устувори дигари Тоҷикистон дар раҳи рушди зеҳни сунъӣ қабули «Стратегияи миллии рушди зеҳни сунъӣ барои давраи то соли 2040» аз 30 сентябри соли 2022, №483 мебошад. [6] Таҳлили сиёсати давлатӣ ва ташаббусҳои байналмилалӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон нишон медиҳад, ки рушди технологияҳои рақамӣ ва зеҳни сунъӣ ба яке аз самтҳои афзалиятноки сиёсати давлатӣ табдил ёфтааст. Нақши калидӣ дар ташаккул ва пешбурди ин раванд ба Президенти кишвар муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон тааллуқ дорад, ки ҳамчун ташаббускори сиёсати рақамикунонӣ ва истифодаи зеҳни сунъӣ ҳам дар сатҳи миллий ва ҳам байналмилалӣ баромад менамояд. Ҳамзамон, пешниҳодҳои Президенти Тоҷикистон дар сатҳи байналмилалӣ, аз ҷумла ташаббуси қабули қатъномаи Созмони Милалӣ Муттаҳид оид ба истифодаи зеҳни сунъӣ ба манфиати рушди устувори кишварҳои Осиёи Марказӣ, аз дидгоҳи сиёсӣ ва илмӣ нишон медиҳанд, ки Тоҷикистон кӯшиш дорад дар ташаккули меъёрҳои ҷаҳонии истифодаи масъулona, беҳатар ва ахлоқии зеҳни сунъӣ саҳми муассир гузорад.

Аз рӯйи омили пешниҳоднамудаи Агентии омили Ҷумҳурии Тоҷикистон [8] сол ба сол таваччуҳи ҷаҳонгардон ба Тоҷикистон зиёдтар гардида истодааст. Тибқи маълумоти оморӣ, «шумораи шаҳрвандони хориҷие, ки дар семоҳаи якуми соли 2026 бо мақсадҳои гуногун-аз ҷумла сафарҳои хизматӣ, истироҳатӣ ва дигар ҳадафҳо ба Ҷумҳурии Тоҷикистон ташриф овардаанд, ба 439,4 ҳазор нафар расида, нисбат ба ҳамин давраи соли 2025, 70,7 ҳазор нафар ё 19,2 фоиз зиёд гардидааст».

Афзоиши шумораи сайёҳон ва таъсири онҳо барои муаррифӣ намоии захираҳои бузурги табиӣ аҳаммияти масъалаи рақамикунонӣ ва идоракунии маълумотро зиёд мекунанд. Имрӯз мавзӯи AI барои соҳаи сайёҳии Тоҷикистон дигар танҳо масъалаи назарявӣ будан наметавонад. Зеро, ки таҷрибаҳои байналмилалӣ нишон медиҳанд, ки зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ аз як технологияи таҷрибавӣ ба воситаи муҳими идоракунӣ, маркетинг, пешгӯӣ ва хизматрасонӣ табдил ёфта истодааст. Аз ин рӯ имрӯз ВАО ва сомонаҳои расмӣ ширкатҳои сайёҳӣ, меҳмонхонаю тарабхонаҳо ба ғайр аз тарғибҳои кӯтоҳ бояд маълумоти муфасссалу дақиқро вобаста ба зарфиятҳои сайёҳӣ ва ҷаҳолияти худ бо забонҳои гуногуну шакли дуруст чой созанд то зеҳни сунъӣ дар раҳи пешниҳоди иттилоъ ба хатогӣ роҳ надиҳад, чунки 84%-и ҳамаи сарчашмаҳои, ки ChatGPT, Claude ва Gemini ба истифодакунандагони зеҳни сунъӣ пешниҳод мекунанд маводи расонаии ВАОи ахбори омма ва сомонаҳои расмӣ кумитаю, корхона ва ширкатҳои сайёҳӣ мебошанд.

Хулоса (Conclusions)

Ба андешаи мо, Тоҷикистон барои истифодаи зеҳни сунъӣ дар соҳаи сайёҳӣ имкониятҳои беназир дорад, зеро кишвар дорои омезиши нодири зарфиятҳои сайёҳӣ: захираҳои табиӣ, кӯҳнавардӣ, таърихӣ ва фарҳангӣ мебошад. Аммо чун рақобат дар соҳаи сайёҳӣ дар ҷаҳони рушди технология тамоман ранги дигаре гирифтааст ва танҳо доштани захираҳои сайёҳӣ омили рушди соҳа буда наметавонанд. Имрӯз соҳаи сайёҳии Тоҷикистон тамоман ба масъалаи дигаре рӯ ба рӯ аст ки: То кадом андоза Тоҷикистон метавонад ин захираҳои сайёҳиро ба маҳсулоти рақамӣ, интеллектуалӣ ва дастрас пайваст кунад то «Smart-tourism (сайёҳии зеҳнӣ)» дар муаррифинамоии он ба иштибоҳ роҳ надиҳад?

Бо таъки ба сарчашмаҳои баррасигардида мавқеи илмӣ мақолаи мо чунин аст: Зеҳни сунъӣ метавонад барои Тоҷикистон яке аз воситаҳои хуби муаррифӣ ва автоматизатсияи хизматрасонӣ бо механизми стратегии табдил додани захираҳои сайёҳӣ ба арзиши иқтисодӣ, иҷтимоӣ ва фарҳангӣ табдил ёбад. Аммо ин танҳо дар сурати мавҷуд будани се шартҳои асосӣ имконпазир аст:

- интернетӣ босифат.
- маълумоти муфасссал вобаста ба Тоҷикистон, зарфиятҳои сайёҳии он, меҳмонхонаҳо, тарабхонаҳо ва хатсайрҳои тарҳрезӣшудаи ширкатҳои сайёҳӣ.
- кадрҳои соҳибтаҳассуси соҳаи сайёҳӣ ва татбиқи технологияҳои рақамӣ то ҳамгироии сайёҳиро бо техника таъмин намоянд.

Агар сайёҳ аз ҳар ҷӯшаи олам тавонад тавассути ёвари рақамӣ бо забони худ маълумоти бозғамӣ додани ҷолиб дар бораи фарҳанг, ёдгориҳои таърихӣ, табиати беназир, кӯҳу дарё, пириҳо, қӯлҳо, фарҳангу санъати мусиқӣ хунароҳои мардумӣ хӯроқҳои миллӣ, меҳмонхонаҳо ва хатсайрҳои Тоҷикистон ба даст орад, ин дигар танҳо маънои «рақамикунонӣ»-и соҳаи сайёҳиро надиҳад, маънои роҳи кушодан ба бозори ҷаҳонии сайёҳии рақамиро дорад.

Муқаррир: Шарофзода Э.У. — н.и. таърих, дотсенти кафедраи Ҷанҷири Ҷомеашиносии ДТДТ ба номи акадeмик М.С. Осимӣ.

Адабиёт

1. Гриненко, С.В. Smart-туризм в развитии туристской дестинации / С.В. Гриненко // Теоретические и прикладные аспекты развития сферы рекреации и туризма. – 2024. – № 2 (22). – С. 3-8.
2. Лиджи-Горяева, Б.Б. Анализ зарубежного опыта цифрового маркетинга в сфере туризма и гостеприимства / Б.Б. Лиджи-Горяева // Маркетинг в России и за рубежом. – 2021. – № 4. – С. 92-100. – EDN: LEMCIM.
3. Солод, Т.В. «Умный туризм» как инструмент формирования устойчивых инновационных экосистем территорий / Т.В. Солод // Вопросы инновационной экономики. – 2025. – Т. 15, № 4. – С. 1327-1344.
4. Шарипова, М.С. Таърихи пайдоиши аввалин сомонаҳои сайёҳӣ ва системаҳои онлайнӣ дар самти хизматрасонии соҳаи сайёҳӣ / М.С. Шарипова // Паёми Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав. – 2025. – № 2-1 (132). – С. 96-99.
5. Комилийон, Ф.С. Технологияи иттилоотӣ дар сайёҳӣ / Ф.С. Комилийон, Д.С. Шарапов, А.Ф. Гадоев. – Душанбе, 2018. – 272 с.
6. Стратегияи рушди зеҳни сунъӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040 аз 30 сентябри соли 2022, № 483 [Манбаи электронӣ]. – Рӯзи дастрасӣ: <https://mmih.tj/SEARCH/DocumentView?DocumentId=143399&compareid=167547#> (санаи муроҷиат: 15.06.2026).
7. Путешественники и ИИ: как отелям попадать в ответы ИИ [Манбаи электронӣ]. – Рӯзи дастрасӣ: <https://welcometimes.ru/opinions/puteshestvenniki-i-ii-kak-otelyam-popadat-v-otvety-ii> (санаи муроҷиат: 14.09.2026).
8. Шумораи сайёҳони хориҷӣ ба Тоҷикистон афзоиш ёфт [Манбаи электронӣ]. – Рӯзи дастрасӣ: <https://www.stat.tj/shumorai-sajyoxoni-horich-ba-tojikiston-afzoish-yoft/> (санаи муроҷиат: 15.08.2026).
9. Давлатов, С. Барномаи иттилоотӣ «Пайём» аз 19.08.2026 дар телевизиони «Сайёҳӣ ва хунароҳои мардумӣ» [Манбаи электронӣ].- Рӯзи дастрасӣ: <https://tvsayohi.tj/?ysclid=mumdn40fyg287333399> (санаи муроҷиат: 19.08.2026).
10. Зарубежный опыт применения возможностей искусственного интеллекта в сфере туризма (на примере Китая) // Международный правовой курьер. [Манбаи электронӣ]. – Рӯзи дастрасӣ: <https://inter-legal.ru/zarubezhnyj-opyt-primeneniya-vozmozhnostej-iskusstvennogo-intellekta-v-sfere-turizma-na-primere-kitaya> (санаи муроҷиат: 14.09.2026).

References

1. Grinenko, S.V. Smart Tourism in the Development of a Tourist Destination / S.V. Grinenko // *Theoretical and Applied Aspects of the Development of Recreation and Tourism*. – 2024. – No. 2 (22). – P. 3–8.
2. Lidji-Goryaeva, B.B. Analysis of International Experience in Digital Marketing in Tourism and Hospitality / B.B. Lidji-Goryaeva // *Marketing in Russia and Abroad*. – 2021. – No. 4. – P. 92–100. – EDN: LEMCIM.
3. Solod, T.V. “Smart Tourism” as a Tool for the Formation of Sustainable Innovation Ecosystems of Territories / T.V. Solod // *Issues of Innovation Economics*. – 2025. – Vol. 15, No. 4. – P. 1327–1344.
4. Sharipova, M.S. The History of the Emergence of the First Tourism Websites and Online Systems in the Field of Tourism Services / M.S. Sharipova // *Bulletin of Bokhtar State University named after Nosiri Khusrav*. – 2025. – No. 2–1 (132). – P. 96–99.
5. Komiliyon, F.S., Sharapov, D.S., Gadoev, A.F. *Information Technology in Tourism*. – Dushanbe, 2018. – 272 p.

6. *Strategy for the Development of Artificial Intelligence in the Republic of Tajikistan for the Period until 2040*, approved on September 30, 2022, No. 483 [Electronic resource]. – Available at: <https://mmih.tj/SEARCH/DocumentView?DocumentId=143399&compareid=167547#> (accessed: June 15, 2026).
7. *Travelers and AI: How Can Hotels Appear in AI-Generated Answers?* [Electronic resource]. – Available at: <https://welcometimes.ru/opinions/puteshestvenniki-i-ii-kak-otelyam-popadat-v-otvety-ii> (accessed: September 14, 2026).
8. *The Number of Foreign Tourists Visiting Tajikistan Has Increased* [Electronic resource]. – Available at: <https://www.stat.tj/shumorai-sajyoxoni-horich-ba-tochikiston-afzoish-yoft/> (accessed: August 15, 2026).
9. Davlatov, S. *The Information Program “Payom” of August 19, 2026, on the “Tourism and Folk Crafts” Television Channel* [Electronic resource]. – Available at: <https://tvsayohi.tj/> (accessed: August 19, 2026).
10. *Foreign Experience in Applying the Potential of Artificial Intelligence in the Tourism Sector: The Case of China* [Electronic resource] // *International Legal Courier*. – Available at: <https://inter-legal.ru/zarubezhnyj-opyt-primeneniya-vozmoghnostej-iskusstvennogo-intellekta-v-sfere-turizma-na-primere-kitaya> (accessed: September 14, 2026).

Маълумот дар бораи муаллиф:

Шарипова Манзура Саидчоевна, докторант PhD-и кафедраи технологияи иттилоотӣ ва амнияти иттилоотии Академияи идоракунии давлатии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон. Суроға: 734003. Ҷумҳурии Тоҷикистон, шаҳри Душанбе, кӯчаи Саид Носир, 33. E-mail: saidshozode97@gmail.com

Сведения об авторе:

Шарипова Манзура Саидчоевна, докторант PhD кафедры информационных технологий и информационной безопасности Академии государственного управления при Президенте Республики Таджикистан. Адрес: 734003. Республика Таджикистан, город Душанбе, улица Саида Насира, 33.

E-mail: saidshozode97@gmail.com

Information about the author:

Sharipova Manzura Saidchoevna, doctoral student of the Department of technology and innovation Administration under the President of the Republic of Tajikistan. Address: 734003. Republic of Tajikistan, Dushanbe, Said Nasir street, 33.

E-mail: saidshozode97@gmail.com

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Приложение 1
к Положению о научном журнале
"Политехнический вестник"

ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ статей в журнал "Политехнический вестник"

1. В журнале публикуются статьи научно-практического и проблемного характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие научной новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Основные требования к статьям, представляемым для публикации в журнале:

- статья (за исключением обзоров) должна содержать новые научные результаты;
- статья должна соответствовать тематике и научному уровню журнала;
- статья должна быть оформлена в полном соответствии с требованиями к оформлению статей (см. пункт 5).

3. Статья представляется в редакцию по электронной почте и в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить электронный носитель текста, идентичного напечатанному, а также две рецензии на статью и справку о результате проверки на оригинальность.

4. Структура статьи

Текст статьи должен быть представлен в формате IMRAD¹ на таджикском, английском или русском языке:

ВВЕДЕНИЕ (Introduction)	Почему проведено исследование? Что было исследовано, или цель исследования, какие гипотезы проверены? Включает: актуальность темы исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы исследования, формулирование цели и задач исследования.
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (MATERIALS AND METHODS)	Когда, где и как были проведены исследования? Какие материалы были использованы или кто был включен в выборку? Детально описывают методы и схему экспериментов/наблюдений, позволяющие воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи. Описывают материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)	Какой ответ был найден. Верно ли была протестирована гипотеза? Представляют фактические результаты исследования (текст, таблицы, графики, диаграммы, уравнения, фотографии, рисунки).
ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)	Что подразумевает ответ и почему это имеет значение? Как это вписывается в то, что нашли другие исследователи? Каковы перспективы для будущих исследований? Содержит интерпретацию полученных результатов исследования, включая: соответствие полученных результатов гипотезе исследования; ограничения исследования и обобщения его результатов; предложения по практическому применению; предложения по направлению будущих исследований.
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)	Содержит краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК (REFERENCES)	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. п.3).
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ (AUTHORS' BACKGROUND)	оформляется в конце статьи в следующем виде:

¹ Данный термин составлен из первых букв английских слов: Introduction (Введение), Materials and Methods (Материалы и методы), Results (Результаты) Acknowledgements and Discussion (Обсуждение). Это самый распространенный стиль оформления научных статей, в том числе для журналов Scopus и Web of Science.

	TJ	RU	EN
Ному насаб, ФИО, Name Дараҷа ва унвони илмӣ, Степень и должность, Title ² Ташкилот, Организация, Organization e-mail ORCID ³ Id Телефон			
КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ (CONFLICT OF INTEREST)	Конфликт интересов — это любые отношения или сферы интересов, которые могли бы прямо или косвенно повлиять на вашу работу или сделать её предвзятой. Пример: 1. Конфликт интересов: Автор Х.Х.Х. Владеет акциями Компании Y, которая упомянута в статье. Автор Y.Y.Y. – член комитета XXXX. 2. Если конфликта интересов нет, авторы должны заявить: Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи		
ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ (AUTHOR CONTRIBUTIONS).	Публикуется для определения вклада каждого автора в исследование. Описание, как именно каждый автор участвовал в работе (предпочтительно), или сообщение о вкладах авторов в процентах или долях (менее желательно). Пример данного раздела: 1. Авторы A1, A2 и A3 придумали и разработали эксперимент, авторы A4 и A5 провели теоретические исследование. Авторы A1 и A6 участвовали в обработке данных. Авторы A1, A2 и A5 участвовали в написании текста статьи. Все авторы участвовали в обсуждении результатов. 2. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации		
ДОПОЛНИТЕЛЬНО (по желанию автора)			
БЛАГОДАРНОСТИ (опционально) - ACKNOWLEDGEMENT (optional)	Если авторы в конце статьи выражают благодарность или указывают источник финансовой поддержки при выполнении научной работы, то необходимо эту информацию продублировать на английском языке.		
ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ (FUNDING)	Информация о грантах и любой другой финансовой поддержке исследований. Просим не использовать в этом разделе сокращенные названия институтов и спонсирующих организаций.		
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ (ADDITIONAL INFORMATION)	В этом разделе могут быть помещены: Нестандартные ссылки. Например, материалы, которые по каким-то причинам не могут быть опубликованы, но могут быть предоставлены авторами по запросу. Дополнительные ссылки на профили авторов (например, ORCID). Названия торговых марок на иностранных языках, которые необходимы для понимания статьи или ссылки на них. Особые сообщения об источнике оригинала статьи (если статья публикуется в переводе). Информация о связанных со статьей, но не опубликованных ранее докладов на конференциях и семинарах.		

5. Требования к оформлению статей

² Title can be chosen from: master student, Phd candidate, assistant professor, senior lecture, associate professor, full professor

³ ORCID или Open Researcher and Contributor ID (Открытый идентификатор исследователя и участника) — незапатентованный буквенно-цифровой код, который однозначно идентифицирует научных авторов. www.orcid.org.

Рекомендуемый объем оригинальной статьи – до 10 страниц, обзора – до 15 страниц, включая рисунки, таблицы, библиографический список. В рубрику «Краткие сообщения» принимаются статьи объемом не более 3 страниц, включая 1 таблицу и 2 рисунка.

Рекомендации по набору и оформлению текста

Наименование	Требования	Примечания
Формат страницы	A4	
Параметры страницы и абзаца	отступы сверху и снизу - 2.5 см; слева и справа - 2 см; табуляция - 2 см;	ориентация - книжная
Редактор текста	Microsoft Office Word	
Шрифт	Times New Roman, 12 пунктов	
межстрочный интервал	Одинарный, выравнивание по ширине	Не использовать более одного пробела между словами, пробелы для выравнивания, автоматический запрет переносов, подчеркивания.
Единица измерения	Международная система единиц СИ	
Сокращения терминов и названий	В соответствии с ГОСТ 7.12-93.	должны быть сведены к минимуму
Формулы	Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes Equation или MS Equation, греческие и русские буквы в формулах набирать прямым шрифтом (опция текст), латинские курсивом. Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются.	Обозначения величин и простые формулы в тексте и таблицах набирать как элементы текста (а не как объекты формульного редактора). Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении. Нумерация формул сквозная. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках недопустимо
Таблицы	При создании таблиц рекомендуется использовать возможности MS Word (Таблица – Добавить таблицу) или MS Excel. Таблицы должны иметь порядковые номера, название и ссылку в тексте. Таблицу следует располагать в тексте после первого упоминания о ней. Интервал между строчками в таблице можно уменьшать до одинарного, размер шрифта – до 9 пунктов.	Внутри таблицы заголовки пишутся с заглавной буквы, подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком. Заголовки центрируются. Боковые – по центру или слева. Диагональное деление ячеек не рекомендуется. В пустой ячейке обязателен прочерк (тире –). Количество знаков после запятой (точность измерения) должно быть одинаковым.
Рисунки (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы)	Должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте, которую следует располагать в тексте после первого упоминания о рисунке. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с MS Word (*JPEG, *BIF, *TIFF (толщина линий не менее 3 пкс) Фотографии должны быть предельно четкими, с разрешением 300 dpi. Максимальный размер рисунка: ширина 150 мм, высота 245 мм. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись, в которой дается объяснение всех его элементов. Кривые на рисунках нумеруются арабскими цифрами и комментируются в подписях к рисункам.	Заголовки таблиц и подрисуночные подписи должны быть по возможности лаконичными, а также точно отражающими смысл содержания таблиц и рисунков. Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисуночном текстах. Все надписи на рисунках (наименования осей, цифры на осях, значки точек и комментарии к ним и проч.) должны быть выполнены достаточно крупно, одинаковым шрифтом, чтобы они легко читались при воспроизведении на печати. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском языке. Не допускается наличие рамок вокруг и внутри графиков и диаграмм. Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel.

Рукопись должна быть построена следующим образом:

Раздел	Содержание (пример)	Расположение
Индекс УДК ⁴	УДК 62.214.4; 621.791.05	в верхнем левом углу полужирными буквами
Заголовок	НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (должен быть информативным и, по возможности, кратким) (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Авторы	Инициалы и фамилии авторов (на языке оригинала статьи)	В центре полужирными буквами
Организация	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	В центре полужирными буквами
Реферат (аннотация)	Должен быть информативным и на языке оригинала статьи (таджикском, русском и английском), содержать 800-1200 печатных знаков (120-200 слов). Структура реферата: Введение. Материалы и методы исследования. Результаты исследования. Заключение.	Выровнять по ширине
Ключевые слова	5-6, разделены между собой « , ». (на языке оригинала статьи) Пример: энергосбережение, производство корунда, глинозем, энергопотребление, оптимизация	Выровнять по ширине
На двух других языках приводится: Заголовок Авторы Организация Реферат (аннотация)	перевод названия статьи, авторов ⁵ , организации ⁶ , заголовки и реферат ⁷ и ключевые слова ⁸ на двух других языках	
Статья согласно структуры	Согласно требованиям пункта 4 требования и условия предоставления статей в журнал "Политехнический вестник"	Выровнять по ширине

К статье прилагается (см. <http://vp-es.ttu.tj/>):

1. Сопроводительное письмо (приложение 1А).
2. Авторское заявление (приложение 1Б).
3. Лицензионный договор (приложение 1В).
4. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати (приложение 1Г).
5. Рецензия (приложение 1Д).

⁴ Универсальная десятичная классификация (УДК) — система классификации информации, широко используется во всём мире для систематизации произведений науки, литературы и искусства, периодической печати, различных видов документов и организации картотек. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.90—2007. Пример: <https://www.teacode.com/online/udc/>

⁵ В английском переводе фамилии авторов статей представляются согласно системе транслитерации BSI (British Standard Institute). Стандарт BSI обычно применяется в случае, когда требуется корректная транслитерация букв, слов и предложений из кириллического алфавита в латинский в случае оформления библиографических списков с официальным статусом. Им пользуются для того, чтобы попасть в зарубежные базы данных.

⁶ Название организации в английском переводе должно соответствовать официальному, указанному на сайте организации. Непереводимые на английский язык наименования организаций даются в транслитерированном варианте.

⁷ Необходимо использовать правила написания организаций на английском языке: все значимые слова (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы. Совершенно не допускается написание одних смысловых слов с прописной буквы, других – со строчной.

⁸ В английском переводе ключевых слов не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не должен использоваться непереводимый сленг, известный только ограниченному кругу специалистов.

Мухаррири матни русӣ:	М.М. Якубова
Мухаррири матни тоҷикӣ:	Ҷ.Ҳ. Ҳикматов
Мухаррири матни англисӣ:	М.М. Бобоева
Ороиши компютерӣ ва тарроҳӣ:	Ҳ.Қ. Шарифова

Редактор русского текста:	М.М. Якубова
Редактор таджикского текста:	Дж.Х. Хикматов
Редактор английского текста:	М.М. Бобоева
Компьютерный дизайн и верстка:	Х.К. Шарифова

Нишонӣ: ш. Душанбе, хиёбони акад. Рачабовҳо, 10^А
Адрес: г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10^А

Ба чоп 28.09.2026 имзо шуд. Ба матбаа 30.09.2026 супорида шуд.
Чопи офсетӣ. Қоғози офсет. Андозаи 60x84 1/8
Адади нашр 50 нусха.

Матбааи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
ш. Душанбе, кӯчаи акад. Рачабовҳо, 10